

Wybór optymalnego wariantu zagospodarowania osadów ściekowych w oczyszczalni ścieków w Bytkowie

Dr hab. inż. Małgorzata Makowska, Katedra Inżynierii Wodnej i Sanitarnej, dr inż. Zbigniew Walczak, Instytut Budownictwa i Geoinżynierii, dr hab. inż. Zbigniew Sroka Instytut Budownictwa i Geoinżynierii, mgr inż. Angelika Chojnacka, Katedra Inżynierii Wodnej i Sanitarnej, Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu

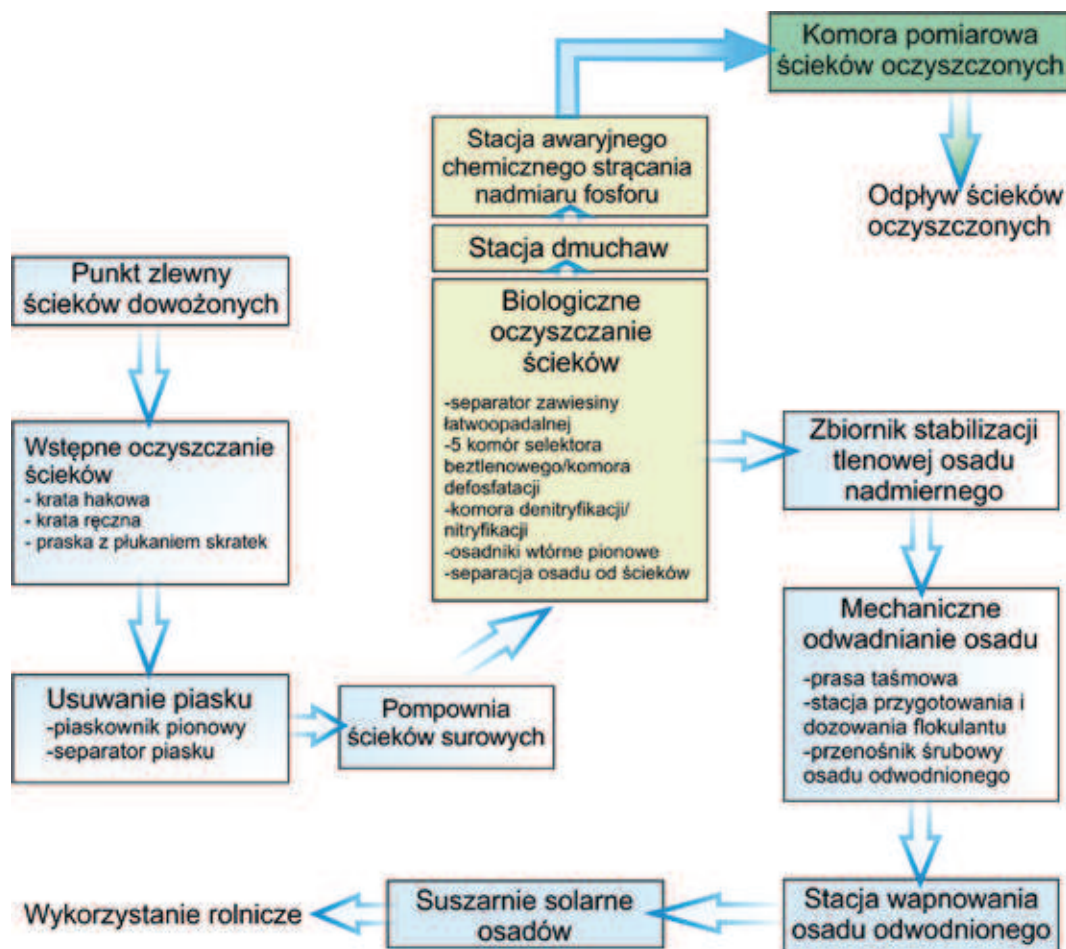
1. Wprowadzenie

Problem zagospodarowania osadów w oczyszczalniach ścieków jest istotnym elementem gospodarowania odpadami. W Polsce ilość osadów ściekowych wytworzonych tylko w oczyszczalniach komunalnych w latach 2000–2016 wzrosła z poziomu 359,8 do 568,3 tys. Mg suchej masy (Główny Urząd Statystyczny, 2017). Łącznie w oczyszczalniach ścieków komunalnych oraz przemysłowych w 2016 roku, wytworzono 947,2 tys. Mg s.m. osadów. W praktyce stosuje się szereg metod zagospodarowania osadów ściekowych. Zależą one głównie od właściwości wytwarzanych osadów oraz warunków lokalnych. Od 1 stycznia 2016 roku obowiązuje zakaz składowania nieprzetworzonych osadów ściekowych na składowiskach odpadów. Wynika to z Rozporządzenia Ministra Gospodarki z dnia 16 lipca 2015 r. w sprawie dopuszczenia odpadów do składowania na składowiskach (Dz.U. 2015 poz. 1277). Zgodnie z rozporządzeniem tylko odpady, w których zawartość ogólnego węgla organicznego (TOC) jest poniżej 5% s.m., mogą być składowane na składowiskach