

# Aplikacja metody scoringowej w procesie wyboru rozwiązania zbiornika retencyjnego ścieków deszczowych

Mgr inż. Sabina Kordana, dr hab. inż. Daniel Słyś, prof. PRz, dr inż. Kamil Pochwat

Politechnika Rzeszowska im. I. Łukasiewicza, Wydział Budownictwa, Inżynierii Środowiska i Architektury

Eksplloatowane obecnie systemy odwodnieniowe nie spełniają często swojej zasadniczej funkcji, jaką jest efektywne ujęcie i odprowadzenie wód deszczowych, ze względu na niewystarczającą przepustowość hydrauliczną istniejących kanałów. Jest to konsekwencją negatywnej transformacji powierzchni biologicznie czynnych, zauważalnej intensyfikacji zjawisk opadowych oraz błędnie prowadzonej gospodarki wodami opadowymi [12, 15, 19]. Jednym z podstawowych zabiegów, których realizacja umożliwia rozwiązywanie opisanego problemu jest budowa i właściwa eksploatacja obiektów retencyjnych [7, 16]. Głównym przeznaczeniem tych urządzeń jest regulowanie strumienia objętości ścieków transportowanych systemami kanalizacji ogólnospławnej i deszczowej [11]. Dodatkowo mogą one znaleźć zastosowanie także w przypadku konieczności poprawy jakości ścieków [18]. Szeroki wachlarz dostępnych rozwiązań konstrukcyjnych zbiorników retencyjnych pozwala na nieograniczone kształtowanie ich geometrii oraz aplikację nawet w nieprzychylnych warunkach terenowych [14], a rozwój narzędzi softwarowych dedykowanych do modelowania hydrodynamicznego przepływu ścieków opadowych [8] ułatwia wyznaczenie charakterystyki hydraulicznej ich działania [4, 17].

Wybór właściwego rozwiązania systemu retencjonowania ścieków, którego aplikacja umożliwi racjonalne zagospodarowanie nadmiaru odprowadzanego medium, nie jest jednak zadaniem prostym. Wskazanie optymalnego wariantu inwestycyjnego tego systemu wymaga bowiem uwzględnienia szeregu kryteriów, których opis w sposób kwantyfikowalny nie zawsze jest możliwy. Znaczna liczba czynników determinujących racjonalność zastosowania poszczególnych obiektów retencyjnych oraz ich wzajemne wykluczanie się powodują z kolei potrzebę wykorzystania zaawansowanych technik wspomagania decyzji, spośród których na szczególną uwagę zasługują metody wieloatrybutowe.

W przypadku zastosowania wieloatrybutowych metod wspomagania decyzji rozpatrywane opcje decyzyjne muszą być jasno zdefiniowane, a ich ocena jest dokonywana na podstawie zbioru kryteriów opisujących analizowane przedsięwzięcie [13]. Proces wyboru konkretnego wariantu inwestycyjnego jest realizowany w kontekście ustalonego celu. W przypadku gospodarki wodami opadowymi może to być wskazanie optymalnego rozwiązania projektowanego systemu [5] bądź racjonalnego sposobu zarządzania funkcjonującą infrastrukturą odwodnieniową [1].

W niniejszym artykule skupiono się na kryteriach związanych z wykorzystaniem odmiennych rozwiązań zbiorników retencyjnych lokalizowanych na odpływie ścieków deszczowych do odbiornika. W ramach przeprowadzonych badań dokonano analizy pod kątem możliwości aplikacji wybranych obiektów w przykładowej zlewni miejskiej.

## METODYKA OCENY SYSTEMÓW RETENCYJNYCH

Oceny rozpatrywanych wariantów inwestycyjnych systemu retencji ścieków opadowych dokonano, stosując metodę scoringową,

której założenia opisano szczegółowo w pracy [9]. Wykorzystana odmiana tej metody zakłada, że końcowy ranking rozpatrywanych opcji decyzyjnych jest tworzony na podstawie uzyskanych sum iloczynów przydzielonej im punktacji oraz wag przypisanych poszczególnym atrybutom procesu decyzyjnego, których suma jest równa 1,0. W badaniach przyjęto, że liczba punktów, którą można przydzielić ocenianym wariantom względem analizowanych kryteriów, jest stała i wynosi 10.

