

Sabina KORDANA¹ i Daniel SŁYŚ¹

ANALIZA KRYTERIÓW WARUNKUJĄCYCH WYBÓR OPTIMALNEGO ROZWIĄZANIA SYSTEMU ZAGOSPODAROWANIA WÓD OPADOWYCH

ANALYSIS OF CRITERIA FOR SELECTING THE MOST FAVORABLE STORMWATER MANAGEMENT VARIANT

Abstrakt: Potrzeba sprawnego ujęcia i odprowadzenia wód opadowych powstających w obrębie zlewni miejskich jest jednym z głównych wyzwań, w obliczu których stawiane są kolejne pokolenia. Tymczasem decyzja o wyborze konkretnego rozwiązania systemu zagospodarowania wód deszczowych podejmowana jest obecnie intuicyjnie bądź w oparciu o jedno kryterium, jakim jest wysokość nakładów inwestycyjnych koniecznych do poniesienia na realizację przedsięwzięcia. Takie podejście prowadzi do powstawania szeregu niekorzystnych i długofalowych zjawisk związanych ze zmianą bilansu wodnego zlewni i pogorszeniem warunków życia ludności. Sprostanie stawianym wymaganiom wymaga rozpatrzenia i uwzględnienia w procesie projektowania infrastruktury odwodnieniowej wszystkich aspektów towarzyszących jej budowie i eksploatacji. Są to przede wszystkim czynniki ekonomiczne, eksploatacyjne, estetyczne, hydrauliczne, lokalizacyjne, społeczne, środowiskowe oraz techniczne. Kryteria warunkujące wybór optymalnego rozwiązania systemu zagospodarowania wód deszczowych należy analizować na wielu płaszczyznach, przy uwzględnieniu zarówno czynników policzalnych, jak i tych, których opis w sposób kwantyfikowalny nie jest możliwy. Celem artykułu jest zdefiniowanie oraz zbadanie atrybutów procesu decyzyjnego związanego z wyborem wariantu projektowego systemu odwodnieniowego. W pracy wskazano także narzędzie, którego wykorzystanie umożliwi obiektywne porównanie analizowanych wariantów w świetle przedstawionych kryteriów przy pomocy jednego modelu obliczeniowego. Aplikacja opisanego algorytmu postępowania w proces zarządzania wodami opadowymi pozwoli podejmować racjonalne decyzje inwestycyjne, które zaakceptowane zostaną przez społeczność lokalną.

Słowa kluczowe: analiza wielokryterialna, AHP, wody opadowe, wspomaganie decyzji

Wprowadzenie

Nieodłącznym elementem towarzyszącym rozwojowi gospodarstwu poszczególnych krajów świata, w tym także i Polski, jest postępująca urbanizacja. Proces ten, pomimo niewątpliwych zalet związanych z rozwojem technologicznym oraz wzrostem poziomu życia kolejnych pokoleń, jest jednak jedną z kluczowych determinant degradacji środowiska przyrodniczego oraz przyczynia się do powstawania szeregu problemów, które można rozpatrywać między innymi w aspekcie zarządzania wodami opadowymi. Będący następstwem ekspansji miast przyrost powierzchni terenów utwardzonych stał się bowiem w ostatnich latach źródłem zaburzenia naturalnego obiegu wody w przyrodzie, wzrostu zagrożenia powodziowego i szeregu powiązanych z tym strat społecznych.

Problemy te dodatkowo pogłębia brak kompleksowego podejścia do kwestii projektowania systemów odwodnieniowych. Decyzja o wyborze konkretnego rozwiązania systemu podejmowana jest obecnie intuicyjnie bądź w oparciu o wysokość nakładów inwestycyjnych koniecznych do poniesienia na realizację przedsięwzięcia, bez

¹ Katedra Infrastruktury i Ekorozwoju, Wydział Budownictwa, Inżynierii Środowiska i Architektury, Politechnika Rzeszowska, al. Powstańców Warszawy 6, 35-959 Rzeszów, tel. 17 74 32 409, 17 86 51 784, email: sk@prz.edu.pl, daniels@prz.edu.pl