odpadów innych niż niebezpieczne. Osady ściekowe mogą być wykorzystywane z powodzeniem (przy spełnieniu norm określonych w rozporządzeniu – Dz.U. 2015 poz. 257) rolniczo [Wydro i in., 2014], czy np. poddawane termicznym procesom unieszkodliwiania [Bień i Bień, 2015]. Metody wysokotemperaturowe umożliwiają unieszkodliwienie nawet 99% potencjalnie niebezpiecznych substancji organicznych, a produkt końcowy w postaci np. popiołów może być wykorzystany np. w budownictwie [Smol i in., 2015; Cieślik i Konieczka, 2016]. Szeroką charakterystykę stosowanych metod oraz opis ich zalet i wad można znaleźć np. w pracy [Cieślik i Konieczka, 2016]. W 2016 roku, na cele rolnicze, do rekultywacji terenów oraz do uprawy roślin służących do produkcji kompostu w sumie wykorzystano 198,4 tys. ton s.m. osadów ściekowych, głównie z oczyszczalni komunalnych. Około 30% osadów wytworzonych w oczyszczalniach komunalnych jest więc wykorzystywanych rolniczo. Natomiast ilość osadów ściekowych zgromadzonych na terenach oczyszczalni ścieków na koniec roku 2016 szacuje się na około 6287 tys. Mg s.m.

Złożoność problemu oraz zmienność właściwości osadów, zależna od specyfiki lokalnej, powoduje, iż projektowanie procesu technologicznego unieszkodliwiania osadów ściekowych powinno być rozpatrywane indywidualnie dla poszczególnych oczyszczalni ścieków z uwzględnieniem czynników takich jak rozwój aglomeracji/gminy, aspekty ekologiczne i ekonomiczne czy dostępne technologie.

