

*Zbigniew Mucha, Agnieszka Generowicz**

WYBÓR SYSTEMU USUWANIA I OCZYSZCZANIA ŚCIEKÓW Z WYKORZYSTANIEM ANALIZY WIELOKRYTERIALNEJ

Z a r y s t r e ś c i: W artykule przedstawiono zastosowanie analizy wielokryterialnej do wyboru rozwiązania systemu usuwania i oczyszczania ścieków na terenie ustanowionej aglomeracji o równoważnej liczbie mieszkańców powyżej 10 000. Gminy chcąc pozyskać środki finansowe na rozbudowę systemu kanalizacyjnego tworzą aglomerację, z których wszystkie ścieki muszą być zbierane i oczyszczane w jednej lub kilku wysokoefektywnych oczyszczalniach znajdujących się na ich terenie. Możliwe jest również rozwiązanie z transportem ścieków do jednej większej oczyszczalni. Wymaga to jednak przeprowadzenia analizy techniczno-ekonomicznej z uwzględnieniem również innych, równie ważnych czynników. Wybór sposobu usuwania i oczyszczania ścieków na terenie aglomeracji przeprowadzono w oparciu o kryteria zrównoważonego rozwoju, z wykorzystaniem analizy decyzyjnej. Zaproponowana metoda może być wykorzystana do wyboru najlepszego wariantu usuwania i oczyszczania ścieków.

S ł o w a k l u c z o w e: transport ścieków, aglomeracja, rozbudowa oczyszczalni ścieków, analiza wielokryterialna.

K l a s y f i k a c j a J E L: Q51, Q57, Q58.

WSTĘP

Polska przystępując do Unii Europejskiej zobowiązała się do wypełnienia wymagań dyrektywy Rady 91/271/EWG z dnia 21 maja 1991 roku dotyczącej oczyszczania ścieków komunalnych zgodnie z określonymi w negocjacjach i zapisanymi w Traktacie Akcesyjnym terminami i okresami prze-

* Adres do korespondencji: Zbigniew Mucha, Agnieszka Generowicz, Politechnika Krakowska, ul. Warszawska 24, 31–155 Kraków, e-mail: agenerowicz@pk.edu.pl.

ściowymi. W rozmowach przedakcesyjnych wynegocjowane zostały dostosowawcze okresy przejściowe na wprowadzenie przepisów ww. dyrektywy do końca 2015 roku. W celu zidentyfikowania faktycznych potrzeb w zakresie uporządkowania gospodarki ściekowej oraz uszeregowania ich realizacji w taki sposób, aby wywiązać się ze zobowiązań traktatowych utworzono Krajowy Program Oczyszczania Ścieków Komunalnych (KPOŚK).

Program ten zawiera wykaz aglomeracji o równoważnej liczbie mieszkańców RLM powyżej 2 tys., wraz z określeniem niezbędnych przedsięwzięć w zakresie budowy, rozbudowy lub modernizacji oczyszczalni ścieków komunalnych oraz budowy i modernizacji zbiorczych systemów kanalizacyjnych, jakie należy zrealizować w tych aglomeracjach w terminie do końca 2015 roku. Kolejne aktualizacje KPOŚK polegały na zmianach zakresu granic aglomeracji objętego programem wraz z aktualizacją kosztów oraz terminów realizacji poszczególnych zadań.

W związku z nową interpretacją zapisów Dyrektywy w roku 2014 wprowadzono szereg aktualizacji przepisów dotyczących aglomeracji i sposobu wdrażania KPOŚK.