Globalną ocenę  $v_i$  rozpatrywanych wariantów inwestycyjnych  $a_i$  w świetle przyjętych kryteriów  $g_k$  można wyznaczyć na podstawie wzoru (1) [9].

$$v_i = \sum_{k=1}^n [w_k \cdot g_k(a_i)] \quad (1)$$

gdzie:

$v_i$  – ocena globalna rozpatrywanego wariantu inwestycyjnego  $a_i$ ,

$w_k$  – współczynnik wagowy przypisany do danego kryterium  $g_k$ ,

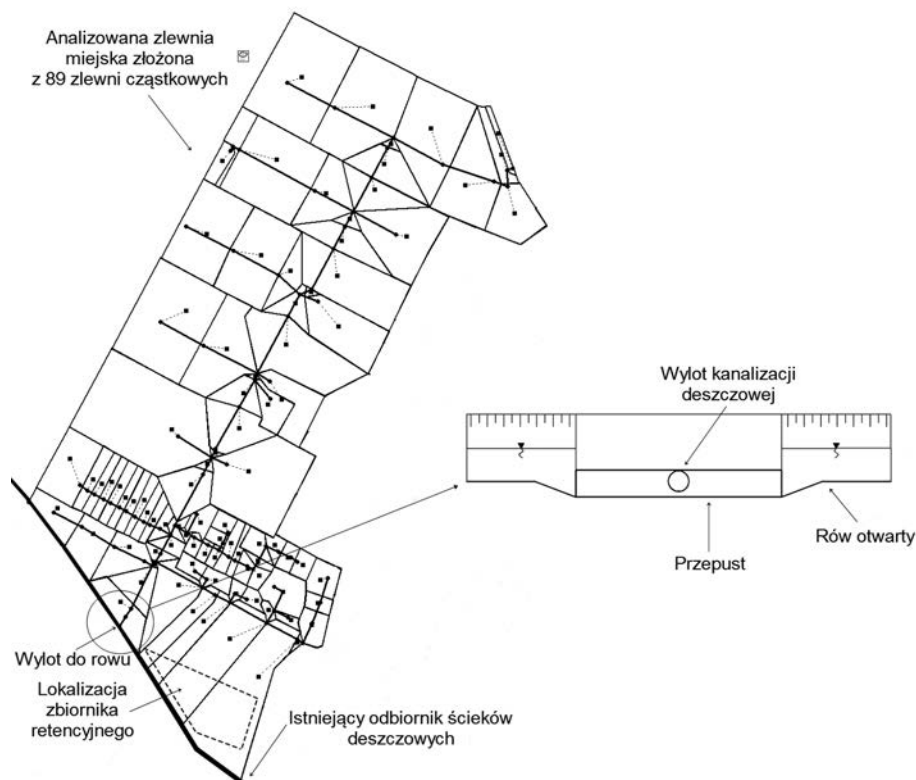
$g_k(a_i)$  – liczba punktów przydzielonych przez ekspertów wariantowi  $a_i$  ze względu na kryterium  $g_k$ .

Geometrię poszczególnych elementów systemu odwodnieniowego oraz charakterystykę ich działania ustalono dla analizowanej zlewni na podstawie symulacji przeprowadzonych przy wykorzystaniu oprogramowania do modelowania hydrodynamicznego przepływu ścieków opadowych SWMM 5.1. Program ten został opracowany przez Amerykańską Agencję Ochrony Środowiska (US EPA), a jego zastosowanie pozwala na szczegółową analizę wpływu zmian parametrów hydrologicznych i hydraulicznych na funkcjonowanie kanalizacji deszczowej i ogólnospławnej [6].

Z kolei kryteria dotyczące różnych aspektów funkcjonowania badanego systemu oceniono na podstawie opinii zespołu eksperckiego złożonego z potencjalnych uczestników procesu decyzyjnego.

