

Merian HOPKOWICZ
Tomasz STYPKA

Instytut Inżynierii Sanitarnej i Ochrony Środowiska
Politechniki Krakowskiej

PORÓWNAWCZA ANALIZA EKONOMICZNA WYBRANYCH METOD UTYLIZACJI ODPADÓW KOMUNALNYCH

Streszczenie. W artykule przedstawiono i porównano z technicznego i ekonomicznego punktu widzenia dwie najpowszechniejsze metody utylizacji odpadów komunalnych: składowanie na wysypisku i spalanie. Analizy ekonomicznej dokonano obliczając w kilku wariantach jednostkowy koszt sprowadzony dla różnych metod. Oceniono wpływ odzyskiwania gazu wysypiskowego na efektywność ekonomiczną wysypiska.

1. WSTĘP

Zagospodarowanie stałych odpadów komunalnych stanowi zarówno problem inżynierski, jak i ekonomiczny. Niestety bardzo często zwraca się tylko uwagę na technologiczny aspekt problemu, traktując sprawy ekonomiczne drugoplanowo. Jest to podejście błędne, gdyż jeżeli możliwe jest w konkretnym przypadku zastosowanie różnych technologii, o wyborze powinny decydować względy ekonomiczne.

Obecnie używane podstawowe technologie usuwania stałych odpadów komunalnych to:

- składowanie odpadów na wysypisku, często poprzedzone jakiegoś rodzaju procesem przedwstępny /stacje transferowe, zgniatanie/,
- spalanie z lub bez odzysku otrzymywanego w procesie ciepła,
- kompostowanie.

Dokładny udział poszczególnych metod w niektórych rozwiniętych państwach świata przedstawię tabelę 1 [1] .

Tabela 1

Współczesne technologie unieszkodliwiania
odpadów komunalnych

/ wagowy udział procentowy /

Kraj	Rok	Wysypiska	Spalarnie	Kompostownie
Austria	1979	65	24	11
Belgia	1978	62	27	9
Dania	1979	32	66	2
Anglia	77/78	89	10	1
Francja	1975	60	29	10
Japonia	1979	52	46	2
Holandia	1975	64	30	6
Szwecja	1975	65	33	2
Szwajcaria	1978	15	70	14
USA	1979	95	5	0
RFN	1979	71	25	3

Wynika więc, że obecnie nadal najpopularniejsze jest składowanie.

Każda z metod usuwania odpadów różni się nie tylko kosztem unieszkodliwiania jednostki masy odpadów, ale również poziomem uciążliwości dla środowiska.

Jednym z zagrożeń ludzi i środowiska powstającym na wysypisku jest gaz wysypiskowy. Jest to mieszanina CO_2 i CH_4 i jest on jednym z produktów samoczynnie zachodzącego w wysypisku procesu rozkładu. W celu zmniejszenia niebezpieczeństwa pożarów i eksplozji spowodowanych przez gaz buduje się obecnie na wysypiskach instalacje do jego odpompowywania i wykorzystania do celów energetycznych.

W wyniku stosowania tej metody wysypisko, podobnie jak spalarnia, staje się jednocześnie sposobem unieszkodliwiania odpadów i źródłem

energii.

W artykule przedstawiono próbę porównania w polskich warunkach efektywności ekonomicznej usuwania odpadów na wysypisko posiadające instalację do odzysku gazu ze spalarnią śmieci.

2. OPIS ANALIZOWANYCH METOD UTYLIZACJI

2.1. Składowanie odpadów na wysypisku z instalacją do odzysku gazu

Składowanie odpadów na wysypisku jest najprostszą technologicznie metodą ich usuwania. Sprowadza się ona do składowania i ugniatania odpadów, na odpowiednio przygotowanym terenie, w warstwy o grubości nie większej niż 2,5 m. Warstwy te następnie pokrywa się około 0,15 m warstwą ziemi lub gruzu, na które ponownie składa się odpady. Ostatnie, wierzchnie warstwy ziemi posiada grubość około 1 metra, aby jak najlepiej odizolować złożone odpady od środowiska. Nowoczesne wysypisko oprócz tego, że musi posiadać odpowiednią infrastrukturę /węgiel, wysokie ogrodzenie, wyjście dla pojazdów, budynek socjalny/, powinno również zapewnić minimalne niebezpieczeństwo skażenia wód gruntowych i powietrznych.