Podstawową dla nowelizacji przepisów były następujące założenia:

- wydajność oczyszczalni ścieków w aglomeracjach odpowiada ładunkowi generowanemu na ich obszarze,
- standardy oczyszczania ścieków w oczyszczalniach uzależnione są od wielkości aglomeracji a nie tak jak dotychczas w zależności od wielkości oczyszczalni. Jakość ścieków oczyszczonych odprowadzanych z każdej oczyszczalni jest zgodna z wymaganiami Prawa wodnego i rozporządzenia Ministra Środowiska w sprawie warunków, jakie należy spełnić przy wprowadzaniu ścieków do wód lub do ziemi oraz w sprawie substancji szczególnie szkodliwych dla środowiska wodnego. W każdej oczyszczalni zlokalizowanej na terenie aglomeracji powyżej 10 tys. RLM wymagane jest oczyszczanie z usuwanie związków biogenych (azotu i fosforu),
- wyposażenie aglomeracji w systemy zbierania ścieków komunalnych gwarantujących blisko 100% poziom obsługi.

W roku 2014 weszły w życie kluczowe dla poruszanej problematyki zmiany w polskim prawie:

- Ustawa z dnia 18 lipca 2001 roku Prawo wodne (Zmiana – Ustawa z dnia 30 maja 2014 roku o zmianie ustawy – Prawo wodne oraz niektórych innych ustaw),
- Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 22 lipca 2014 roku w sprawie sposobu wyznaczania obszaru i granic aglomeracji,

- Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 18 listopada 2014 roku w sprawie warunków, jakie należy spełnić przy wprowadzaniu ścieków do wód lub do ziemi, oraz w sprawie substancji szczególnie szkodliwych dla środowiska wodnego.

Powyższe przepisy nałożyły na gminy obowiązek weryfikacji wielkości aglomeracji oraz weryfikacji planów inwestycyjnych w zakresie usuwania i oczyszczania ścieków mające na celu dostosowanie wydajności oczyszczalni do ładunków zanieczyszczeń powstających na terenie ustanowionej aglomeracji.

Decyzja odnośnie zastosowania konkretnego rozwiązania usuwania i oczyszczania ścieków wymaga przeanalizowania szeregu czynników technicznych, środowiskowych, uwarunkowań lokalnych oraz powinna być poprzedzona analizą ekonomiczną (Mucha, Mikosz, 2009). Strategie modernizacji oczyszczalni ścieków w celu zwiększenia efektywności usuwania związków biogenych przedstawiono w literaturze przedmiotu (Mucha, Mikosz, 2013; Mucha, Mikosz, 2014; Mucha, 2014, 2015).

W procesie wyboru rozwiązania technologicznego konieczne jest uwzględnienie kryteriów zrównoważonego rozwoju obejmujących aspekty techniczne, ekonomiczne, środowiskowe i społeczne (Aragonés-Beltrán i inni, 2009; Balkema i inni, 1998; Belton i in., 2002). Przykłady zastosowania analizy wielokryterialnej do wyboru systemu usuwania i oczyszczania ścieków przedstawiono w pracach: Mucha, Generowicz (2014, 2015), Wójcik, Mucha, Generowicz (2014), Garfi i inni (2009), Józwiakowski i inni (2015).

W artykule przedstawiono przykład zastosowania analizy wielokryterialnej do wyboru sposobu usuwania i oczyszczania ścieków z terenu aglomeracji o równoważnej liczbie mieszkańców (RLM) powyżej 10 tysięcy.

1. PRZYJĘTE DO OBLICZEŃ WARIANTY ROZWIĄZANIA SPOSOBU USUWANIA I CZYSZCZANIA ŚCIEKÓW ORAZ KRYTERIA ICH OCENY

Analizę wykonano dla gminy, w której z uwagi na możliwość uzyskania środków na budowę kanalizacji i rozbudowę oczyszczalni wyznaczono aglomerację o wielkości wyrażonej RLM powyżej 10 tysięcy. W gminie tej pracują dwie oczyszczalnie, z których jedna nie jest w pełni obciążona a jej przepustowość wynosi powyżej 10 tys. RLM oraz druga oczyszczalnia wymagająca rozbudowy i modernizacji o wymaganej przepustowości po rozbudowie poniżej 10 000 RLM. Z uwagi na ustanowioną aglomerację obie oczyszczalnie muszą więc spełnić zaostrzone wymagania usuwania azotu poniżej $15 \text{ mg N}_{\text{og}} / \text{dm}^3$ i fosforu poniżej $2 \text{ mg P}_{\text{og}} / \text{dm}^3$.

