

Andrzej Eymontt
Instytut Budownictwa, Mechanizacji i Elektryfikacji Rolnictwa
w Warszawie

ZASTOSOWANIE METODY AHP W CELU WYBORU SYSTEMU ZAGOSPODAROWANIA ODPADÓW ORGANICZNYCH W GMINACH WIEJSKICH

Streszczenie

Odpady organiczne na wsiach powstają w wyniku produkcji zwierzęcej, roślinnej i bezpośrednio w gospodarstwach domowych. W większości przypadków ich zagospodarowanie stanowi prywatny problem rolników, którzy je magazynują, kompostują lub wywożą w zależności od ilości i rodzaju. Natomiast przetwarzanie odpadów na energię i nawóz może stanowić dochodową działalność, niezależną od bezpośredniej produkcji rolniczej. W przypadku podjęcia decyzji o przeróbce odpadów należy odpowiedzieć na następujące pytania: jakiego rodzaju odpady są dostępne w danym rejonie, jaka jest możliwa ilość tych odpadów z podziałem na rodzaje, w jakich terminach są dostępne, w jakim zakresie jest opłacalny ich transport, czy jest możliwe ich magazynowanie i w jakiej ilości, jaki rodzaj i wielkość instalacji będą najkorzystniejsze, gdzie zlokalizować inwestycję, w jakim zakresie jest możliwe stabilne działanie instalacji przez cały rok, jaki produkt będzie możliwy do odbioru za opłacalną cenę, (biogaz, kompost, energia cieplna, energia elektryczna), jaki będzie wpływ instalacji na środowisko oraz na mieszkańców. Wszystkie powyższe pytania stanowią element biznes planu wymaganego przy rozpoczynaniu inwestycji. Dwie podstawowe technologie przetwarzania odpadów, to kompostowanie i fermentacja beztlenowa [Eymontt 2002]. Zakres opracowania został ograniczony do technologii fermentacji beztlenowej. Uwzględnienie wszystkich pytań i wątpliwości i wybranie najkorzystniejszego wariantu umożliwiła metoda hierarchicznego wyboru AHP [Saaty 1980]. W opracowaniu przedstawiono zastosowanie metody AHP dla konkretnego wyboru inwestycji.

Słowa kluczowe: fermentacja beztlenowa, metoda AHP, odpady organiczne, biogazownia

Wprowadzenie

Podstawowymi aktami prawnymi dotyczącymi utylizacji i unieszkodliwiania odpadów są:

- Ustawa o odpadach z 02.04.2001 r. z kolejnymi nowelizacjami do końca 2006 r.,
- Ustawa z 27.04.2001 r. o odpadach (Dz. U. Nr. 39 z 2007 r. poz. 251),
- Dyrektywa 2006/12/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z 5 kwietnia 2006 r. w sprawie odpadów (Dz. U. L 114 z 27.04.2006 r.),
- akty wykonawcze do Ustaw (Rozporządzenia Ministra Środowiska).

Ustawa o odpadach wprowadziła obowiązek sporządzania planów gospodarki odpadami na szczeblu krajowym, wojewódzkim, powiatowym i gminnym.

Zgodnie z założeniami Krajowego Planu Gospodarki Odpadami na lata 2002-2006 Polska do 2010 r. powinna przekształcać biologicznie 25% odpadów komunalnych, natomiast osiągnięty poziom wyniósł 5%. Dlatego należy bardziej efektywnie wykorzystywać techniki biologicznej utylizacji jako uzupełnienie prostego składowania odpadów na wysypiskach.

Jedną z bardziej znanych i rozwijanych technik jest fermentacja beztlenowa. W procesie projektowania i wyboru lokalizacji i wielkości tego rodzaju inwestycji należy posługiwać się metodami wielokryterialnymi, z których najkorzystniejszy jest Proces Hierarchii Analitycznej (AHP) [Saaty 1980].

Celem niniejszego opracowania jest uzasadnienie zastosowania metody wielokryterialnej AHP w celu wyboru najkorzystniejszej lokalizacji i technologii fermentacji beztlenowej do utylizacji odpadów organicznych znajdujących się w analizowanym rejonie.

Założenia metodyczne

Ze względu na potrzebę uzyskiwania z masy pofermentacyjnej nawozu organicznego do zastosowania w rolnictwie do dalszej analizy, zgodnie z opracowaniem Bienia i in. [2004] zostały wybrane odpady ulegające biodegradacji z ograniczoną ilością metali ciężkich i niewymagające higienizacji. Odpady te mogą być, w zależności od potrzeb, uzupełniane roślinami z upraw rolniczych.