## PRZYPADEK STUDYJNY

Badania przeprowadzono dla rzeczywistej zlewni miejskiej zlokalizowanej w południowo-wschodniej części Polski, której schemat przedstawiono na rys. 1. Łączna powierzchnia analizowanej zlewni jest równa 10,13 ha, zaś średni ważony współczynnik spływu nieznacznie przekracza 50%. W analizie zachowano istniejący układ przewodów kanalizacji deszczowej. Ze względu na obserwowane na tym obszarze przeciążenia hydrauliczne kanałów zmodyfikowano jednak ich średnice w taki sposób, aby zapewnić grawitacyjny przepływ ścieków. Uzyskanie wiarygodnych wyników było możliwe dzięki opracowaniu modelu hydrodynamicznego rozpatrywanej zlewni, który skali-browano dla stanu istniejącego. Zlewnię tę obciążano opadami blokowymi, zdefiniowanymi na podstawie formuły Błaszczyka [2], o prawdopodobieństwie wystąpienia  $p = 20\%$  i czasie trwania w zakresie od  $t = 10$  do  $t = 200$  min. Roczną sumę opadu przyjęto na poziomie  $H = 695$  mm. Kontrolowanym zmianom podlegały parametry wszystkich kanałów z wyjątkiem ostat-

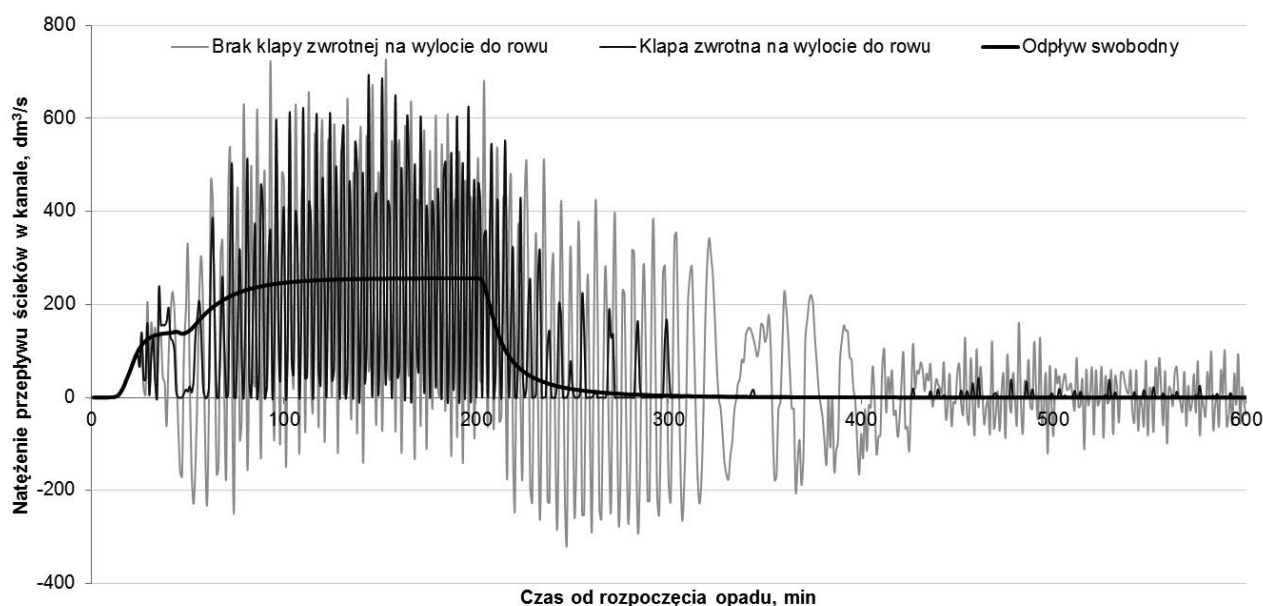


Rys. 1. Schemat analizowanej zlewni miejskiej w programie SWMM 5.1 wraz ze szczegółem rozwiązania wylotu kanalizacji deszczowej

niego odcinka wylotowego do rowu (DN500,  $L = 5,7$  m), gdyż warunki panujące w odbiorniku ścieków w miejscu zrzutu nie pozwalają na modyfikacje tego przewodu ukierunkowane na poprawę jego przepustowości.