Możliwe technicznie warianty odprowadzania i oczyszczania ścieków z tej aglomeracji uwzględniono w analizie. Do analizy wybrano dwa warianty:

Wariant W1 – rozbudowa istniejącej mniejszej oczyszczalni z dostosowaniem jej do wymagań aglomeracji powyżej 10 tys. RLM.

Wariant W2 – transport ścieków ze zlewni mniejszej oczyszczalni do oczyszczalni większej znajdującej się na terenie aglomeracji z częściową rozbudową ciągu biologicznego oczyszczania. Wymagać to będzie dostosowania istniejących obiektów do funkcji pompowni oraz budowy rurociągu tłoczego o długości około 10 km.

W analizowanych wariantach decydujące mogą okazać się kryteria pozaekonomiczne tj. wpływ na środowisko oraz aspekty społeczne związane z niską akceptacją społeczną do czego przyczynia się występowanie uciążliwości zapachowej w istniejącym obiekcie. Ważnym czynnikiem jest również rodzaj odbiornika i wpływ ścieków oczyszczonych na jego wody. W przypadku większej oczyszczalni, do której możliwe jest tłoczenie ścieków jest to duża rzeka a w przypadku mniejszego rozbudowywanego obiektu jest to potok, który jest zagrożony ryzykiem nieosiągnięcia celów środowiskowych Ramowej Dyrektywy Wodnej.

W przeprowadzonej analizie uwzględniono więc następujące szczegółowe kryteria:

- aspekty ekonomiczne obejmujące łącznie nakłady inwestycyjne i koszty eksploatacji w postaci średniego rocznego kosztu obliczonego wzorem Szelażowskiego (Szelażowski, 1985; Józwiakowski i inni, 2015). Koszty inwestycyjne obejmują koszty budowy obiektów i zakupu urządzeń oraz ewentualne koszty zakupu terenu pod rozbudowę. Do obliczenia kosztów inwestycyjnych oczyszczalni przyjęto wskaźniki jednostkowe kosztów na podstawie danych zawartych w pracy (Mucha, Wójcik, 2015; Józwiakowski i inni, 2015), a koszty wykonania rurociągu tłoczego na podstawie kosztorysów ofertowych firm. Koszty eksploatacji obejmują: koszty zatrudnienia obsługi, materiałów eksploatacyjnych, zużycia energii, serwisu, wywozu osadu, opłat za korzystanie ze środowiska, analiz jakości ścieków,
- wpływ na środowisko, obejmujące możliwość wystąpienia nieprzyjemnego zapachu, hałas, wpływ na wody powierzchniowe,
- aspekty społeczne obejmują głównie czynnik związany z akceptacją społeczną, gdyż istniejący obiekt z uwagi na uciążliwość zapachową nie jest akceptowany przez lokalną społeczność.

Proponowane warianty usuwania i oczyszczania ścieków oraz kryteria opisujące funkcjonowanie poszczególnych rozwiązań przedstawiono w tabeli 1.

W celu porównania wariantów usuwania i oczyszczania ścieków pod względem ekonomicznym obliczono średni roczny koszt całkowity Kr , uwzględniający nakłady inwestycyjne i koszty eksploatacji. Obliczenia wykonano wg wzoru (Szelągowski, 1985):

$$Kr = Ki(r + s) + Ke \quad (1)$$

gdzie:

Ki – nakłady inwestycyjne, zł,

Ke – roczne koszty eksploatacji nie uwzględniające amortyzacji, zł·a⁻¹,

s – stawka odpisów na amortyzację, przyjęto jako średnią ważoną 0,04 (oczyszczalnia) dla wariantu W1 i 0,03 (oczyszczalnia i kanalizacja tłoczna) dla wariantu W2,

r – stopa dyskontowa (roczna rata umorzeniowa), przyjęto 0,05.