Ilość odpadów, która powinna trafiać do obróbki beztlenowej zależy od charakteru regionu objętego analizą. Ze względu na to, że analiza dotyczy regionów wiejskich, podstawowym produktem podlegającym dalszemu przetworzeniu są odpady z produkcji zwierzęcej i roślinnej oraz z zakładów przetwórstwa artykułów rolnych.

Do dalszej analizy przyjęto odpady zestawione w tabeli 1 w kolejności ich użyteczności do produkcji biogazu.

Tabela 1. Odpady przyjmowane do przetworzenia w instalacji biogazowej
Table 1. The wastes accepted to processing in biogas installation

Rodzaj odpadu	Części lotne (VS), kg/t	Ilość uzyskanego metanu*, m ³ /kgVS	Ilość uzyskanego metanu*, m ³ /m ³ wsadu	Materiał źródłowy
Olej mineralny	400 - 450	0,80	320 - 360	(8)
Olej z ryb	800 - 850	0,60 - 0,80	480 - 680	(6)
Mięso i mączka kostna	565	0,57	325	(8)
Odpady domowe	200 - 300	0,40 - 0,50	100 - 150	(6)
Osady ściekowe po flotacji	130 - 180	0,54	70 - 100	(6)
Treść żołądków świń i bydła	150 - 200	0,40 - 0,46	-	(6)
Gnojowica ze słomą	73	0,39	28,5	(4)
Zielony jęczmień (magazy- nowany z silosach)	310	0,38	-	(13)
Słoma żytnia	855	0,36	-	(12)
Kurzy pomiot	40	0,30	12,0	(6)
Ściółka kurza	160	0,30	-	(6)
Gnojowica świńska	48	0,29	13,9	(6)
Siano	824	0,28	-	(13)
Pocięta słoma	860	0,20 - 0,24	-	(13)
Gnojowica bydłowa	64	0,21	13,4	(6)
Słoma z jęczmienia	846	0,20	-	(13)
Ziarno nie spożywcze	731	0,18	-	(13)
Słoma z pszenicy	873	0,15	-	(13)
Odpady z ogrodu	350	0,10 - 0,20	-	(7)

W praktyce, średni procentowy udział odpadów trafiających do fermentacji beztlenowej jest następujący: odchody zwierzęce 91%, frakcja organiczna z osadów ściekowych 4%, przemysłowe odpady organiczne 3%, osady ściekowe 2% [Braun, Brachtl 2002].

Terminy dostawy - odchody zwierzęce dostępne są przez cały rok, odpady domowe - dostępne przez cały rok, osady ściekowe - dostępne przez cały rok, mięso i mączka kostna - dostępne przez cały rok, wielkość dostaw może być zróżnicowana w ciągu roku, treść żołądków - dostępna przez cały rok, słomy i ziarno, siano - dostępne jesienią, wymagają magazynowania zimą i wiosną, olej mineralny - dostępny przez cały rok, olej z ryb - dostępny po sezonie połowowym, odpady z ogrodu - dostępne wiosną, latem i jesienią.

Opłacalność transportu odpadów zmienia się w zależności od możliwej do uzyskania ilości biogazu (metanu), zgodnie z tabelą 1. Odległości transportowe można podzielić w następujący sposób:

- biogazownia znajduje się w miejscu produkcji odpadów,
- odległości nie są większe, niż 5 km ($L_t \leq 5$ km),
- odległości mieszczą się w granicach $5 \text{ km} < L_t \leq 10$ km,
- odległości mieszczą się w granicach $10 \text{ km} < L_t \leq 20$ km.

Potrzeba magazynowania materiału wsadowego:

- magazyn wymagany dla 5% całkowitego wsadu rocznego,
- magazyn wymagany dla $5\% < F_w \leq 10\%$ wsadu,
- magazyn wymagany dla $10\% < F_w \leq 20\%$ wsadu,
- magazyn wymagany dla $20\% < F_w \leq 30\%$ wsadu,
- magazyn wymagany dla $30\% < F_w \leq 40\%$ wsadu.

W warunkach wiejskich wielkość instalacji powinna mieścić się w przedziale objętości zbiornika fermentacyjnego $100\text{-}2000 \text{ m}^3$ z możliwością ustawienia dwóch zbiorników do pracy równoległej i zwiększeniu całkowitej objętości do 4000 m^3 . Rodzaj instalacji zależy od rodzaju odpadów będących wsadem do bioreaktora.