* Praca była prezentowana podczas konferencji ECOpole'15, Jarnołtówek, 14-16.10.2015

zidentyfikowania potencjalnych skutków i konsekwencji podjętych działań w perspektywie kolejnych lat eksploatacji infrastruktury odwodnieniowej. Z punktu widzenia sprawnego jej funkcjonowania oraz komfortu użytkowników konieczne jest jednak uwzględnienie wszystkich czynników towarzyszących budowie i eksploatacji systemu zagospodarowania wód deszczowych powstających w obrębie zlewni miejskich. Takie postępowanie pozwoli ograniczyć stopień implementacji tradycyjnego modelu gospodarki wodami opadowymi, którego stosowanie skutkuje brakiem możliwości opóźnienia odpływu i zatrzymania wód opadowych w obrębie zlewni, czego negatywne skutki zaobserwować można nie tylko na odwadnianym terenie, ale także w odbiorniku ścieków deszczowych [1-3].

Odpowiedzią na potrzebę poszukiwania rozwiązań alternatywnych, umożliwiających zredukowanie niekorzystnego oddziaływania wód opadowych na środowisko naturalne i społeczność lokalną, jest budowa obiektów przeznaczonych do okresowej retencji i infiltracji wód opadowych do gruntu [4-9] oraz systemów gospodarczego wykorzystania tego cennego surowca, jakim niewątpliwie jest woda deszczowa [10-12]. Zrównoważone systemy zagospodarowania wód opadowych mogą znaleźć zastosowanie zarówno w przypadku infrastruktury istniejącej, jak i nowo budowanej, jednakże możliwości aplikacji poszczególnych urządzeń są ograniczone, a efektywność działania uzależniona od szeregu czynników [13-15]. Powoduje to konieczność wyznaczenia i przeanalizowania wszystkich kryteriów mogących wpłynąć na zasadność zastosowania dostępnych rozwiązań systemu odwodnieniowego oraz wyboru narzędzia, którego wykorzystanie umożliwi ich obiektywne porównanie w świetle tych kryteriów.

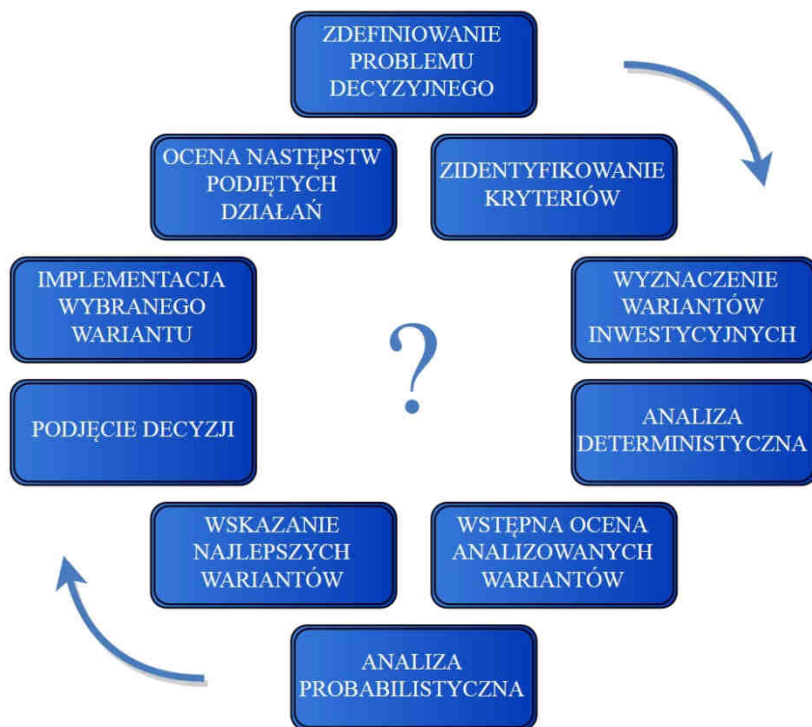
W niektórych częściach świata podjęto już próby implementacji metod analizy wielokryterialnej w proces zarządzania wodami opadowymi, jednakże dotyczy to przede wszystkim obszarów dotkniętych deficytem wody oraz krajów, w których prowadzona jest intensywna polityka proekologiczna. W pierwszym przypadku można przyjąć, iż zainteresowanie możliwością wykorzystania tych metod zostało wymuszone sytuacją wynikającą z konieczności poszukiwania uzasadnionych technicznie i ekonomicznie alternatywnych źródeł wody. Prowadzone w Indiach [16, 17] czy krajach afrykańskich, takich jak RPA [18] i Nigeria [19], badania skupiają się głównie na systemach gospodarczego wykorzystania wód opadowych, a analizie poddawane są zarówno poszczególne rozwiązania tych systemów, jak i ich potencjalne lokalizacje. Innym przykładem zastosowania analizy wielokryterialnej w gospodarce wodami opadowymi jest ich aplikacja w proces zarządzania istniejącą infrastrukturą odwodnieniową. Takie rozwiązanie znalazło zastosowanie w Algierii [20], gdzie w badaniach uwzględniono nie tylko aspekty związane bezpośrednio z systemem zagospodarowania wód deszczowych, ale jako kryteria warunkujące wysoką jakość funkcjonowania systemu uznano także takie czynniki, jak radzenie sobie ze skargami od użytkowników czy politykę personalną w przedsiębiorstwie nadzorującym infrastrukturę odwodnieniową.