Osiąga się to poprzez uszczelnienie dna wysypiska jak również przez właściwą gospodarkę wodami opadowymi.

Instalacje do odzysku gazu, w którą wyposażone są nowoczesne wysypiska, jest to szereg wywierconych w odległości około 100 metrów studni połączonych rurami z wentylatorem i instalacją oczyszczającą. Wentylator wytwarzając w studniach podciśnienie zasysa gaz z wysypiska i przetłacza go do instalacji oczyszczającej. Po usunięciu zanieczyszczeń stałych i części wilgoci gaz nadaje się do spalania i posiada przeciętnie wartość opałową około 18 MJ/m^3 .

2.2. Spalarnia odpadów

Zasada działania spalarni odpadów jest prosta. Do odpowiednio przystosowanego kotła dostarcza się odpady, które spalają się zmniejszając znacznie swoją masę jak i objętość.

Produktami spalania są:

- gaz i para, która dopiero po oczyszczeniu nadaje się do emisji do atmosfery,
- nieorganiczne części odpadów, która jest usuwana na wysypisko lub używana jako surowiec wtórny,
- ścieki powstałe z chłodzenia żużle i gazów odlotowych,
- ciepło mogące być wykorzystane na miejscu lub do generowania elektryczności

3. PORÓWNAWCZA ANALIZA EKONOMICZNA USUWANIA ODPADÓW NA WYSYPISKO POSIADAJĄCE INSTALACJĘ DO ODZYSKU GAZU ZE SPALARNIĄ

W analizie porównano w pierwszej kolejności wprowadzony koszt unieszkodliwienia odpadów na wysypisku z instalacją do odzysku gazu oraz koszt dla wysypiska bez takiej instalacji.

Następnie, przyjmując ilość otrzymanego gazu oraz koszty inwestycyjne i eksploatacyjne instalacji odzyskowej wyznaczono graniczną cenę gazu, przy której jego odzysk zaczyna być opłacalny. Dla spalarni utylizującej taką samą ilość odpadów rocznie określono koszt wprowadzony odniesiony do jednostki odpadów oraz ilość energii wytworzonej w ciepłe odpadowe lub w postaci energii elektrycznej, które posłużyły do określenia równoważnej energetycznie ilości gazu wysypiskowego.

3.1. Analiza efektywności ekonomicznej instalacji do odzysku gazu z wysypiska.

Dla celów analizy przyjęto wysypisko o powierzchni ok. 100 ha i 50 ha, zaopatrzone w studnie do odzysku gazu. Przyjęto 30 studni, zakładając wydajność pojedynczej studni równą $12.61 \text{ m}^3/\text{min}$ gazu o wartości opałowej $W_d = 18\ 000 \text{ kJ/Nm}^3 / [1]$.

Dla przyjętego rocznego czasu użytkowania $T_d = 330 \text{ dni/rok}$ uzyskuje się $V_{GR} = 6 \text{ mln m}^3$ gazu. Przyjęte wartości powierzchni wysypiska przypadające na jedną studnię oraz wydajności pojedynczej studni

wyznaczono jako wartości średnie na podstawie danych uzyskanych z pomiarów istniejących instalacji zawertych w pracy [2]. Na podstawie danych dotyczących kosztów instalacji /studnie rurociągi, instalacje oczyszczające gaz/ oszacowano koszt takiej instalacji w warunkach polskich $I = 90$ mln zł. Koszty eksploatacyjne obejmujące energię elektryczną do napędu wentylatora, koszty materiałów do stacji oczyszczenia oraz koszty obsługi i remontów oszacowano jako równe $K = 20$ /mln zł/rok/. Wartości te pozwalają wyznaczyć koszt spowodowany obciążający uzyskanie 1 m^3 gazu.