Na odpływie ścieków do odbiornika przewidziano zbiornik retencyjny, którego głównym zadaniem będzie opóźnienie odpływu do istniejącego rowu. Potrzeba transformacji hydrogramu przepływu ścieków wynika z ograniczonej przepustowości kanału zrzutowego oraz zamkniętej ciśnieniowej części odbiornika ścieków deszczowych. W miejscu podłączenia przedmiotowego

kanału odbiornik ten wykonano bowiem w postaci przepustu o przekroju poprzecznym w kształcie prostokąta o długości 1,35 m i wysokości 0,65 m. W związku z tym, że w kanałach zlokalizowanych w najniższej części rozpatrywanej zlewni są obserwowane przepływy wsteczne, będące konsekwencją odpływu ścieków transportowanych rowem do kanalizacji, w prowadzonej analizie przyjęto, że na wylocie ścieków do odbiornika będzie zamontowana kłapa zwrotna. W celu zobrazowania opisanego problemu na rys. 2 przedstawiono kształtowanie się zmian natężenia przepływu ścieków w kanale zrzutowym przy



Rys. 2. Charakterystyka przepływu ścieków deszczowych w kanale zrzutowym wyznaczona za pomocą programu SWMM 5.1

wystąpieniu opadu deszczu o czasie trwania  $t = 200$  min i prawdopodobieństwie wystąpienia  $p = 20\%$ . W celu porównania na rysunku tym zamieszczono również ideową charakterystykę przepływu w przedmiotowym kanale, którą uzyskano w przypadku usytuowania jego wylotu powyżej poziomu zwierciadła ścieków w odbiorniku. Przedstawione wykresy dotyczą funkcjonowania kanału przed wyposażeniem systemu odwodnieniowego w obiekt retencyjny.

## WARIANTY INWESTYCYJNE

Badania przeprowadzono analizując dwa odmienne rozwiązania konstrukcyjne podziemnych zbiorników retencyjnych:

- wariant I – klasyczny żelbetowy jednokomorowy zbiornik retencyjny z pompowym opróżnianiem jego komory akumulacyjnej (rys. 3),
- wariant II – zbiornik retencyjny połączony z siecią dwukierunkowymi kanałami tranzytowymi zgodnie z rozwiązaniem [10] (rys. 4).

W wariantcie I założono, że rozpatrywany zbiornik retencyjny będzie połączony z istniejącą siecią w układzie bocznikowym [3]. Wymaganą pojemność zbiornika wyznaczono dla opadów opisanych powyżej na podstawie szeregu symulacji przeprowadzonych przy wykorzystaniu oprogramowania do modelowania hydrodynamicznego SWMM 5.1. Na ich podstawie określono maksymalną wysokość napęlnienia ścieków w komorze akumulacyjnej zbiornika na poziomie  $h = 1,8$  m oraz wysokość usytuowania przelewu do zbiornika nad dnem istniejącego kolektora  $h_p = 0,4$  m. Maksymalny poziom zwierciadła ścieków w zbiorniku założono na poziomie sklepienia kanału dopływowego do tego obiektu, którego średnicę ustalono jako DN600. Ze względu na usytuowanie dna wylotu z kanalizacji zaledwie kilkanaście centymetrów powyżej dna odbiornika ście-

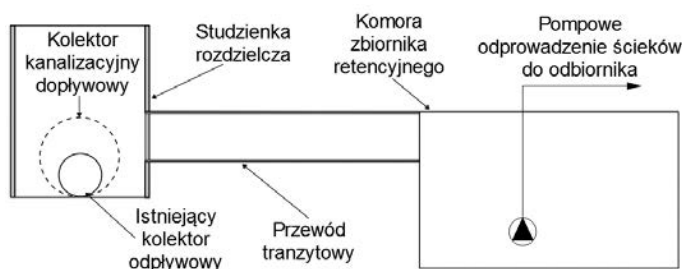
ków deszczowych w analizie założono także, że projektowany obiekt będzie opróżniany pompowo po ustaniu opadu i uzyskaniu wystarczającej rezerwy hydraulicznej w rowie. W wyniku przeprowadzonych analiz wyznaczono wymaganą pojemność komory akumulacyjnej na poziomie  $V_{w2} = 1600$  m<sup>3</sup>.