2. Obiekt

Oczyszczalnia ścieków w Bytkowie powstała w 1995 roku jako główna oczyszczalnia dla gminy Rokietnica (79,31 km²). Ówczesna maksymalna przepustowość oczyszczalni wynosiła 400 m³/d, co zapewniało obsługę 4000 mieszkańców. W związku ze wzrostem stopnia skanalizowania gminy oraz zwiększeniem liczby mieszkańców gminy (przyrost na przestrzeni 16 lat wyniósł ok. 50%) w 2000 roku dokonano rozbudowy oczyszczalni, zwiększając jej przepustowość do 800 m³/d. Jednak już w 2006 roku liczba mieszkańców gminy wynosiła 9700, co wymusiło kolejne inwestycje związane z dostosowaniem możliwości oczyszczalni. W latach 2014–2015 obok istniejącej oczyszczalni ścieków powstała, przy wykorzystaniu funduszy unijnych, nowa oczyszczalnia. Jej budowa wynikała z potrzeby dostosowania ciągu technologicznego do restrykcyjnych wymogów unijnych. Na nową oczyszczalnię składają się trzy bioreaktory o łącznej pojemności 3000 m³ zapewniające obsługę do 22 000 mieszkańców. Wraz ze wzrostem ilości dopływających ścieków, ilość odwodnionych na prasie osadów ściekowych w oczyszczalni w Bytkowie wzrosła w latach 2014–2016 ponad sześciokrotnie, z poziomu 260 Mg (47,3 Mg s.m.) do 1655 Mg (około 310 Mg s.m.). Oczyszczalnia ścieków praktycznie nie przyjmuje ścieków przemysłowych, a dzięki wydajnym procesom oczyszczania jakość osadów w Bytkowie spełnia wymagania dotyczące rolniczego wykorzystania osadów. Wiele gospodarstw chętnie korzysta z produkowanych w oczyszczalni osadów ściekowych i stosuje je jako nawóz pod uprawy. W trakcie rozbudowy w 2015 roku dokonano modernizacji ciągu osadowego oczyszczalni i przebudowano istniejącą



Rys. 1. Uproszczony schemat ciągu technologicznego w oczyszczalni ścieków w Bytkowie

poletka osadowe na stanowiska solarnego suszenia osadu [Trojanowska, 2010]. Osad, ustabilizowany tlenowo w komorze stabilizacji osadu, zostaje mechanicznie odwodniony na prasie taśmowej do około 18% s.m. i następnie poddawany jest higienizacji wapnem. Tak przygotowany osad jest transportowany do hal suszarni solarnej, gdzie powinien być dosuszony do zawartości 32% s.m. Stanowisko solarnego suszenia składa się z 4 niezależnych hal, które stanowią konstrukcję szkieletową pokrytą jednokomorowymi płytami poliwęglanowymi o grubości 10 mm. Każda sekcja ma osobną bramę, przez którą osad ściekowy w kontenerach jest dostarczany ze stanowiska mechanicznego osuszania, a następnie rozprowadzany równomiernie na całej powierzchni za pomocą ładowarki kołowej. Proces suszenia solarnego jest wspomagany za pomocą jednego, samojezdnego urządzenia przewracającego, mieszającego i napowietrzającego osad, tak zwanego „kreta”, oraz układu wentylatorów wspomagających cyrkulację powietrza. W trakcie prac projektowych założono docelową ilość osadu nadmiernego, ustabilizowanego tlenowo, odwodnionego mechanicznie i higienizowanego na poziomie 2220 Mg/rok.

Uproszczony schemat ciągu technologicznego w oczyszczalni ścieków w Bytkowie przedstawiono na rysunku 1.

3. Wybór optymalnego wariantu

Suszenie solarne w wielu obiektach w Polsce przebiega głównie w okresie od kwietnia do października, natomiast w okresie zimowym proces ten jest zatrzymywany. W oczyszczalni w Bytkowie, przy sprzyjających warunkach pogodowych oraz wykorzystaniu urządzenia do przegarniania, mieszania i natleniania osadów, możliwe jest osiągnięcie zakładanego poziomu uwodnienia osadów (około 32% s.m. wskazane dla przeznaczenia rolniczego osadów) jednej sekcji nawet po 7 dniach. W założeniach projektowych przyjęto roczną redukcję masy osadów na poziomie 971 Mg (3,42 Mg/d). Niestety urządzenie do mechanicznego przegarniania osadu wykorzystywane jest sekwencyjnie, po kolei w każdej hali suszarni słonecznej aż do pełnego przemieszczenia osadów w danej hali, co znacząco spowalnia proces. Często proces przegarniania osadów w jednej hali trwa na tyle długo, że przeniesienie urządzenia do innej hali okazuje się spóźnione, w pozostałych halach zaczynają się procesy gnilne, a to z kolei powoduje wydobywanie się nieprzyjemnych zapachów. Konstrukcja hal, powstałych na dawnych poletkach, nie pozwala na zastosowanie bardzo wydajnego przegarniacza nawowego. W związku z tym szacuje się, że ilość osadów możliwa do przerobienia w suszarniach solarnych w Bytkowie jest

na poziomie 40% zakładanej w projekcie, czyli na poziomie około 393 Mg/rok. W efekcie trudno osiągnąć zakładany stopień wysuszenia osadów.