Podstawiając do wzoru przyjęte wartości, koszty roczne Kr określone formułą uproszczoną wynoszą:

– dla wariantu W1: $Kr = 0,09Ki + Ke$, zł·a⁻¹,

– dla wariantu W2: $Kr = 0,08Ki + Ke$, zł·a⁻¹,

Porównanie wariantów usuwania i oczyszczania ścieków pod względem ekonomicznym przedstawiono w tabeli 1.

Tabela 1. Wskaźniki ekonomiczne obliczone dla analizowanych wariantów

Rodzaj kosztów	W1	W2
Koszty inwestycyjne Ki , mln zł, w tym:	7,5	9,0
- rozbudowa oczyszczalni	7,5	5,0
- budowa kanału tłoczego o dł. 10,0km	-	4,0
Koszty eksploatacji Ke , mln.zł·a ⁻¹	1,0	1,0
- oczyszczalni	1,0	0,88
- pompowania ścieków	-	0,12
Koszty roczne, mln zł·a ⁻¹	1,675	1,720

Źródło: opracowanie własne.

Jak wynika z przedstawionych obliczeń średniego rocznego kosztu całkowitego nieco tańszym rozwiązaniem jest wariant z zastosowaniem rozbudowy istniejącej oczyszczalni ścieków.

2. OCENA WIELOASPEKTOWA ZAPROPONOWANYCH ROZWIĄZAŃ

Analiza wielokryterialna to matematyczne narzędzie wspomaganie decyzji pozwalające na uszeregowanie potencjalnie przyjętych do obliczeń i wycenionych sposobów mierzalny wariantów decyzyjnych. Uszeregowanie wariantów, zazwyczaj stanowi wskazanie rozwiązania najkorzystniejszego i kolejnych, mniej korzystnych, w zależności od przyjętych preferencji. Pozwala ona na agregację wszystkich uwzględnianych kryteriów, łącząc je i tworząc w ten sposób ocenę kompleksową ocenianego wariantu, uwzględniając jednocześnie wiele różnych kryteriów. Wielokryterialne modele decyzyjne stosowane są od lat osiemdziesiątych ubiegłego stulecia jako narzędzie oceny i wyboru wariantów optymalnych w inżynierii środowiska. Szeroki przegląd literatury z tego zakresu wykonany został przez Janikowskiego (Janikowski 1993; Morrissey, 2004; Hokkanen i inni, 1997; Generowicz i inni, 2011).

Generalnie wszystkie problemy decyzyjne podzielić można na jedno – i wielokryterialne. Wśród problemów wielokryterialnych wyróżnić można ciągłe i dyskretne. Przedstawione w niniejszym opracowaniu problemy decyzyjne to problemy decyzyjne dyskretne, których ocena wymaga wielu cząstkowych wskaźników oceniających, najlepiej mierzalnych. W przypadku problemów dyskretnych wskaźnikami oceniającymi jest skończony zbiór liczb i/lub określeń lingwistycznych, które stanowią miarę opracowanych wariantów względem wybranych kryteriów. Matematycznym zapisem sformułowanego zadania decyzyjnego jest tzw. macierz decyzyjna, w której mianem kryteriów oceniających określa się wspomniane liczby i/lub określenia lingwistyczne stanowiące konsekwencje realizacji poszczególnych wariantów, mierzone w kategoriach przyjętych jako miary oceny. Macierz decyzyjna w sposób ogólny przedstawiona jest w tabeli 2.