Odrębne zagadnienie naukowe stanowi wielopłaszczyznowe, kompleksowe podejście do problemu wyboru najlepszego rozwiązania systemu przeznaczonego do zagospodarowania wód opadowych powstających w obrębie zlewni miejskich. Badania wstępne w tym zakresie zrealizowano przede wszystkim na przykładzie zlewni zlokalizowanej w mieście Blacksburg, w stanie Virginia (USA), w ramach grantu Amerykańskiej Agencji Ochrony Środowiska [21]. Próbę zastosowania analizy wielokryterialnej w procesie planowania infrastruktury odwodnieniowej podjęto też

w takich krajach, jak Chiny [22] czy Francja [23], jednakże we wszystkich tych przypadkach możliwość implementacji otrzymanych wyników badań jest ograniczona lokalizacyjnie do konkretnej zlewni, co powoduje, że nie mogą one zostać wykorzystane w warunkach polskich. Wynika to przede wszystkim z odmienności klimatu, rozbieżności w obowiązujących regulacjach prawnych, jak również zróżnicowania priorytetów. Przedstawione przykłady dowodzą jednak, iż wykorzystanie analizy wielokryterialnej w dziedzinie zarządzania wodami opadowymi jest w pełni uzasadnione, co budzi potrzebę ich implementacji także w Polsce.

Wspomaganie podejmowania decyzji inwestycyjnych

Wsparciem dla podejmowania racjonalnych decyzji inwestycyjnych, które będą uwzględniać nie tylko poszczególne etapy realizacji przedsięwzięcia, ale także jego eksploatacji, są zaawansowane techniki wspomagania decyzji. Ich wykorzystanie umożliwi systemowe i interdyscyplinarne podejście do kwestii projektowania systemów odwodnieniowych w zlewniach zurbanizowanych oraz pozwoli uwzględnić wszystkie kryteria warunkujące wybór najlepszego rozwiązania systemu zagospodarowania wód deszczowych za pomocą jednego modelu obliczeniowego.