Zaproponowano pięć wariantów modernizacji i ewentualnej rozbudowy oczyszczalni ścieków w zakresie technologii przeróbki osadów ściekowych. Jako podstawę bilansu przyjęto maksymalną możliwą wydajność przepływu ścieków dla oczyszczalni $Q_{osr} = 2500 \text{ m}^3 \text{ d}^{-1}$ (zawiesina organiczna na dopływie $440 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$ oraz BZT_5 po podczyszczeniu $316 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$). Pierwszym z proponowanych rozwiązań jest usprawnienie procesu mieszania osadu w wykorzystywanej obecnie suszarni solarnej poprzez zamontowanie 4 niezależnych (dla każdej hali osobno) nowych, nawowych przegarniaczy (wariant **W1**). Umożliwi to równoczesne przegarnianie osadów w każdej z hal, dzięki czemu można będzie wykorzystać pełną powierzchnię suszarni oraz usprawni proces przegarniania osadów i jego wydajność. Wariant wymaga jednak całkowitej przebudowy istniejących obiektów do wymiarów co najmniej $32,1 \times 33,6 \text{ m}$ (niezbędnych ze względu na wymiary modułów przegarniających). Drugim możliwym wariantem (**W2**) jest zastosowanie dodatkowego dogrzewania istniejącej suszarni ze źródeł zewnętrznych, które mogłyby wspomóc ich działanie, zwłaszcza w okresie zimowym. Dogrzewanie mogłoby być realizowane np. z wykorzystaniem pompy ciepła lub instalacji wykorzystujących oleje opałowe lub biogaz. Wiązałoby się to jednak z większymi kosztami eksploatacji wynikającymi ze zużycia energii elektrycznej lub ciepłej (ok. 100 kWh energii elektrycznej lub ok. 900–950 kWh energii ciepłej na odparowanie 1 Mg wody). Oba rozwiązania związane są z modernizacją już istniejącej infrastruktury. Kolejna propozycja (**W3**) związana jest z budową nowych suszarni solarnych o powierzchni 1000 m^2 , w których zamontowane zostałyby stacjonarne systemy przegarniaczy, umożliwiające ciągłą kontrolę w każdej z hal. Niewątpliwą zaletą wariantu są niskie koszty eksploatacji, prostota obsługi oraz wykorzystanie do odparowania wody darmowej energii słonecznej. W zaproponowanym wariantcie wśród wad można natomiast wymienić niską wydajność suszenia w okresie zimowym oraz ewentualne zamarzanie osadów podczas najzimniejszych miesięcy. Należy również uwzględnić konieczność budowy hal o powierzchni zapewniającej możliwość deponowania osadów w związku z nierównomiernym procesem suszenia osadów