Tabela 2. Macierz decyzyjna dyskretnego problemu decyzyjnego

Oznaczenie kryterium	Ocena poszczególnych wariantów			
	Wariant 1	Wariant 2	...	Wariant N
kryt ₁	r ₁₁	r ₂₁	...	r _{N1}
kryt ₂	r ₁₂	r ₂₂	...	r _{N2}
...
kryt _m	r _{1m}	r _{2m}	...	r _{Nm}

Źródło: Generowicz i inni (2011).

Wyjaśnienie: kryt_m – m-te kryterium opisujące kolejne warianty technologiczne r_{NM} – wartość m-tego kryterium opisującego N-ty wariant technologiczny.

Do rozwiązania zadania decyzyjnego zastosowano metodę programowania kompromisowego, wykorzystującą koncepcję porządkowania poszczególnych wariantów modernizacji technologii według ich odległości od ustalonego punktu idealnego X' (x'_1, x'_2, \dots, x'_M), którego wszystkie współrzędne x'_M są równe maksymalnej wartości przyjętej skali normalizacyjnej. Matematyczny zapis miary odległości badanego wariantu od punktu idealnego ma postać.

$$L_\alpha(s_n) = \sum_{m=1}^M w_m^\alpha \cdot (x'_m - r'_{NM})^\alpha. \quad (2)$$

Wybór najkorzystniejszego rozwiązania odbywa się według zasady:

$$s_j = \bar{s} \Leftrightarrow L_\alpha(s_j) = \min L_\alpha(s_n), \quad (3)$$

w której $L_\alpha(s_n)$ oznacza miarę rozbieżności danego wariantu s_n od punktu idealnego; \bar{s} wybrany wariant, w_m współczynnik wagi kryterium m , x'_m – m -tą współrzędną punktu idealnego, r'_{NM} znormalizowaną wartość kryterium oceniającego, M liczbę kryteriów, a α wykładnik potęgowy mierzący odchylenie strategii od punktu idealnego X' , przyjmowany w praktyce jako 1, 2 oraz ∞ .

Ostatecznym rozwiązaniem przy zastosowaniu analizy wielokryterialnej wg przyjętych kryteriów oceniających jest uszeregowanie wariantów analizowanych technologii produkcji kwasu fosforowego od rozwiązania najbardziej korzystnego do najmniej korzystnego, uwzględniając dodatkowo wagi kryteriów oceniających. Przyjmując ograniczenia w wyborze wariantów, dla ograniczenia zbioru rozwiązań dopuszczalnych, leżące akceptowalnie blisko punktu idealnego, w obliczeniach, przyjęto ograniczenia, czyli tzw. próg akceptowalności według wzoru (4):

$$S_n^{*}) = 0,1 \cdot L_\alpha(s_n)_{\min}. \quad (4)$$

3. WYBÓR SPOSOBU USUWANIA I OCZYSZCZANIA ŚCIEKÓW

Do obliczeń przyjęto dwa rozwiązania usuwania i oczyszczania ścieków:
– rozbudowa istniejącej oczyszczalni z dostosowaniem jej do wymagań aglomeracji powyżej 10 tys. RLM – W1,

- transport ścieków do większej oczyszczalni znajdującej się na terenie aglomeracji z częściową rozbudową ciągu biologicznego oczyszczania W2.

Zapis macierzy decyzyjnej dla niniejszego zadania decyzyjnego przedstawiony jest w tabeli 3. Wszystkie kryteria były wycenione w skali punktowej od 1 do 10 (gdzie 1 – ocena najgorsza, 10 – ocena najlepsza), oprócz kryterium ekonomicznego, gdzie w złotych oszacowano nakłady inwestycyjne i koszty eksploatacji i przedstawiono w postaci średniego rocznego kosztu całkowitego.

Tabela 3. Macierz decyzyjna dla wyboru wariantu usuwania i oczyszczania ścieków

Kryteria oceny	Jednostki kryteriów	Oceniane rozwiązania usuwania i oczyszczania ścieków	
		Rozbudowa istniejącej oczyszczalni W1	Transport do większej oczyszczalni W2
Aspekty ekonomiczne (nakłady inwestycyjne i koszty eksploatacji Kr)	mln. zł / rok	1,675	1,720
Wpływ na środowisko	wycena ekspercka / punktacja 1–10	6	10
Aspekty społeczne	wycena ekspercka / punktacja 1–10	6	10

Źródło: opracowanie własne.