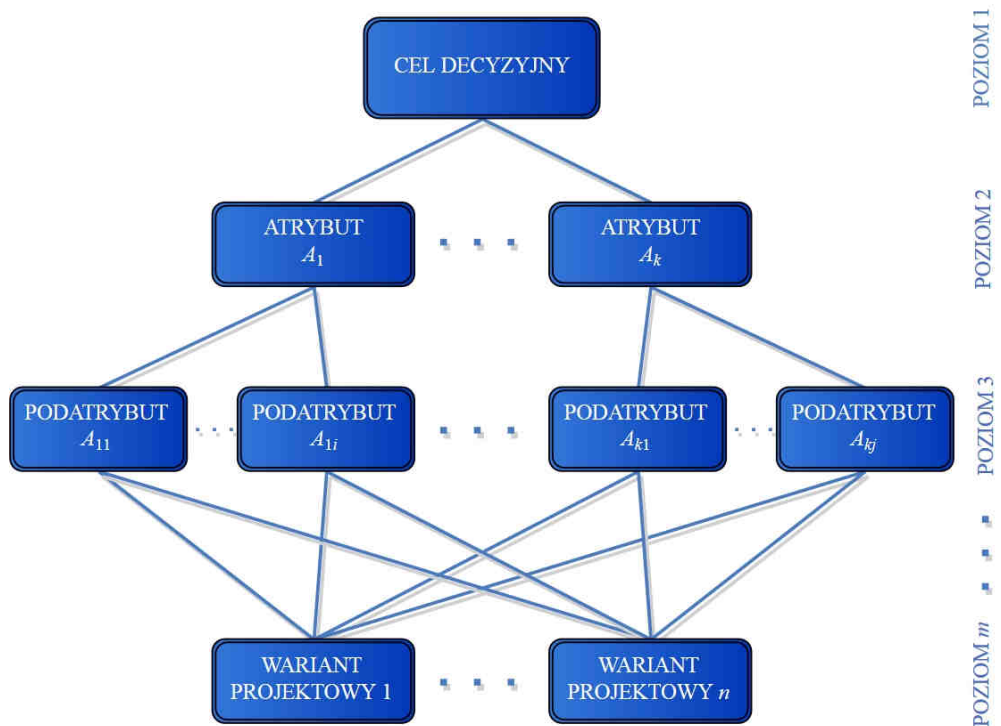


Rys. 1. Ogólny algorytm podejmowania decyzji inwestycyjnych

Fig. 1. The algorithm for making investment decisions

Zaawansowane techniki wspomaganie podejmowania wielokryterialnych decyzji inwestycyjnych dzielą się na wielocelowe i wieloatributowe [24]. W tym pierwszym przypadku decyzja podejmowana jest w oparciu o zbiór celów, które decydent chce osiągnąć, oraz zbiór ograniczeń im towarzyszących, a liczba potencjalnych opcji decyzyjnych jest nieskończona. Inne podejście należy zastosować w sytuacji, gdy analizie poddawane są problemy wieloatributowe, do których zaliczyć można także wybór systemu zagospodarowania wód deszczowych. Rozpatrywane opcje decyzyjne są tu jasno zdefiniowane i ich liczba jest ograniczona, a decyzja podejmowana jest na podstawie zbioru kryteriów, których cechą charakterystyczną jest brak konieczności opisu w sposób kwantyfikowalny.

Na rysunku 1 przedstawiono ogólny algorytm podejmowania decyzji inwestycyjnych, który dostosowano do specyfiki zadań inżynierskich.



Rys. 2. Struktura hierarchii w metodzie AHP (na podstawie [26])

Fig. 2. The structure of AHP hierarchy (based on [26])

Pierwszym etapem omawianego procesu jest określenie perspektywy, z punktu widzenia której analizowany problem decyzyjny ma być rozpatrywany, oraz jasne i precyzyjne zdefiniowanie samego problemu, a dzięki temu także celu analizy. Cel ten determinuje zakres kolejnych etapów, których założeniem jest zidentyfikowanie wszystkich kryteriów warunkujących wybór optymalnego rozwiązania problemu oraz potencjalnych

opcji decyzyjnych, czyli rozpatrywanych wariantów projektowych. Na ich podstawie przeprowadzana jest analiza deterministyczna zasadności zastosowania poszczególnych rozwiązań. W analizie tej mogą znaleźć zastosowanie opinie ekspertów czy modele kosztów cyklu życia rozważanych wariantów inwestycyjnych. Realizacja tego etapu procesu decyzyjnego pozwala na wstępną ocenę analizowanych wariantów, jednakże przed podjęciem finalnej decyzji konieczne jest zbadanie wrażliwości otrzymanych wyników na zmiany poszczególnych ocen, do czego wykorzystywana jest analiza probabilistyczna. Po jej wykonaniu możliwe jest wskazanie opcji decyzyjnych, których implementacja pozwoli w największym stopniu zbalansować korzyści związane z realizacją przedsięwzięcia i potencjalne straty, oraz podjęcie ostatecznej decyzji. Konsekwencją wdrożenia wybranego wariantu inwestycyjnego jest z kolei ocena następstw podjętych działań oraz ewentualne rozwiązywanie kolejnych problemów decyzyjnych.

Narzędziem, którego wykorzystanie pozwoli podejmować racjonalne decyzje inwestycyjne dotyczące wyboru systemu zagospodarowania wód deszczowych, jest metoda struktury hierarchicznej problemu AHP.

Istota metody AHP, której twórcą jest Thomas L. Saaty z Uniwersytetu w Pittsburgu, opiera się na uporządkowaniu poszczególnych elementów procesu decyzyjnego w postaci hierarchii, co przedstawiono na rysunku 2. Poziom 1 hierarchii stanowi cel, który decydent chce osiągnąć. Kolejne poziomy tworzone są przez kryteria decyzyjne, nazywane często atrybutami, natomiast najniższy poziom w hierarchii zajmują opcje decyzyjne [25]. Saaty i Shih [26] wskazują dodatkowo na potrzebę uwzględnienia uczestników procesu decyzyjnego na przynajmniej jednym z poziomów hierarchii.