W przypadku fermentacji „mokrej, jednostopniowej” typowym wsadem jest gnojowica lub osady ściekowe z dodatkiem rozdrobnionych części organicznych i zawartością suchej masy w granicach $3,5\% \leq \text{SMO} \leq 15\%$. Jest to pierwszy rodzaj instalacji. Fermentacja „sucha” powinna być stosowana w przypadku zawartości suchej masy organicznej w granicach $15\% \leq \text{SMO} \leq 28\%$ i jest to drugi rodzaj instalacji.

Technologie fermentacji dwustopniowej z hydrolizą i fermentacją kwaśną w pierwszym reaktorze, fazy octanogenną i metanogenną w drugim lub z podziałem na fazy termofilową w pierwszym reaktorze i mezofilową w drugim – jest to trzeci rodzaj instalacji. Czwartym możliwym rozwiązaniem jest reaktor z technologią dwufazową, z hydrolizą tlenową części stałej i beztlenową części płynnej.

Instalacja biogazowa powinna działać przez cały rok. Ograniczenia procesu produkcyjnego mogą wystąpić na skutek okresowego braku wsadu, zakłóceniu procesu metanogenezy lub zmniejszeniu potrzeb (na przykład latem). W celu przeprowadzenia analizy należy określić zakresy ograniczeń będące kryteriami w metodzie AHP, czyli obciążenie instalacji 100% na rok, obciążenie instalacji 80% na rok, obciążenie instalacji 60% na rok.

W procesie projektowania i wyboru instalacji zakłada się pełne wykorzystanie biogazu. Może być wykorzystany do następujących celów, które w analizie są traktowane jako kryteria wyboru: ogrzewanie gospodarstwa lub innego obiektu, produkcja energii elektrycznej dla własnych potrzeb, produkcja energii elektrycznej na sprzedaż, produkcja energii cieplnej i elektrycznej.

Jednym z otrzymanych z instalacji produktów jest nawóz organiczny, który należy zbadać przed zastosowaniem rolniczym na obecność metali ciężkich i bakterii e-coli ([Dyrektywa... 1986] w sprawie ochrony środowiska oraz [Ustawa... 2001] załącznik nr 5 o procesie odzysku R10).

Nawożenie odpadami po biodegradacji ma na celu poprawę warstwy próchnicznej gleby i w związku z tym jest korzystne dla środowiska, natomiast w trakcie wyboru miejsca należy uwzględnić następujące czynniki środowiskowe i ekonomiczne:

- obecność odorów z instalacji i magazynów wsadów,
- oddalenie od siedzib ludzkich ze względu na możliwość wybuchu,
- możliwość zanieczyszczenia wód gruntowych,
- możliwość zanieczyszczenia ujęcia wody pitnej,
- korzyści z bezpośredniego użytkowania biogazu, korzyści z produkcji energii elektrycznej,
- korzyści z zastosowania nawozu organicznego uzyskiwanego z biomasy.

Po zebraniu danych o możliwych do zagospodarowania odpadach i ich miejsc powstawania oraz dokonaniu wstępnego wyboru kilku potencjalnych lokalizacji można uruchomić proces wyboru **miejsca budowy instalacji**.

Główne kryteria wyboru lokalizacji można podzielić następująco: kryterium rodzaju i ilości odpadów K_{ro} , kryterium transportu K_{tr} , kryterium możliwości magazynowania K_m , kryterium odbioru energii K_{oe} , kryterium finansowe K_f , kryterium środowiskowe K_s .

Kryteria dzieli się na kryteria cząstkowe z określeniem wartości progowych, wariantowych. Odnośnie rodzaju odpadów kryteria cząstkowe są dobierane zgodnie z danymi zawartymi w tabeli 1, danymi uzyskanymi z rejonu odbioru odpadów i zakresem działania projektowanej instalacji.

Przykładowe rozwiązanie dla gminy X

Gmina X jest gminą rolniczą z glebami VI, V, IV i III klasy. Powierzchnia gminy wynosi 85 km², w tym grunty orne 5300 ha, sady i plantacje truskawek 117 ha, łąki i pastwiska 1330 ha, lasy 1980 ha, inne grunty 940 ha, ludność 4400 mieszkańców. Przeważają gospodarstwa rodzinne. W miejscowości gminnej znajduje się oczyszczalnia ścieków o przepustowości 250 m³/d odbierająca ścieki bytowo-gospodarcze.