$$k_{sp} = \frac{I/r+a/ + K}{V_{GR}} \quad /1/$$

gdzie : r - stopa dyskontowa przyjmowana w wysokości $r = 0,08$,
 a - średnie stawki amortyzacyjne dla przyjętego okresu eksploatacji $N = 15$ lat $a = 0,036$ [3]

Wyznaczone według wzoru /1/ wartość jednostkowa kosztu spowodowanego dla podanych wyżej danych wynosi $k_{sp} = 5$ /zł/ Nm^3 /. Jeżeli gaz byłby sprzedawany po cenie wyższej od wartości k_{sp} , inwestycja jest opłacalna. Przyjmując, że 1 m^3 gazu uzyskiwanego z tej instalacji odpowiada ok. $0,5 \text{ m}^3$ metanu /biorąc pod uwagę energię chemiczną/ można stwierdzić, że cena ilości gazu odpowiadającej 1 m^3 metanu wynosząca 10 zł jest atrakcyjna biorąc pod uwagę koszty zakupu lub pozyskania metanu.

Dla porównania zmiany kosztu utylizacji odpadów na wysypisku z instalacją do odzysku gazu z wysypiskiem tradycyjnym przeprowadzono obliczenia, których wyniki zestawiono w tabeli 2.

Koszt spowodowany wyznaczono ze wzoru /1/ odnosząc go do całkowitej ilości odpadów utylizowanej rocznie wynoszącej we wszystkich przypadkach $M_{GR} = 200\ 000$ /t/rok/. Należy podkreślić, że w obliczeniach założono skrajnie, że gaz jest użytkowany w całości dla potrzeb wysypiska. W takim przypadku nie występuje zmiana kosztu eksploatacyjnego spowodowana wpływem ze sprzedaży gazu. Jak widać, zastosowanie instalacji zwiększa wartość k_{sp} o około 17% dla wysypiska mniejszego oraz o 12%

Tabela 2

Porównanie jednostkowego, sprowadzonego kosztu utylizacji odpadów dla wysypiska z instalacją odzyskową i dla wysypiska bez tej instalacji

	Wysypisko o pow. 100 ha		Wysypisko o pow. 50 ha	
	bez instalacji	z instalacją	bez instalacji	z instalacją
I mln zł	1400	1490	800	890
Ke $\frac{\text{mln zł}}{\text{rok}}$	80	100	80	100
MoR $\frac{\text{tys.t}}{\text{rok}}$	200	200	200	200
kapu $\frac{\text{zł}}{\text{t}}$	1212	1364	864	1016

dla wysypiska większego /100 ha/. Dla obu przedstawionych wysypisk założono, mimo różnej powierzchni, ten sam okres eksploatacji /15 lat/, jak i tę samą wielkość i wydajność instalacji do odzysku gazu. Przyjęcie takich założeń było podyktowane chęcią zapewnienia porównywalności kosztów sprowadzonych. Sytuacja, w której wysypiska o różnej powierzchni o tej samej ilości składowanych rocznie odpadów mają ten sam okres eksploatacji /jest możliwa/ ponieważ na tę wielkość mają wpływ również takie czynniki, jak ukształtowanie terenu, warunki hydrologiczne geologiczne itp.