Fundamentalna skala porównań Saaty'ego (na podstawie [27])

Tabela 1

The Saaty's fundamental scale for paired comparisons (based on [27])

Table 1

Skala ważności	Definicja	Wyjaśnienie
1	Równoważność	Porównywane elementy są równoważne
3	Umiarkowana preferencja	Pierwszy z porównywanych elementów jest umiarkowanie preferowany względem drugiego
5	Silna preferencja	Pierwszy z porównywanych elementów jest mocno preferowany względem drugiego
7	Bardzo silna preferencja	Pierwszy z porównywanych elementów jest bardzo mocno preferowany względem drugiego
9	Bezwzględna preferencja	Pierwszy z porównywanych elementów jest bezwzględnie preferowany względem drugiego
2,4,6,8	-	Występowanie preferencji pośrednich między opisanymi powyżej
1/1-1/9	-	Preferencje odwrotne do opisanych powyżej

W metodzie AHP wszystkie elementy hierarchii występujące na danym poziomie (z wyjątkiem poziomu 1) porównywane są parami względem kolejnych elementów poziomu bezpośrednio wyższego. Na podstawie otrzymanych porównań tworzone są macierze kwadratowe, których wymiar odpowiada liczbie elementów na danym poziomie. Porównywanie elementów niemożliwych do opisanego w sposób kwantyfikowalny jest wykonalne dzięki wykorzystaniu dziewięciostopniowej skali porównań T.L. Saaty'ego (tab. 1). Jest to skala liczbowa, której zastosowanie pozwala odpowiedzieć na pytanie, ile

razy jeden element jest bardziej preferowany od drugiego w świetle przyjętego kryterium [27].

Na podstawie uzyskanych danych obliczane są priorytety lokalne, a w dalszej kolejności priorytety globalne, co pozwala wybrać opcję optymalną.

Kryteria warunkujące wybór optymalnego rozwiązania problemu

Zgodnie z opisaną procedurą podejmowania decyzji, jednym z początkowych jej etapów jest zdefiniowanie czynników warunkujących wybór optymalnego rozwiązania problemu. W realizowanych dotychczas przedsięwzięciach inwestycyjnych głównym i często jedynym kryterium decydującym o wyborze konkretnego wariantu projektowego było kryterium ekonomiczne. W prowadzonych badaniach uwzględniono dodatkowo czynniki eksploatacyjne, estetyczne, hydrauliczne, lokalizacyjne, społeczne, środowiskowe i techniczne, w obrębie których wyznaczono dodatkowe podkryteria. Opracowaną strukturę problemu decyzyjnego przedstawiono w tabeli 2.

Ponadto, zgodnie z zaleceniami twórcy metody AHP [26], wskazane jest uwzględnienie w analizie preferencji różnych uczestników procesu decyzyjnego. W przypadku wyboru sposobu zagospodarowania wód deszczowych powstających w obrębie zlewni miejskich mogą to być potencjalni decydenci, przykładowo przedstawiciele samorządu i przedsiębiorstwa wodociągowo-kanalizacyjnego, projektanci czy indywidualni użytkownicy. Celowe jest także rozpatrzenie priorytetów osób mogących odczuć skutki realizacji przyjętej alternatywy decyzyjnej. W tym drugim przypadku szczególnie istotna jest opinia mieszkańców oraz eksploatatorów systemu odwodnieniowego, jednakże niekiedy może się okazać konieczne uwzględnienie również stanowiska turystów czy ekologów.

Tabela 2

Kryteria warunkujące wybór optymalnego rozwiązania systemu zagospodarowania wód deszczowych