Wariant II zakłada budowę zbiornika retencyjnego ze skrzynek rozsączających połączonego z istniejącym kolektorem kanalizacyjnym trzema przewodami tranzytowymi każdy o przekroju poprzecznym w kształcie prostokąta o długości 0,60 m i wysokości 0,25 m. Zgodnie z opisem patentowym [10] przewody te oraz dno komory akumulacyjnej zbiornika będą usytuowane powyżej dna kolektora zrzutowego, aby zapewnić jej grawitacyjne opróżnianie. W badaniach przyjęto, że różnica poziomów między dnami kolektora i elementów systemu retencyjnego wynosić będzie  $\Delta h = 0,25$  m. Obniżenie poziomu dna przewodu dopływowego do zbiornika w porównaniu do wariantu I wpłynie na zwiększenie objętości ścieków opadowych kierowanych do obiektu retencyjnego. Geometria kanału odpływowego do rowu ogranicza jednak możliwość manewrowania tą wysokością. Dodatkowo w badaniach przyjęto, że strop zbiornika będzie usytuowany na poziomie sklepienia kanału zlokalizowanego przed kanałem zrzutowym. W związku z tym, że średnica tego przewodu jest dwukrotnie większa niż kolektora zrzutowego do odbiornika, podobnie jak w wariantcie I, dopuszczono ciśnieniowe działanie ostatniego odcinka analizowanej sieci. Istotny jest również fakt, że pojemność zbiornika ustalono przy założeniu wykorzystania skrzynek rozsączających wyłącznie w celu retencjonowania ścieków. Warto jednak zaznaczyć, że w przypadku sprzyjających warunków gruntowo-wodnych istniałaby możliwość odprowadzenia części wód opadowych do gruntu. Dzięki temu wymagana pojemność układu, jak również ilość ścieków opadowych odprowadzanych z rozpatrywanej zlewni do ich obecnego odbiornika, uległyby wyraźnemu zredukowaniu. Brak szczegółowych danych w tym zakresie uniemożliwił jednak uwzględnienie takiego rozwiązania w prowadzonej analizie. Wobec powyższych faktów wyznaczona wymagana pojemność komory akumulacyjnej zbiornika w wariantcie II okazała się zbliżona do tej uzyskanej w przypadku zastosowania wariantu I i wynosi około  $V_{w2} = 1650$  m<sup>3</sup>.

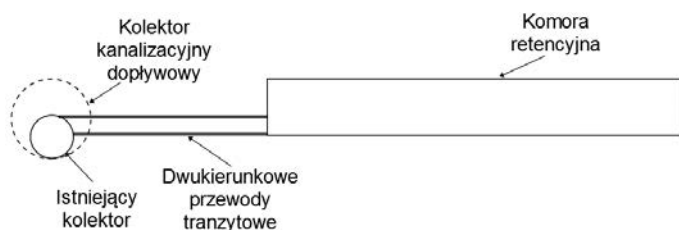
W obu przypadkach kubaturę zbiornika dobrano w taki sposób, aby zapewnić zmagazynowanie nadmiaru ścieków opadowych i odciążać kolektory kanalizacyjne zlokalizowane powyżej obiektu retencyjnego.

## IDENTYFIKACJA KRYTERIÓW DECYZYJNYCH

W ramach przeprowadzonej analizy wielokryterialnej wskazano czynniki warunkujące wybór optymalnego rozwiązania systemu retencji ścieków deszczowych w rozpatrywanej zlewni (rys. 5). W związku z tym, że lokalizację zbiornika oraz jego funkcje ustalono z góry, a dostępna powierzchnia pod jego zabudowę jest wystarczająca dla obu rozpatrywanych rozwiązań, w badaniach uwzględniono tylko te kryteria, które wynikają bezpośrednio z przeznaczenia obiektu. Porównywanie w analizie wyłącznie podziemnych zbiorników retencyjnych pozwoliło także na wyeliminowanie z modelu czynników związanych z walorami estetycznymi urządzeń służących do zagospodarowania wód deszczowych.