Gdyby przyjąć, że gaz jest sprzedawany, to przy cenie $\text{kg} = 4 \text{ zł}/\text{Nm}^3$ uzyskuje się wpływy roczne około 24 mln zł. Zatem mogłoby nastąpić całkowite pokrycie kosztów eksploatacji instalacji przez wpływy ze sprzedaży gazu. Wyznaczając roczny efekt ekonomiczny dla takiego przypadku uzyskuje się:

$$/EF/R = P - I / r + a/ - K_e = 24 - 90 / 0,08 + 0,036/ - 20$$

$$/EF/R = - 6,4 \text{ mln zł/rok}$$

Oznacza to, że instalacje dają niewielkie straty z powodu niepokrywania w całości zaangażowanych na początku nakładów inwestycyjnych. Wyznaczone wartości kosztu wprowadzonego dla wybranych istniejących w USA instalacji do odzysku gazu [2] zawierały się w granicach 0,026 - 0,035 \$/Nm³.

3.2. Analiza porównawcza kosztu uzyskiwania energii ze spalarni

i gazu wysypiskowego.

W celu porównania efektywności uzyskania energii przeprowadzono obliczenia dla spalarni utylizującej odpady w ilości zbliżonej dla wysypiska. Zarówno wielkość spalarni, jak i wysypiska z instalacją do odzysku gazu przyjęto jako przeciętne dla miast liczących około 1 milion mieszkańców. W obliczeniach posłużono się danymi dotyczącymi projektowanej dla Krakowa spalarni utylizującej 130 000 t/rok odpadów komunalnych oraz 220 000 t/rok odpadów ściekowych [4], a także danymi dotyczącymi jednej z trzech pracującej w Hamburgu spalarni odpadów komunalnych o wydajności 260 000 t/rok [5]. W obu przypadkach zakładano oczyszczenie spalin obejmujące odpylenie w elektrofiltrach oraz odsierczenie w płuczkach i na węglu drzewnym.

Dla spalarni polskiej nakłady inwestycyjne oszacowano jako równe $I = 1\ 080$ mln zł, natomiast koszty eksploatacyjne $K_e = 600$ mln zł/rok, co daje jednostkowy koszt wprowadzony równy:

$$k_{ep} = \frac{1080 / 0,08 + 0,036/ + 600}{350} = 2,1 \text{ tys zł/t odpadów}$$

W obliczeniach przyjęto, podobnie jak dla instalacji odzyskującej gaz, $N = 15$ lat eksploatacji. Podobnie wyznaczony dla spalarni niemieckiej jednostkowy koszt utylizacji /uwzględniający wpływ ze sprzedaży energii/ wyniósł $k_{ep} = 43 \text{ DM/t} = 21,5 \text{ $/t}$. W spalarni projektowanej dla Krakowa systemu Praga Dukla /z piecami rusztowymi/ uzyskuje się około 20 MW mocy cieplnej, co pozwala uzyskać $Q_R = 518\ 000 \text{ GJ/rok}$.

Wyznaczono równoważną pod względem zawartej energii chemicznej ilość gazu wysypiskowego

$$V_g = \frac{Q_R}{n_g W_{dg}} = \frac{518\ 000\ 000\ \text{MJ/rok}}{0,8 \cdot 18\ \text{MJ/Nm}^3} = 36\ \text{mln Nm}^3/\text{rok}$$