Metoda programowania kompromisowego daje wyniki bardziej złożone, z uwagi na możliwość nadania wag poszczególnym kryteriom oceniającym przez oceniającego oraz wprowadzenia dodatkowe ważenie poprzez wprowadzenie współczynnika α . W założeniach do obliczeń przyjęto różne wagi (przedstawione w tabeli 4) i w zależności od przyjętych wag otrzymano różne wyniki, uzależnione od przyjętych wag kryteriów. Oznaczenie 1:1:1 zakłada, że każde z kryterium ma przypisana wagę 1. Z kolei oznaczenie w drugim wierszu 2:1:1, zakłada, że pierwsze kryterium ma wagę 2, podczas gdy pozostałe mają wagę 1. Dodatkowo strategię akceptowalne są zaznaczone w tabeli 4 znakiem „*” i stanowią rozwiązanie zadania decyzyjnego, jako wybór strategii leżącej akceptowalnie blisko od rozwiązania najkorzystniejszego.

Tabela 4. Uporządkowanie wariantów rozbudowy oczyszczalni istniejącej lub transportu do większej

Wagi kryteriów	Uszeregowanie wariantów rozbudowy oczyszczalni istniejącej lub transportu do większej		
	$\alpha=1$	$\alpha=2$	$\alpha = \infty$
1:1:1	$W1^* \rightarrow W2$	$W1^* \rightarrow W2$	$W1^* \rightarrow W2$
2:1:1	$W1^* \rightarrow W2$	$W1^* \rightarrow W2$	W1
1:2:1	$W2^* \rightarrow W1$	$W1^* \leftrightarrow W2^*$	$W1^* \rightarrow W2$
1:1:2	$W2^* \rightarrow W1$	$W1^* \leftrightarrow W2^*$	$W1^* \rightarrow W2$
5:1:1	$W1^* \rightarrow W2$	$W1^* \rightarrow W2$	W1
1:5:1	$W2^* \rightarrow W1$	$W2^* \rightarrow W1$	$W1^* \rightarrow W2$
1:1:5	$W2 \rightarrow W1$	$W2^* \rightarrow W1$	$W1^* \rightarrow W2$
1:5:5	$W2^* \rightarrow W1$	$W2^* \rightarrow W1$	$W1^* \rightarrow W2$
5:5:1	$W1^* \rightarrow W2$	$W1^* \rightarrow W2$	W1
5:1:5	$W1^* \rightarrow W2$	$W1^* \rightarrow W2$	W1

Źródło: opracowanie własne.

Na podstawie obliczeń przeprowadzonych tą metodą stwierdzono:

- na 30 przypadków obliczeniowych 22 razy jako najkorzystniejsze rozwiązanie W1 (rozbudowa istniejącej oczyszczalni), należy jednak zwrócić uwagę na uszeregowania rozwiązań w poszczególnych kolumnach uzależnione od współczynnika α ;
- w pierwszej kolumnie (tabeli 4) dla $\alpha=1$, pięć razy jako najkorzystniejszy wybrany zostaje wariant W1 (rozbudowa istniejącej oczyszczalni) i pięć razy wariant W2 (transport do większej oczyszczalni), w kolejnej kolumnie dla $\alpha = 2$, w większości przypadków obliczeniowych częściej wybierany jest wariant W1, chociaż dwa razy warianty W1 i W2 są równoważne (co zaznaczono w tabeli 4 stawiając znak „ \leftrightarrow ”). Natomiast w ostatniej kolumnie tabeli 4 (dla $\alpha = \infty$) przy wszystkich szacunkach wag wariant W1 (rozbudowa istniejącej oczyszczalni) zostaje wybrany jako najkorzystniejszy.