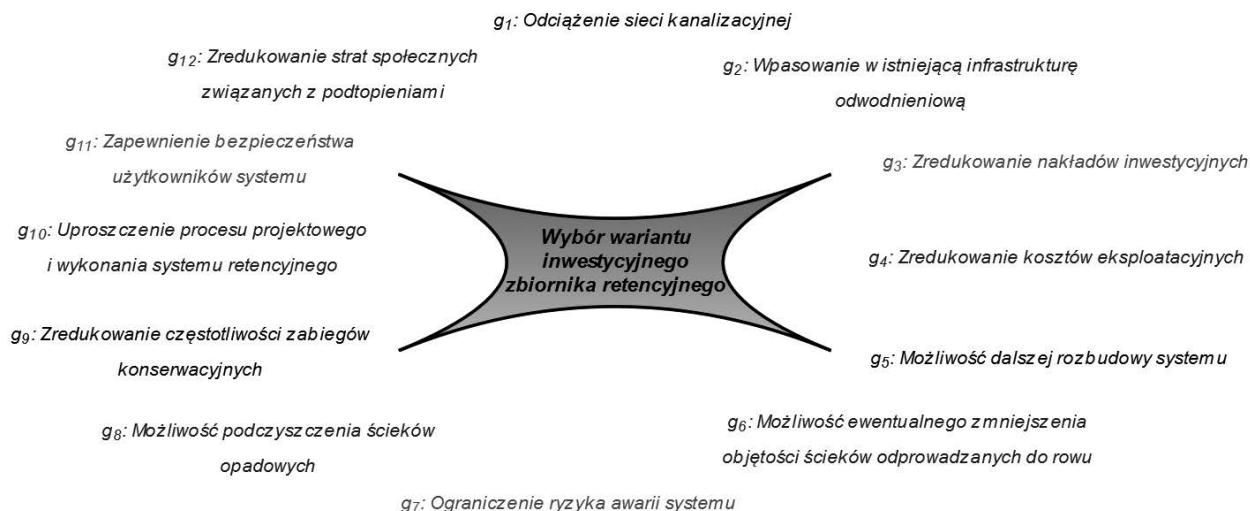


Rys. 3. Schemat działania rozpatrywanego zbiornika klasycznego z układem pompowym (wariant I)



Rys. 4. Schemat działania rozpatrywanego zbiornika połączonego z siecią dwukierunkowymi kanałami tranzytowymi (wariant II)





Rys. 5. Kryteria warunkujące wybór najkorzystniejszego rozwiązania analizowanego systemu

## ANALIZA UZYSKANYCH WYNIKÓW BADAŃ

Zgodnie z opisaną metodyką badań przedstawione alternatywy decyzyjne oceniono w świetle rozpatrywanych kryteriów. W celu zobrazowania znaczenia poszczególnych kryteriów decyzyjnych w tabl. 1. zestawiono uśrednione współczynniki wagowe przypisane do nich przez ekspertów. Z kolei w tabl. 2. przedstawiono zakres ocen przyznanych analizowanym wariantom inwestycyjnym ze względu na te kryteria.

Z przeprowadzonej analizy wynika, że w opinii grona eksperckiego wszystkie uwzględnione w analizie atrybuty procesu decyzyjnego mają istotne znaczenie w kwestii wyboru optymalnego rozwiązania systemu. Do najważniejszych czynników decydujących o racjonalności zastosowania danego wariantu inwestycyjnego zaliczono możliwość odciążenia sieci odwodnieniowej oraz ograniczenia ryzyka awarii systemu retencyjnego. Niewiele mniejsze znaczenie ma dostosowanie nowych elementów systemu do funkcjonowania istniejącej infrastruktury i zapewnienie bezpieczeństwa osób, na które realizacja przedsięwzięcia będzie miała wpływ. Warto jednak wspomnieć, iż w związku z tym, że oba rozpatrywane obiekty retencyjne dobrano tak, aby zapewnić skuteczne zagospodarowanie nadmiaru objętości ścieków opadowych odprowadzanych z terenu zlewni, decydujące okazały się te czynniki, które nie są bezpośrednio związane z przeznaczeniem obiektu, pomimo że przypisane do

nich wagi były zazwyczaj nieco niższe niż w przypadku kryteriów hydraulicznych.