na przestrzeni roku. Rozwiązanie czwarte (**W4**) to budowa nowej suszarni z systemem dosuszania osadów z wykorzystaniem energii zewnętrznej. Rozwiązanie ma podobne zalety jak wariant W2 oraz W3, tzn. niezależne systemy przewracania osadów oraz ich dogrzewanie. Umożliwi to znaczący wzrost wydajności suszenia osadu, także w okresie niższego nasłonecznienia. Wariant W4 to zdecydowanie najwyższe koszty inwestycji ze względu na budowę nowych hal suszarni z jednoczesnymi inwestycjami w urządzenia i instalacje grzewcze oraz nieadekwatny wzrost wydajności suszarni hybrydowej w stosunku do wzrostu kosztów inwestycyjnych i eksploatacyjnych związanych z dogrzewaniem osadów. Zaproponowano również alternatywne podejście do zagadnienia poprzez odwadnianie osadów na poletkach hydrofitowych (**W5**). Poletka osadowe tworzyć można, wykorzystując trzcinę [Kalisz i in., 2002; Błażejewski, 2005; Mazur i in., 2013] lub wierzbę energetyczną [Krutysz-Hus i Chmura, 2008; Niemiec i Zdeb, 2013; Łaska i Nazaruk, 2015], co może również przynieść wymierne korzyści ekonomiczne [Sobczyk i in., 2015]. Do zalet takiego rozwiązania zaliczyć należy m.in. niskie koszty inwestycyjne, brak konieczności stosowania koagulatów i flokulantów w celu wspomaganie mechanicznego odwodnienia osadu, możliwość wylewania na poletka osadów prefermentowanych, ale również nadmiernych, stabilizowanych tlenowo oraz wykorzystanie procesu naturalnej mineralizacji oraz odwodnienia osadów. Niestety niedogodnością ostatniej z wymienionych metod przeróbki osadów jest konieczność dysponowania sporą powierzchnią, ze względu na 8–10-letni cykl pracy obiektów hydrofitowych oraz niską intensywność parowania w sezonie zimowym. Zaproponowano trzy poletka o łącznej powierzchni 5775 m^2 , z 7-dniowym cyklem wylewania osadu. Wieloletni okres pracy poletka dodatkowo powoduje wystawienie osadów na działanie warunków atmosferycznych w szczególności opadów atmosferycznych, które w znaczny sposób mogą spowolnić proces odwadniania osadów. Niewątpliwie jest to jednak bardzo ekologiczny sposób przeróbki osadów. Zaznaczyć należy dodatkowo, iż teren oczyszczalni jest na tyle rozległy, że nie ma w tym przypadku problemów z pozyskaniem miejsca na proponowane rozwiązania. Dokonując oceny zaproponowanych rozwiązań technologicznych, wzięto pod uwagę siedem kryteriów (tabela 1). Wyboru kryteriów dokonano po analizie konstrukcji i funkcjonowania

Tabela 1. Zestawienie kryteriów optymalizacji wyboru wariantu zagospodarowania osadów ściekowych

Lp.	Kryterium	Rodzaj kryterium	Nazwa kryterium	Waga znormalizowana
1	K1	Ekonomiczne	koszty eksploatacji ^{1,2}	0,2083
2	K2		koszty inwestycyjne ^{3,4}	0,1667
3	K3	Ekologiczne	wpływ na środowisko	0,1250
4	K4	Techniczne	możliwość dostosowania rozwiązania do istniejącej infrastruktury	0,0833
5	K5		niezawodność procesu przeróbki	0,1667
6	K6		łatwość obsługi obiektów i urządzeń	0,0833
7	K7		wydajność procesu przeróbki	0,1667

¹ – koszt eksploatacji suszarni solarnych określono na podstawie [Szczygieł i Krawczyk, 2006]

² – koszt eksploatacji złóż hydrofitowych określono na podstawie [Błażejewski, 2005]

³ – koszty inwestycji suszarni solarnych określono na podstawie [Trojanowska, 2016]

⁴ – koszty inwestycji złóż hydrofitowych określono na podstawie [Błażejewski, 2005]

obiektu. Wyróżniono trzy grupy kryteriów – ekonomiczne, ekologiczne i techniczne. Wskazanie zbioru wariantów oraz zestawienie kryteriów są podstawą wielokryterialnego sformułowania problemu decyzyjnego i tworzą one pewien model systemu rzeczywistego. Przy budowie tego modelu kierowano się ogólnymi wskazówkami dotyczącymi wyczerpywalności, spójności i nieredundancji ocen [Kobryń 2014]. Poszczególnym kryteriom przydzielono wagi w skali 1–5 oznaczające istotność danego kryterium. Za najważniejsze kryterium uznano koszty eksploatacji, którym przyznano wagę 5. W dalszych rozważaniach wagi poddano normalizacji. Proponowane warianty oceniano w świetle poszczególnych kryteriów również w skali 1–5, przyjmując ocenę ekspercką. Analizy dokonano z wykorzystaniem metody rankingowej Bordy [Kobryń, 2014]. Jako wariant najlepszy traktuje się wariant z najwyższą wartością liczby Bordy b [Bouyssou i in., 2006]:

$$b_i = \sum_{j=1}^n (m - m_{i,j}) \quad (1)$$

gdzie $m_{i,j}$ oznacza kolejność wariantu (i) w świetle kryterium (j) przy czym $i=1,2,\dots,m$ oraz $j=1,2,\dots,n$.

Miejsca w rankingu poszczególnych wariantów w świetle kolejnych kryteriów oraz wyznaczone wartości liczb Bordy i uzyskany ranking końcowy zestawiono w tabeli 2. Metoda Bordy w ujęciu klasycznym nie uwzględnia wag poszczególnych kryteriów w analizie. Zastosowano w związku z tym zmodyfikowaną jej wersję, w której liczbę Bordy zastępuje się ważonym wskaźnikiem sumacyjnym SAR [Kobryń, 2014]:

$$SAR_i = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^n w_j (m - m_{i,j}) \quad (2)$$

gdzie $\sum_{j=1}^n w_j = 1$ oraz $w_j \geq 0$.

Poszczególne wartości w_j dla analizowanych kryteriów wyznaczono metodą ekspercką w skali 1–5, a następnie znormalizowano (tabela 1). Wyznaczone wskaźniki SAR oraz ranking końcowy dla poszczególnych wariantów zestawiono w tabeli 3.

Dokonano również analizy, wykorzystując metodę MAUT (tabela 4) bazującą na funkcji użyteczności U wyrażającej wpływ poszczególnych kryteriów na końcową ocenę wariantu decyzyjnego [Dyer, 2005; Wallenius i in., 2008; Kobryń, 2014]:

$$U_i = \sum_{j=1}^n w_j u_i[(K)]_j \quad (3)$$

gdzie u_i są funkcjami użyteczności pojedynczego atrybutu w świetle kryterium j , skalowanymi liniowo od wartości 0 do 1 (1 dla największej użyteczności a 0 dla najmniejszej, $i = 1 \dots n$), a w_j są dodatnimi stałymi (wagami) odzwierciedlającymi względną ważność kryteriów spełniającymi warunki:

$$\sum_{j=1}^n w_j = 3 \text{ oraz } w_j \geq 0.$$

Jako wartości wag w_j poszczególnych kryteriów przyjęto znormalizowane wagi jak dla zmodyfikowanej metody Bordy (tabela 1).

Tabela 2. Miejsca w rankingu w świetle kryteriów dla metody Bordy

Kryterium	Warianty				
	W1	W2	W3	W4	W5
K1	2	4	2	4	1
K2	1	3	3	5	2
K3	1	4	3	4	1
K4	1	1	4	4	1
K5	5	1	1	1	1
K6	1	4	1	4	3
K7	5	3	1	1	3
Liczba Bordy	19	15	20	12	23
Ranking	III	IV	II	V	I

Tabela 3. Uzyskane wskaźniki SAR oraz ranking

	W1	W2	W3	W4	W5
Suma	0,49	0,42	0,59	0,37	0,67
Ranking	III	IV	II	V	I

Tabela 4. Wartości funkcji użyteczności oraz ranking końcowy dla metody MAUT

	W1	W2	W3	W4	W5
K1	0,75	0,00	0,75	0,00	1,00
K2	1,00	0,33	0,33	0,00	0,67
K3	1,00	0,00	0,67	0,00	1,00
K4	1,00	1,00	0,00	0,00	1,00
K5	0,00	1,00	1,00	1,00	1,00
K6	1,00	0,00	1,00	0,00	0,67
K7	0,00	0,33	1,00	1,00	0,33
Σ	0,61	0,36	0,71	0,33	0,81
Ranking	III	IV	II	V	I