W gminie znajduje się wysypisko śmieci o pojemności 11500 m³. Na terenie gminy znajdują się trzy gospodarstwa z produkcją zwierzęcą, w tym dwa produkujące mleko (500 krów i 750 krów), a jedno świnie (3000 tuczników) oraz przetwórnia mięsa. W gminie sąsiadującej z gminą X znajduje się cukrownia.

Zakład przetwarzający odpady organiczne na biogaz i nawóz organiczny można, w uzgodnieniu z Radą Gminy i mieszkańcami, zlokalizować w następujących miejscach:

- a) przy oczyszczalni ścieków,
- b) przy wysypisku śmieci,
- c) przy cukrowni,
- d) przy gospodarstwie produkującym tuczniaki.

Charakterystyka poszczególnych lokalizacji:

- a) oczyszczalnia ścieków: zlokalizowana na obrzeżu miejscowości gminnej, dostarczanie odwodnionych osadów ściekowych w ilości około 5 m³/d, odległość od producentów mleka: 3 km przy produkcji obornika 16,7 m³/d i 6 km przy produkcji obornika 25 m³/d, odległość od hodowcy świń: 1,5 km przy produkcji gnojowicy 45 m³/d, odległość od cukrowni: 10 km (produkcja melasy w sezonie 1700 t/d, liści buraczanych 170 t/d), odległość od wysypiska śmieci 5 km, przy ilości odpadów organicznych 6 m³/d,
- b) wysypisko śmieci: odległość od producentów mleka 5 km i 4 km, od hodowcy świń 6 km, od cukrowni 5 km,
- c) cukrownia: odległość od producentów mleka 7 km i 4 km, od hodowcy świń 8 km,
- d) przy hodowcy świń: odległość od producentów mleka 1,5 km i 3,5 km; dodatkowo hodowca świń deklaruje pokrycie z własnych środków 30% kosztów inwestycji.

We wszystkich lokalizacjach nie występuje oddziaływanie odorów na mieszkańców oraz możliwość zanieczyszczenia ujęć wody pitnej i wód gruntowych. W przypadku hodowcy świń istnieje zagrożenie wybuchem dla chlewni. W przypadku wysypiska śmieci nie ma możliwości bezpośredniego wykorzystania biogazu. Projektuje się działanie instalacji przez cały rok.

Dane dotyczące warunków lokalizacji w czterech wybranych miejscach w gminie zostały zestawione w arkuszu wyjściowym do dalszych obliczeń i porównań parami metodą AHP. Wyniki obliczeń cząstkowych są dostępne u autora artykułu.

Na rysunku 1 pokazano wyniki końcowych obliczeń porównań parami.

Nazwa modelu : BiogazowniaX2

Priorytety wyboru uwzględniające CEL:

Wybór lokalizacji biogazowni w gminie X



niedokładności = 0,01

z uwzględnieniem wszystkich ocen

Rys. 1. Wykres priorytetów wyboru lokalizacji biogazowni w gminie X

Fig. 1. Diagram of choice priorities at localization of biogas installation in commune X

Z porównania danych na rysunku 1 wynika, że najkorzystniejszą lokalizacją biogazowni jest umieszczenie jej u hodowcy świń. Obliczona wartość priorytetu wynosi 0,424 przy współczynniku niedokładności równym 0,01. Mniej korzystna, ale możliwa do zastosowania, jest lokalizacja w cukrowni. Lokalizacja przy oczyszczalni ścieków jest mało korzystna. Najmniej korzystna jest lokalizacja przy wysypisku odpadów.

O wyborze lokalizacji u hodowcy świń zdecydowały następujące kryteria: możliwości finansowe hodowcy, niewielkie odległości od dostawców, możliwości magazynowe i korzystny, ze względu na jakość fermentacji, rodzaj odpadów. Niewiele mniej korzystna jest lokalizacja przy cukrowni. Decydujące były dwa kryteria: środowiskowe (zastosowanie biogazu w miejscu produkcji) oraz duża ilość odpadów.

W przypadku lokalizacji przy oczyszczalni kryteria korzystne dla lokalizacji były następujące: możliwości finansowe oraz odległości od dostawców. W przypadku lokalizacji przy wysypisku korzystne dla lokalizacji kryteria, to: możliwości magazynowe i finansowe, niekorzystne, to: możliwości środowiskowe (brak możliwości wykorzystania biogazu w miejscu produkcji), duże odległości od dostawców oraz rodzaj i ilość odpadów.