Na podstawie przeprowadzonych badań stwierdzono, że korzystniejszy jest wariant II, w którym zakłada się budowę zbiornika retencyjnego według rozwiązania [10]. Uzyskana w tym przypadku suma iloczynów wag poszczególnych kryteriów i ocen przypisanych rozpatrywanym wariantom inwestycyjnym, obliczona na podstawie wzoru (1), wynosi 7,618, podczas gdy dla wariantu I polegającego na budowie zbiornika żelbetowego uzyskano łączną ocenę o ponad 35% niższą (4,699). Przewaga zbiornika ze skrzynek rozsączających wynika głównie z ograniczenia kosztów cyklu życia takiego systemu retencyjnego w porównaniu do opróżnianego pompowo obiektu żelbetowego. Nie bez znaczenia pozostaje też mniejsze ryzyko awarii w stosunku do urządzenia wyposażonego w pompy, a także łatwość dalszej rozbudowy systemu w przypadku konieczności przejęcia w przyszłości większej objętości ścieków deszczowych powstałych na skutek wzrostu stopnia uszczelnienia odwadnianej zlewni.

Jedynym kryterium, na podstawie którego można byłoby wyżej ocenić zbiornik z wariantu I, jest możliwość podczyszczenia ścieków opadowych na skutek sedymentacji obecnych w nich zawiesin. W przypadku zbiornika jednokomorowego usytuowanego w układzie bocznikowym nie ma to jednak zastosowania.

Tabl. 1. Zestawienie uzyskanych w badaniach wartości współczynników wagowych opisujących znaczenie poszczególnych atrybutów procesu decyzyjnego

| $g_k$ | $g_1$ | $g_2$ | $g_3$ | $g_4$ | $g_5$ | $g_6$ | $g_7$ | $g_8$ | $g_9$ | $g_{10}$ | $g_{11}$ | $g_{12}$ |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|----------|----------|----------|
| $w_k$ | 0,103 | 0,095 | 0,077 | 0,081 | 0,072 | 0,075 | 0,099 | 0,075 | 0,077 | 0,070    | 0,095    | 0,081    |

Tabl. 2. Zestawienie uzyskanych w badaniach ocen przyznanych poszczególnym wariantom inwestycyjnym względem kolejnych atrybutów procesu decyzyjnego

| $g_k$      | $g_1$ | $g_2$ | $g_3$ | $g_4$ | $g_5$ | $g_6$ | $g_7$ | $g_8$ | $g_9$ | $g_{10}$ | $g_{11}$ | $g_{12}$ |
|------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|----------|----------|----------|
| $g_k(a_1)$ | 8-10  | 7-10  | 2-5   | 2-5   | 0-6   | 0     | 1-6   | 1-2   | 1-3   | 1-7      | 5-10     | 8-10     |
| $g_k(a_2)$ | 8-10  | 8-10  | 4-8   | 7-10  | 8-10  | 5-10  | 8-9   | 1-2   | 7-9   | 5-7      | 7-10     | 8-10     |

## PODSUMOWANIE

Z przeprowadzonej analizy wielokryterialnej wynika, że bardziej korzystną opcją jest zastosowanie zbiornika retencyjnego wykonanego zgodnie z opisem patentowym [10]. Rozwiązanie to charakteryzuje się bowiem szeregiem istotnych zalet w porównaniu do tradycyjnych zbiorników retencyjnych, wśród których za najważniejszą uznać należy możliwość zastosowania w istniejących systemach bez konieczności zmiany położenia wysokościowego kanałów zlokalizowanych poniżej zbiornika oraz stosowania urządzeń pompowych w celu jego opróżniania. Ponadto urządzenie to można wykorzystać także w celu odprowadzenia nadmiaru wód opadowych do gruntu. W sprzyjających warunkach pozwoliłoby to na znaczne zredukowanie wymaganej pojemności komory retencyjnej, a dzięki temu także na wyraźne ograniczenie koniecznych do poniesienia nakładów inwestycyjnych, które i tak są zdecydowanie niższe niż w przypadku zastosowania klasycznych zbiorników retencyjnych.

Warto jednak zaznaczyć, że pomimo wyraźnej przewagi innowacyjnego urządzenia nad klasycznym zbiornikiem retencyjnym, także to drugie rozwiązanie spełniłoby swoją funkcję w rozpatrywanym systemie odwodnieniowym, co potwierdzają przeprowadzone symulacje hydrodynamiczne. Dowodzi to, że zastosowanie obiektów retencyjnych, bez względu na ich konstrukcję, umożliwia skuteczne zarządzanie nadmiarem wód opadowych odprowadzanych z terenu zlewni miejskich.