4. Podsumowanie

Rozpatrywano wybór optymalnego wariantu rozbudowy istniejącej oczyszczalni pod względem systemu i technologii zagospodarowania osadów ściekowych. Analizowano pięć wariantów modernizacji lub rozbudowy systemu. Przy ocenie poszczególnych wariantów wzięto pod uwagę siedem różnych kryteriów związanych z uwarunkowaniami technicznymi, ekologicznymi oraz ekonomicznymi. W analizach posłużono się dwiema grupami metod: metodą opartą na rankingach (metoda Bordy oraz jej zmodyfikowana wersja) oraz metodą bazującą na funkcji użyteczności.

W rozważanym zagadnieniu każdą ze stosowanych metod uzyskano takie same końcowe rankingi wariantów. W każdym przypadku oceny dwóch najlepszych rozwiązań są podobne, natomiast dość istotnie odróżniają się od pozostałych. Najlepszy wariant W5 dotyczy rozwiązania, w którym zastosowano suszenie osadów na poletkach hydrofitowych. W tym przypadku, przy zastosowaniu roślin energetycznych, dodatkowym

atutem może być pozyskanie biomasy do produkcji energii cieplnej lub elektrycznej. Niewiele gorzej w ocenie wypada wariant W3 związany z budową nowych pełnowymiarowych suszarni solarnych, w których można będzie zastosować bardzo wydajne przegarniacze nawowe. Warto podkreślić, że pomimo zbliżonej całościowej oceny obu tych rozwiązań ich oceny względem kryteriów cząstkowych różnią się. Przy ocenie zarówno kosztów inwestycji, jak i eksploatacyjnych poletka hydrofitowe (W5) wypadają dużo lepiej niż suszarnie solarne (W3), jednak ocena według innych kryteriów tę przewagę zniwelowała. Należy jednak pamiętać, że zarówno koszty inwestycyjne, jak i eksploatacyjne oszacowano na podstawie danych literaturowych. Ostateczna rekomendacja wariantu (W5 czy W3) do realizacji winna być poprzedzona opracowaniem kosztorysów, które umożliwią precyzyjniejsze określenie ocen w zakresie kryteriów ekonomicznych.