Omówienie wyników

W pokazanym na przykładzie gminy X wyborze lokalizacji biogazowni z zastosowaniem metody porównań parami zastosowano kryteria i kryteria cząstkowe z uwzględnieniem ich wagi w każdym z rozpatrywanych porównań. W przypadku analizowania rzeczywistych warunków w istniejących

gminach kryteria opisane w opracowaniu będą w każdym przypadku różne, nie mniej, większość z nich, jak odległości, rodzaj i ilość odpadów, możliwości finansowe, środowiskowe i magazynowe będą się powtarzać. W większości przypadków ważne będą, po określeniu lokalizacji, dobór technologii fermentacji, wielkość biogazowni i określenie potrzeb w zakresie uzyskania dodatkowej masy do fermentacji z produkcji roślinnej, zastosowania masy po fermentacji jako nawozu i produkcji z biogazu energii cieplnej lub elektrycznej. W przypadku rozpatrywania obu technologii (fermentacji metanowej i kompostowania), można je połączyć w celu uzyskania wysokiej jakości nawozu organicznego.

Wnioski

Zastosowanie metody porównań parami umożliwi dokonanie obiektywnego wyboru lokalizacji i wielkości instalacji fermentacji beztlenowej z uwzględnieniem wszystkich możliwych do ujęcia kryteriów. Dokładność wyboru zależy od określenia jak największej liczby czynników i ujęcia ich w kryteriach.

W rozpatrywanym przykładzie gminy X uzyskano najkorzystniejsze rezultaty oceny dla hodowcy świń i cukrowni. Dalszy wybór zależy od projektowanej wielkości instalacji. W przypadku umieszczenia instalacji u hodowcy objętość komór fermentacyjnych nie powinna przekraczać $2 \times 500 \text{ m}^3$. W przypadku umieszczenia komór przy cukrowni łączna objętość komór może przekraczać 2000 m^3 , natomiast nie ma gwarancji 100% obciążenia instalacji w ciągu roku.

Bibliografia

Bień J.B. i in. 2004. Ocena możliwości zagospodarowania osadów ściekowych i innych odpadów ulegających biodegradacji w Polsce w świetle propozycji zmian prawa Unii Europejskiej. Politechnika Częstochowska, Instytut Inżynierii Środowiska, NFOŚiGW, Częstochowa

Braun R., Brachtl E. 2002. Potential of Biowaste Co-digestion, Anaerobic Digestion for Sustainability in Waste (Water) Treatment and Re-use. Proceedings of 7th FAO/SREN – Workshop, Dpt. Of Chemical Enzymology, Chemistry Faculty, Moscow State University, Russia

Eymontt A., Romaniuk W. 2002. Anaerobic Manure Utilization from Poultry Farm with Alternative Composting Systems. Anaerobic Digestion for Sustainability in Waste (Water) Treatment and Re-use. Proceedings of 7th FAO/SREN – Workshop, Dpt. Of Chemical Enzymology, Chemistry Faculty, Moscow State University, Russia

Saaty T.L. 1980. The Analytic Hierarchy Process, New York, N.Y., McGraw Hill

Zarzycki R., Wielgosiński G. 2001. Problemy zagospodarowania osadów ściekowych. Gospodarka komunalna w miastach. Praca zbiorowa pod red. R. Zarzyckiego. PAN, Łódź

Zarzycki R., Wielgościński G. 2003. Osady ściekowe. najważniejsze problemy zagospodarowania. Techniczne problemy zarządzania środowiskiem w Łodzi pod red. R. Zarzyckiego. PAN, Oddział Łódź, s.139-165

Dyrektywa Rady Europejskiej 86/278/EWG z dnia 12 czerwca 1986 r.

Ustawa z 27 kwietnia 2001 r. o odpadach (Dz. U. z 2007 r. Nr 39, poz. 251 i Nr 88, poz. 587 oraz z 2008 r. Nr 138, poz. 865, Nr 199, poz. 1227 i Nr 223, poz. 1464); wejście w życie z dniem 1 października 2001 r.

Przepisy, rozporządzenia. 1999. Częstochowa, s. 39-46

www.abmsolid.com.pl/angielski/miesne.php - 18k

www.veoliawatersystem.pl