Należy zauważyć, że uszeregowania zmieniają się z W1 na W2, podczas zwiększenia wartości wagi kryteriów środowiskowych i społecznych.

PODSUMOWANIE

Zaproponowana metodyka pozwala na ocenę i wybór między rozbudową istniejącej oczyszczalni ścieków, a ich transportem do większej oczyszczal-

ni, uwzględniają ich ocenę w aspekcie różnych przyjętych i oszacowanych kryteriów oceniających. Wykorzystanie analizy decyzyjnej do porównania i podjęcia decyzji w obszarze szeroko pojętej gospodarki komunalnej, daje narzędzie decydom. Pozwala to na obiektywną ocenę i wybór rozwiązania najkorzystniejszego w kontekście kompromisowym.

LITERATURA

- Ascari G., Di Cosmo V. (2004), Determinants of Total Factor Productivity in the Italian Regions, Working Paper, <http://129.3.20.41/eps/mac/papers/0511/0511009.pdf> (8.03.2009).
- Bos C. (2001), Time Varying Parameter Models for Inflation and Exchange Rates, WebDOC, <http://citeseer.ist.psu.edu/479611.html> (2.04.2008).
- Aragonés-Beltrán P, Mendoza-Rocab J A., Bes-Piáa A. (2009), *Application of multi-criteria decision analysis to jar-test results for chemicals selection in the physical–chemical treatment of textile wastewater*, „Journal of Hazardous Materials”, 164, 288–295, DOI: DOI: [10.1016/j.jhazmat.2008.08.046](https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2008.08.046).
- Balkema, A., Weijers S., and Lambert F. (1998), *On Methodologies for Comparison of Wastewater Treatment Systems with Respect to Sustainability*, Konferencja WIMEK “Options for Closed Water Systems”, 11–13 marca, Wageningen, Holandia.
- Belton, V., Stewart, T. (2002), *Multiple Criteria Decision Analysis. An Integrated Approach*, Kluwer Academic Publishers.
- Garfi M, Tondelli S, Bonoli A. (2009), *Multi-criteria decision analysis for waste management in Saharawi refugee camps*, „Waste Management”, 29, 2729–2739, DOI: [10.1016/j.wasman.2009.05.019](https://doi.org/10.1016/j.wasman.2009.05.019).
- Generowicz A., Kulczycka J., Kowalski Z., Banach M. (2011), *Assessment of waste management technology using BATNEEC options, technology quality method and multi – criteria analysis*, „Journal of Environmental Management”, 92, 4, 1314–1320, DOI: [0.1016/j.jenvman.2010.12.016](https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2010.12.016).
- Hokkanen J, Salminen P. (1997), *Choosing a solid waste management system using multi-criteria decision analysis*, „European Journal of Operational Research”, 98, 19–36, DOI: [doi:10.1016/0377-2217\(95\)00325-8](https://doi.org/10.1016/0377-2217(95)00325-8).
- Janikowski R. (1993), *Wielokryterialny model decyzyjny jako narzędzie oceny oddziaływania projektowanej działalności człowieka na środowisko*, Instytut Ekologii Terenów Uprzemysłowych, Katowice.
- Jóźwiakowski K., Mucha Z., Generowicz A. (2015), *The use of multi-criteria analysis for selection of technology for a household WWTP compatible with sustainable development*, „Archives of Environmental Protection”, 41(3), 76–82, DOI: [10.1515/aep-2015-0033](https://doi.org/10.1515/aep-2015-0033).
- Mucha Z., Generowicz A., (2014), *Podjęmowanie decyzji w JST*, „Wodociągi i Kanalizacja”, 3, 32–35.
- Mucha Z., Generowicz A. (2014), *Analiza wielokryterialna – narzędzie do wyboru systemu usuwania i oczyszczania ścieków z terenów wiejskich*, „Rynek Instalacyjny”, 5, 36–40.
- Mucha Z., Generowicz A. (2015), *Metodyka wyboru wariantów rozbudowy gminnej oczyszczalni ścieków*, „Logistyka”, 3, 3387–3394.
- Mucha Z., Mikosz J. (2009), *Racjonalne stosowanie małych oczyszczalni ścieków zgodnie z kryteriami zrównoważonego rozwoju*, „Czasopismo Techniczne”, 2–Ś, 91–100.