Table 2

The criteria for selecting the most favorable stormwater management variant

Atrybuty procesu decyzyjnego	Podatrybuty procesu decyzyjnego (cele szczegółowe)
A ₁ : Ekonomiczne	A ₁₁ : Zapewnienie źródła finansowania
	A ₁₂ : Zminimalizowanie opłat ponoszonych za odprowadzanie wód opadowych
	A ₁₃ : Zredukowanie kosztów cyklu życia systemu odwodnieniowego
A ₂ : Eksploatacyjne	A ₂₁ : Ograniczenie ryzyka awarii systemu odwodnieniowego
	A ₂₂ : Zapewnienie bezpieczeństwa eksploatacji systemu odwodnieniowego
	A ₂₃ : Zminimalizowanie częstości zabiegów konserwacyjnych
A ₃ : Estetyczne	A ₃₁ : Dostosowanie do obowiązującego planu zagospodarowania terenu
	A ₃₂ : Stworzenie komponentu małej architektury
	A ₃₃ : Wpasowanie w aktualne ukształtowanie terenu
A ₄ : Hydrauliczne	A ₄₁ : Dostosowanie do istniejącej infrastruktury odwodnieniowej
	A ₄₂ : Ociążenie istniejących przewodów kanalizacyjnych i umożliwienie nowych podłączeń
	A ₄₃ : Ociążenie obiektów zlokalizowanych na sieci kanalizacyjnej
	A ₄₄ : Umożliwienie kontroli i opóźnienia odpływu wód opadowych ze zlewni do odbiornika
	A ₄₅ : Zredukowanie ilości wód opadowych odprowadzanych do odbiornika

Atrybuty procesu decyzyjnego	Podatrybuty procesu decyzyjnego (cele szczegółowe)
A ₅ : Lokalizacyjne	A ₅₁ : Dopasowanie systemu odwodnieniowego do charakterystyki odwadnianej powierzchni
	A ₅₂ : Dopasowanie systemu odwodnieniowego do położenia zwierciadła wód gruntowych
	A ₅₃ : Dopasowanie systemu odwodnieniowego do wielkości powierzchni dostępnej pod zabudowę
	A ₅₄ : Dopasowanie systemu odwodnieniowego do wielkości odwadnianej powierzchni
	A ₅₅ : Dopasowanie systemu odwodnieniowego do współczynnika filtracji gruntu
A ₆ : Społeczne	A ₆₁ : Dostosowanie systemu odwodnieniowego do obowiązujących regulacji prawnych
	A ₆₂ : Dostosowanie systemu odwodnieniowego do stylu życia mieszkańców
	A ₆₃ : Poprawa świadomości ekologicznej społeczności lokalnej
	A ₆₄ : Umożliwienie gospodarczego wykorzystania wód opadowych w celu podlewania zieleni
	A ₆₅ : Umożliwienie gospodarczego wykorzystania wód opadowych w celu spłukiwania toalet
	A ₆₆ : Zapewnienie bezpieczeństwa mieszkańców
A ₇ : Środowiskowe	A ₆₇ : Zredukowanie strat społecznych wynikłych z nieprawidłowej gospodarki wodami opadowymi
	A ₇₁ : Ochrona odbiornika ścieków deszczowych
	A ₇₂ : Podczyszczenie wód opadowych
	A ₇₃ : Polepszenie stanu zieleni miejskiej
	A ₇₄ : Poprawa różnorodności biologicznej na terenie miast
	A ₇₅ : Stworzenie atrakcyjnego mikroklimatu
A ₈ : Techniczne	A ₇₆ : Zwiększenie zasobów wód podziemnych
	A ₈₁ : Ułatwienie wykonania projektu systemu odwodnieniowego
	A ₈₂ : Uproszczenie budowy systemu odwodnieniowego

Z uwagi na dużą złożoność rozpatrywanego problemu decyzyjnego oraz znaczną liczbę potencjalnych jego rozwiązań zasadne jest uwzględnienie w procesie planowania infrastruktury odwodnieniowej tylko tych opcji decyzyjnych, których zastosowanie w danych warunkach jest technicznie uzasadnione. Takie podejście do kwestii projektowania systemów zagospodarowania wód deszczowych pozwoli ograniczyć liczbę wymaganych porównań parami poszczególnych elementów hierarchii oraz znacznie skróci czas analizy. Wstępna selekcja wariantów projektowych może przykładowo zostać dokonana w oparciu o kryterium lokalizacyjne, to jest charakterystykę gruntowo-wodną oraz powierzchnię terenu, w którym ma się znajdować urządzenie odwadniające, jak również sposób zagospodarowania i wielkość zlewni. Wynika to z faktu, iż każde ze stosowanych w gospodarce wodno-ściekowej urządzeń posiada swoją unikatową charakterystykę oraz ograniczenia do stosowania.