Warto dodać, że ostateczny wybór wariantu do realizacji może zależeć od dodatkowych kryteriów i/lub wymagań określonych przez decydenta. Takim dodatkowym kryterium może być dla przykładu poziom akceptacji poszczególnych rozwiązań przez społeczność lokalną. Zagrożenia bezpośrednie dla ludzi oraz dla środowiska (rzeczywiste czy tylko hipotetyczne) są zwykle silnie ekspozowane przez mieszkańców i mogą istotnie wpływać na decydentów.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Bień J. D., Bień B., Zagospodarowanie komunalnych osadów ściekowych metodami termicznymi w obliczu zakazu składowania po 1 stycznia 2016, *Inżynieria Ekologiczna* 2015
- [2] Błażejowski R., Trzciną po osadach, *Wodociągi-Kanalizacja* 2005, str. 22–23
- [3] Bouyssou D., Marchant T., Pirlot M., Tsoukiás A., Vincke P., Evaluation and decision models with multiple criteria: Stepping stones for the analyst, Springer Science & Business Media, 2006
- [4] Cieślak B., Konieczka P., Metody zagospodarowania osadów ściekowych. Zagrożenia i szanse, *Archiwum Gospodarki Odpadami i Ochrony Środowiska* 18, 1 (2016)
- [5] Dyer J. S., Maut – Multiattribute Utility Theory. W: Multiple criteria decision analysis. Pod redakcją: Figueira J., Greco S., Ehrgott M., Springer, New York, N.Y., 2005, str. 265–292
- [6] Główny Urząd Statystyczny. Ochrona środowiska 2017, GUS, 0867–3217
- [7] Kalisz L., Sałbut J., Nechay A., Odwadnianie osadów ściekowych na poletkach z trzciną. Monografia, Instytut Ochrony Środowiska, Warszawa, 2002
- [8] Kobryń A., Wielokryterialne wspomaganie decyzji w gospodarowaniu przestrzenią, Difin SA, 2014
- [9] Krutysz-Hus E., Chmura K., Próby wykorzystania osadów ściekowych w uprawie wierzby krzewiastej dla potrzeb energetycznych, *Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych* 2008, 526
- [10] Łaska G., Nazaruk B., Zastosowanie roślin energetycznych w gospodarce ściekowej i osadowej, *Ekonomia i Środowisko* 2015
- [11] Mazur R., Głodkowska A., Kujawiak S., Mazurkiewicz J., Górski K., Czekala W., Hydrofitowe poletka osadowe jako alternatywa dla wadliwie funkcjonujących lagun w oczyszczalniach ścieków, *Instal*, 4/2013, str. 49–57
- [12] Niemiec W., Zdeb M., Plantacja wierzby energetycznej nawożona osadami ściekowymi, *Czasopismo Inżynierii Lądowej, Środowiska i Architektury*, tom 60, nr 1/2013, str. 67–78
- [13] Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 16 lipca 2015 r. w sprawie dopuszczania odpadów do składowania na składowiskach (Dz.U. 2015, poz. 1277)
- [14] Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 6 lutego 2015 r. w sprawie komunalnych osadów ściekowych (Dz.U. 2015, poz. 257)
- [15] Smol M., Kulczycka J., Henclik A., Gorazda K., Wzorek Z., Możliwości zastosowania odpadów po termicznym przekształceniu osadów ściekowych w materiałach budowlanych. *Interdyscyplinarne Zagadnienia w Inżynierii i Ochronie Środowiska, Wrocław*, 2015
- [16] Sobczyk W., Sternik K., Sobczyk E. J., Noga H., Ocena płonowania wierzby nawożonej osadami ściekowymi, *Rocznik Ochrona Środowiska. Annual Set The Environment Protection* 17/ 2015, str. 1113–1124
- [17] Szczygieł J., Krawczyk P., Uwarunkowania słonecznego suszenia osadów ściekowych, *Gaz, Woda i Technika Sanitarna* 3/2006, str. 30–32
- [18] Trojanowska K., Suszenie osadów ściekowych energią słońca, *Przegląd Komunalny* 10/2010, str. 46–48
- [19] Trojanowska K., *Ekonomika słonecznych suszarni osadów ściekowych – przegląd pierwszej dekady polskich doświadczeń*, *Forum Eksploatatora* 3/84
- [20] Urząd Statystyczny w Poznaniu, Dane o województwie. Ludność, 2016 <https://poznan.stat.gov.pl/dane-o-województwie/powiaty-865/ludnosc-1124/>; Dostęp: 2018–05–09
- [21] Wallenius J., Dyer J. S., Fishburn P. C., Steuer R. E., Zions S., Deb K., Multiple criteria decision making, multiattribute utility theory: Recent accomplishments and what lies ahead. *Management science* (2008), 54, 7, 1336–1349
- [22] Wydro E., Wołejko E., Butarewicz A., Łoboda T., Warunki i możliwości wykorzystania komunalnych osadów ściekowych do nawożenia trawników miejskich, *EKO-DOK*, 2014

Szanownemu Panu

Doc. dr. inż. Jerzemu Widerze

Redaktorowi Naczelnemu „Przeglądu Budowlanego” w latach 1982–1998

z okazji ukończenia 100 lat

życzymy

w tak uroczystym dniu zdrowia

i samych pogodnych, szczęśliwych dni,

pełnych ciepła, radości i spełnionych marzeń...

Redakcja „Przeglądu Budowlanego” oraz Koleżanki i Koledzy z PZITB