W obliczeniach uwzględniono sprawność urządzenia utylizującego gaz i przyjęto ją równą $n_g = 0,8$. Otrzymana ilość gazu jest 6 razy większa od uzyskiwanej z instalacji na wysypisku. Biorąc pod uwagę różnicę ilości odpadów i wartości opałowej w obu porównywanych przypadkach /spalarnia i wysypisko/, można przyjąć, że ilość energii uzyskiwanej ze spalarni jest ponad 6-krotnie większa. Analogicznie dla spalarni niemieckiej uzyskano $Q_R = 821\ 000\ \text{GJ/rok}$ w ciepłe odpadowym lub 116 200 000 kWh/rok energii elektrycznej. Wyznaczając równoważną ilość gazu o wartości opałowej $W_{dg} = 18\ 000\ \text{kJ/Nm}^3$, przy założeniu że zawarta w nim energia chemiczna będzie wykorzystana ze sprawnością $n_g = 0,8$, uzyskano $V'_{PR} = 57\ \text{mln m}^3/\text{rok}$, tj. około 9,5 raza więcej niż na wysypisku. Należy jednak mieć na uwadze, że ta ilość energii jest uzyskiwana przy blisko 2-krotnie wyższym koszcie spowodowanym /obejmującym nakłady inwestycyjne i koszt eksploatacji/. W każdym z tych przypadków ilość otrzymanej energii nie jest ilością znaczącą z punktu widzenia potrzeb miasta. Bardzo istotną natomiast jest niezawodność instalacji do utylizacji odpadów jak również jej mała uciążliwość dla środowiska. Należałoby także uwzględnić, że produkty spalania muszą być składowane jak również to, że spalarnia jest urządzeniem o znacznej stopniu skomplikowania, a gwarantuje jedynie około dwukrotne zmniejszenie ilości odpadów. Dodatkowo tworzy się problem ścieków powstałych z chłodzenia żużla i gazów odlotowych. W tym kontekście atrakcyjność instalacji do odzysku gazu jest wyraźna.

Wymienione wyżej czynniki nie zostały ujęte w przedstawionej uproszczonej analizie ekonomicznej. Jest to spowodowane trudnością w uzyskaniu niezbędnych informacji dla oszacowania kosztów strat w środowisku wywołanych usuwaniem produktów spalania /gazowych i stałych/.

Uzyskanie energii z gazu wysypiskowego jest związane z dużo mniejszym niebezpieczeństwem skażenia środowiska w porównaniu do spalarni. Otrzymane natomiast ilości energii są porównywalne z korzyścią dla spalarni.

4. WNIOSKI

1. Składowanie odpadów komunalnych na wysypiskach jest i pozostanie w najbliższej przyszłości podstawową metodą ich usuwania.
2. Koszt spowodowany uzyskania gazu wysypiskowego o energii chemicznej równej energii 1 m³ metanu wynosi dla przedstawionej instalacji 10 zł
3. Koszt spowodowany usuwaniem odpadów na wysypisko jest około dwukrotnie niższy niż koszt spowodowany utylizacji przez spalanie.
4. Usuwanie odpadów na wysypisko wyposażone w instalację do odzysku gazu jest zarówno z technicznego, jak i ekonomicznego punktu widzenia porównywalne ze spalaniem.

LITERATURA

1. Wilson D. Waste Management Clarendon Press Oxford 1981.
2. Landfill Gas Survey Update , Waste Age; Listopad 1985.
3. Ocena ekonomicznej efektywności inwestycji i innych przedsięwzięć rozwojowych, Zbiór przepisów, Warszawa 1974.
4. Spalarnia Odpadów Komunalnych i Osadów Ściekowych dla Miasta Krakowa. Opracowanie MPBK w Krakowie, 1983.
5. Aure ; sierpień 1986.

Wpłynęło do Redakcji : listopad 1986 r.

Recenzent

Doc.dr hab. inż. Janusz Wandreas

COMPARATIVE ECONOMICAL ANALYSIS OF SOME METHODS OF
MUNICIPAL WASTES UTILIZATION

S u m m a r y

The article presents, and compares from technical and economical point of view, landfilling and incineration - the most common methods of municipal solid waste disposal. The cost-benefit analysis is conducted for different sizes of landfills some also equipped with the installation to collect landfill gas LFG. The impact of LFG installation on waste disposal economy is also discussed.

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ ЭКОНОМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ВЫБРАННЫХ МЕТОДОВ УТИЛИЗАЦИИ
КОММУНАЛЬНЫХ ОТХОДОВ

Резюме

В статье сравниваются с технической и экономической точки зрения два наиболее распространённых метода утилизации коммунальных отходов: складирование на свалках и сжигание.

Проведён экономический анализ, подсчитана в нескольких вариантах единичная стоимость различных методов.

Оценено влияние полученного со свалки газа на экономическую эффективность свалки.