Warto również podkreślić, iż opracowana struktura problemu decyzyjnego związanego z wyborem systemu odwodnieniowego jest elastyczna i ma uniwersalny charakter. W zależności od sytuacji poszczególne podatrybuty analizowanego problemu decyzyjnego można podzielić, wyodrębniając w ten sposób kolejny poziom tego problemu bądź też całkowicie je pominać.

Podsumowanie i wnioski

Potrzeba ujęcia i sprawnego odprowadzenia wód opadowych spływających z powierzchni zlewni zurbanizowanych jest jednym z głównych wyzwań XXI wieku.

Wielu spośród problemów, na które napotykają obecnie eksploatacyjni systemów zagospodarowania wód deszczowych oraz osoby zamieszkujące odwadniane tereny, można jednak uniknąć, uwzględniając na etapie projektowania tego typu systemów wszystkie aspekty towarzyszące ich budowie i eksploatacji. Takie podejście do kwestii wyboru strategii zarządzania wodami opadowymi pozwoli ograniczyć negatywne oddziaływanie wód deszczowych na środowisko naturalne oraz społeczność lokalną. Dodatkowo, dzięki popularyzacji gospodarczego wykorzystania wód deszczowych przyczyni się także do racjonalizacji zużycia wody przeznaczonej do spożycia.

Narzędziem, którego wykorzystanie umożliwi obiektywne porównanie rozpatrywanych wariantów inwestycyjnych w świetle przedstawionych w artykule atrybutów procesu decyzyjnego, jest metoda analizy hierarchicznej problemu. Jej zastosowanie pozwoli uwzględnić w jednym modelu obliczeniowym zarówno czynniki wymierne, takie jak koszty cyklu życia poszczególnych rozwiązań systemu odwodnieniowego czy ich charakterystykę hydrauliczną, jak i te kryteria, których opis w sposób ilościowy nie jest wykonalny. Metoda AHP daje także możliwość włączenia w strukturę problemu decyzyjnego potencjalnych decydentów oraz grup ludzi, na które realizacja przedsięwzięcia wywrze największy wpływ, co pozwala w stosunkowo łatwy sposób uwzględnić preferencje różnych uczestników procesu decyzyjnego.

Aplikacja opracowanej struktury problemu decyzyjnego w proces zarządzania wodami opadowymi będzie krokiem w kierunku zrównoważonej gospodarki miejskiej oraz ułatwi projektowanie systemów odwodnieniowych w zgodzie z naturą, obowiązującymi regulacjami prawnymi i przekonaniem użytkowników.

Literatura

- [1] Hlavínek P. Stormwater management in urbanised areas. In: Hlavínek P, Bonacci O, Marsalek J, Mahrikova I, editors. *Dangerous Pollutants (Xenobiotics) in Urban Water Cycle*. Nato Science for Peace and Security Series C - Environmental Security. Dordrecht: Springer; 2008. DOI: 10.1007/978-1-4020-6795-2_5.
- [2] Llopart-Mascaró A, Farreny R, Gabarrell X, Rieradevall J, Gil A, Martínez M, et al. *Urban Water J*. 2015;12:219-228. DOI: 10.1080/1573062X.2013.868499.
- [3] Ociepa E, Kisiel A, Lach J. *Proc ECOpole*. 2009;3:115-120.
- [4] Barszcz M. *Pol J Environ Stud*. 2015;24:57-65. DOI: 10.15244/pjoes/29197.
- [5] Licznar P. *Ochr Środ*. 2013;35:27-32.
- [6] Pochwat K, Dziopak J. *Zesz Nauk Politechniki Rzeszowskiej. Budownictwo Inż Środ*. 2012;59(2/I):91-107.
- [7] Słyś D, Dziopak J. *Pol J Environ Stud*. 2011;20:743-753.
- [8] Słyś D, Stec A, Czarniecki D. *Technical and aesthetic aspects in designing of open rainwater tanks*. In: Kubík J, Hlavínek P, editors. *Městské Vody/Urban Water 2014*. Brno: Ardec s.r.o.; 2014.
- [9] Starzec M, Dziopak J, Alexeev MI. *Water and Ecology*. 2015;1:41-50.
- [10] Angrill S, Farreny R, Gasol CM, Gabarrell X, Viñolas B, Josa A, et al. *Int J Life Cycle Assess*. 2012;17:25-42. DOI: 10.1007/s11367-011-0330-6.
- [11] Słyś D, Stec A. *Ecol Chem Eng S*. 2014;21:623-635. DOI: 10.1515/eces-2014-0045.
- [12] Zelenáková M, Markovič G, Kaposztásová D, Vranayová Z. *Procedia Eng*. 2014;89:1515-1521. DOI: 10.1016/j.proeng.2014.11.442.
- [13] Chen CF, Sheng My, Chang CL, Kang SF, Lin JY. *Water*. 2014;6:3575-3589. DOI: 10.3390/w6123575.
- [14] Sakson G, Zawilski M, Badowska E, Brzezińska A. *JCEEA*. 2014;61(3/I):253-264. DOI: 10.7862/rb.2014.60.
- [15] Słyś D. *Zrównoważone systemy odwodnienia miast*. Wrocław: Dolnośląskie Wydawnictwo Edukacyjne; 2013.
- [16] Jha MK, Chowdary VM, Kulkarni Y, Mal BC. *Resour, Conserv Recycl*. 2014;83:96-111. DOI: 10.1016/j.resconrec.2013.12.003.