- Mucha Z., Iwanejko R. (2012), *Zastosowanie metody AHP do wyboru systemu usuwania i oczyszczania ścieków z małej jednostki osadniczej*, „Gaz, Woda i Technika Sanitarna”, 10, 444–447.
- Mucha Z., Mikosz J. (2013), *Usuwanie azotu ze ścieków w małej oczyszczalni. Zastosowanie symulacji komputerowej do wyboru strategii eksploatacyjnej*, „Rynek Instalacyjny”, 5, 32–35.
- Mucha Z., Mikosz J. (2014), *Strategie modernizacji małych oczyszczalni ścieków pod kątem zwiększenia efektywności usuwania azotu*, „Gaz, Woda i Technika Sanitarna”, 6, 226–213.
- Mucha Z. (2014), *Modernizacja oczyszczalni ścieków z wielofazowym reaktorem biologicznym w aspekcie obowiązujących wymagań*, „Instal: Teoria i Praktyka w Instalacjach”, 7–8, 84–86.
- Mucha Z. (2015), *Efektywność reaktorów wielofazowych z osadem czynnym w świetle doświadczeń eksploatacyjnych*, „Logistyka”, 3, 3381–3386.
- Mucha Z., Mikosz J., Generowicz A., (2012), *Zastosowanie analizy wielokryterialnej do wyboru technologii w małych oczyszczalniach ścieków*, „Czasopismo Techniczne”, Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej, 1–Ś, 145–155, DOI: [10.4467/2353737XCT.14.152.2111](https://doi.org/10.4467/2353737XCT.14.152.2111).
- Mucha Z., Wójcik W. (2015), *Investment costs of small wastewater treatment plants with SBR reactors in Poland*, „Ekonomia i Środowisko”, 1, 124–130.
- Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 18 listopada 2014 r. w sprawie warunków, jakie należy spełnić przy wprowadzaniu ścieków do wód lub do ziemi, oraz w sprawie substancji szczególnie szkodliwych dla środowiska wodnego (DzU, 2014, nr 0, poz. 1800).
- Szelągowski W. (1985), *Ekonomika Gospodarki Wodnej*, Państwowe Wydawnictwo Ekonomiczne, Warszawa.
- Wójcik W., Mucha Z., Generowicz A. (2014), *Wybór wariantu usuwania i unieszkodliwiania ścieków z wykorzystaniem analizy decyzyjnej na przykładzie wiejskich jednostek osadniczych*, „Acta Scientiarum Polonorum, Formatio Circumiectus”, 13(3), 101–114.

THE CHOICE OF DISPOSAL SYSTEM AND WASTEWATER TREATMENT WITH THE USE OF MULTI-CRITERIA ANALYSIS

A b s t r a c t. The article describes the use of multi-criteria analysis to choose a solution removal system and wastewater treatment in the established agglomerations with a population of more than 10 000. Municipalities wishing to obtain funding for the expansion of the sewage system form the agglomeration of which all waste must be collected and treated in one or more high-efficiency wastewater treatment facility on their territory. It is also possible to transport wastewater to a larger plant. However, it requires carrying out technical and economic analysis taking also into account other equally important factors. The choice of disposal system and wastewater treatment in the urban area was based on sustainability criteria, using decision analysis. The proposed method can be used to choose the best variant disposal and wastewater treatment.

K e y w o r d s: transport of wastewater, agglomeration, expansion of the sewage treatment plant, multi-criteria analysis.