## LITERATURA

1. Benzerra A., Cherrared M., Chocat B., Cherqui F., Zekiouk T.: Decision support for sustainable urban drainage system management: A case study of Jijel, Algeria. *Journal of Environmental Management*, vol. 101, 2012, 46-53.
2. Błaszczyk W., Stamatello H., Błaszczyk P.: *Kanalizacja T.1 Sieci i pompownie*. Arkady, Warszawa 1983.
3. Dziopak J., Słyś D.: *Modelowanie zbiorników klasycznych i grawitacyjno-pompowych w kanalizacji*. Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej, Rzeszów 2007.
4. Dziopak J., Starzec M.: Wpływ układu hydraulicznego zbiornika na wymaganą pojemność użytkową układu zbiorników retencyjnych w kanalizacji. *Czasopismo Inżynierii Lądowej, Środowiska i Architektury JCEEA*, z. 63 (2/II/16), 2016, 105-120.

5. Gogate N. G., Kalbar P. P., Raval P. M.: Assessment of stormwater management options in urban contexts using Multiple Attribute Decision-Making. *Journal of Cleaner Production*, vol. 142, 2017, 2046-2059.
6. Kaźmierczak B., Kotowski A.: *Weryfikacja przepustowości kanalizacji deszczowej w modelowaniu hydrodynamicznym*. Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2012.
7. Matusiewicz W., Koda E., Lechowicz Z., Osiński P.: Ocena przyczyn podtopienia obiektu w rejonie zbiornika retencyjnego wód opadowych z odwodnienia drogi szybkiego ruchu, *Materiały Budowlane*, nr 12, 2016, 78-81.
8. Mazurkiewicz K., Skotnicki M., Sowiński M.: *Opracowanie hietogramów wzorcowych na potrzeby symulacji odpływu ze zlewni miejskich*. Monografie Komitetu Gospodarki Wodnej PAN, z. 39, 2016, 33-47.
9. Nowak M. (red.): *Wspomaganie decyzji w planowaniu projektów*. Difin, Warszawa 2014.
10. Pochwat K., Dziopak J., Słyś D.: *Zbiornik retencyjny ścieków deszczowych i ogólnospławnych*. P.420116.
11. Pochwat K., Słyś D., Kordana S.: The temporal variability of a rainfall synthetic hietograph for the dimensioning of stormwater retention tanks in small urban catchments. *Journal of Hydrology*, vol. 549, 2017, 501-511.
12. Przybyła C., Bykowski J., Mrozik K., Napierała M.: The Role of Water and Drainage System Infrastructure in the Process of Suburbanization. *Rocznik Ochrona Środowiska*, vol. 13, 2011, 769-786.
13. Sharma M.: Multi Attribute Decision Making Techniques. *International Journal of Research in Management, Science & Technology*, vol. 1, 2013, 49-51.
14. Starzec M., Dziopak J., Alexeev M.I.: Effect of the sewer basin increasing to necessary useful capacity of multichamber impounding reservoir. *Water and Ecology*, vol. 1, 2015, 41-50.
15. Stec A.: Financial efficiency of rainwater utilization system in single-family house. *E3S Web of Conferences*, vol. 17, 2017, 00086.
16. Suligowski Z., Orłowska-Szostak M.: Retencja w warunkach aglomeracji miejskich – zbiornik rurowy. *Instal*, nr 10, 2013, 72-75.
17. Szeląg B., Mrowiec M.: The methods of evaluating storage volume for single-chamber reservoir in urban catchments. *Archives of Environmental Protection*, vol. 42, 2016, 20-25.
18. Wiśniowska-Kielian B., Niemiec M., Arasimowicz M.: Przydrożne zbiorniki ścieków opadowych jako element ochrony jakości wód. *Inżynieria Ekologiczna*, nr 34, 2013, 62-75.
19. Zelenáková M., Markovič G., Kaposztasová D., Vranayová Z.: Rainwater management in compliance with sustainable design of buildings. *Procedia Engineering*, vol. 89, 2014, 1515-1521.