- [17] Kadam AK, Kale SS, Pande NN, Pawar NJ, Sankhua RN. *Water Resour Manage.* 2012;26:2537-2554. DOI: 10.1007/s11269-012-0031-3.
- [18] Mwenge Kahinda J, Taigbenu AE, Sejamoholo BBP, Lillie ESB, Boroto RJ. *Phys Chem Earth.* 2009;34:767-775. DOI: 10.1016/j.pce.2009.06.011.
- [19] Lade O, Oloke D. *Environ Eng Res.* 2013;18:91-94. DOI: 10.4491/eer.2013.18.2.091.
- [20] Benzerra A, Cherrared M, Chocat B, Cherqui F, Zekiouk T. *J Environ Manage.* 2012;101:46-53. DOI: 10.1016/j.envman.2012.01.027.
- [21] Young KD, Younos T, Dymond RL, Kibler DF, Lee DH. *J Contemp Water Res Educ.* 2010;146:50-63. DOI: 10.1111/j.1936-704X.2010.00391.x.
- [22] Jia H, Yao H, Tang Y, Yu SL, Zhen JX, Lu Y. *Environ Monit Assess.* 2013;185:7915-7933. DOI: 10.1007/s10661-013-3144-0.
- [23] Martin C, Ruperd Y, Legret M. *Eur J Oper Res.* 2007;18:338-349. DOI: 10.1016/j.ejor.2006.06.019.
- [24] Fang L, Li HC. *RAIRO-Oper Res.* 2015;49:753-772. DOI: 10.1051/ro/2015003.
- [25] Prusak A, Stefanów P. *AHP - analityczny proces hierarchiczny. Budowa i analiza modeli decyzyjnych krok po kroku.* Warszawa: Wydawnictwo C.H. Beck; 2014.
- [26] Saaty TL, Shih HS. *Eur J Oper Res.* 2009;199:867-872. DOI: 10.1016/j.ejor.2009.01.064.
- [27] Saaty T. *J Syst Sci Syst Eng.* 2004;13:1-35.

ANALYSIS OF CRITERIA FOR SELECTING THE MOST FAVORABLE STORMWATER MANAGEMENT VARIANT

Department of Infrastructure and Sustainable Development
Faculty of Civil and Environmental Engineering and Architecture, Rzeszów University of Technology

Abstract: The need for efficient stormwater collection and discharge to the receiver is one of the major challenges faced by successive generations. However, the decision to choose a particular stormwater management solution is currently made intuitively or based on the single criterion, that is, the capital expenditures incurred on the realization of the project. Such an approach leads to a number of unfavorable and long-term occurrences connected with the change of catchment water balance and the deterioration of living conditions. In order to meet the particular requirements of local communities it is necessary to consider all the aspects associated with the construction and operation of drainage systems. These are primarily the following groups of features: aesthetic, economic, environmental, hydraulic, locational, operating, social and technical ones. The criteria which determine the choice of the best management practices for stormwater management should be analyzed on many levels, including both the measurable factors and the non-quantifiable ones. The aim of the paper is to define and examine all the criteria related to the drainage systems. The article also suggests a method to objectively compare analyzed investment variants under adopted criteria. The application of the described procedure in the process of designing sustainable stormwater management systems could contribute to rational investment decision making.

Keywords: multi-criteria analysis, AHP, stormwater, decision support