

*Maria Walery*

**ANALIZA WPŁYWU  
WYBRANYCH PARAMETRÓW WEJŚCIOWYCH  
SYSTEMU GOSPODARKI ODPADAMI MEDYCZNYMI  
NA KOSZT JEGO FUNKCJONOWANIA I STRUKTURĘ**

---

***THE ANALYSIS OF THE INFLUENCE  
OF SELECTED INPUT PARAMETERS ON COSTS  
OF THE SYSTEM OF MEDICAL WASTES MANAGEMENT***

**Streszczenie**

W artykule przedstawiono analizę wpływu wybranych parametrów wejściowych systemu gospodarki odpadami medycznymi na koszt jego funkcjonowania i strukturę.

Zaprezentowany w artykule model systemu gospodarki odpadami medycznymi w wersji dynamicznej umożliwia projektowanie najkorzystniejszych pod względem ekonomicznym systemów wywozu i unieszkodliwiania tego typu odpadów.

**Słowa kluczowe:** system gospodarki odpadami medycznymi, koszt funkcjonowania systemu, wskaźnik ekonomicznej efektywności

***Summary***

*The paper presents analysis of the influence of selected input parameters describing the system of medical wastes management on costs of its functioning and its structure.*

*The presented model of medical wastes management in the dynamic version allows designing the most economically effective systems of medical wastes disposal and utilization.*

**Key words:** *medical wastes management system, system functioning costs, economic efficiency index*

## WSTĘP

Odpady medyczne powstające w zakładach opieki zdrowotnej, zarówno zamkniętych, jak i otwartych stanowią istotne zagrożenia epidemiologiczne, toksykologiczne i sanitarne.

Z analizy stanu istniejącego systemu gospodarowania odpadami medycznymi na obszarze woj. podlaskiego wynika, iż system wymaga wprowadzenia wzmoczonych działań oraz rozwiązań systemowych – technicznych i organizacyjnych, które zagwarantują ich unieszkodliwienie, przy jednoczesnym spełnieniu standardów ochrony środowiska i sanitarnego bezpieczeństwa. Właściwie opracowane i wdrożone procedury odnoszące się do rozwiązań logistycznych w zakresie systemów sortowania, zbiórki i transportu mogą zapewnić placówkom służby zdrowia duże oszczędności w zakresie bieżącej gospodarki odpadami, obniżając w znaczny sposób koszty ich unieszkodliwienia.

Celem pracy jest wskazanie efektywnej analitycznie i możliwej do praktycznego zastosowania w obecnych warunkach metody planowania systemu wywozu i unieszkodliwiania odpadów medycznych. Proces planowania opiera się na wielu działaniach, począwszy od wstępnego rozpoznania problemu i gromadzenia zbioru danych, a kończąc zastosowaniem badań operacyjnych do rozwiązania problemu, tj. wyboru modelu i metody badań optymalizacji struktury systemu wywozu i unieszkodliwiania na podstawie kryterium ekonomicznego.

## MATERIAŁ I METODY BADAŃ

Przyjęty do rozważań modelowy region to obszar województwa podlaskiego, który może być uznany za reprezentatywny dla innych regionów tej części kraju. Dane wejściowe niezbędne do opisu proponowanych wariantów systemu gospodarki odpadami medycznymi zostały zebrane i opracowane w ramach przeprowadzonych badań analityczno-faktograficznych. Wykonane studium optymalizacyjne [Biedugnis, Cholewiński 1987, 1992; Biedugnis, Podówjci 1988, 1999, 2001; Biedugnis i in. 2001, 2003] oparte na rzeczywistych danych dotyczących zarówno parametrów technicznych, jak i wielkości ekonomicznych pozwala na uogólnienie uzyskanych wyników i ich implikację dla innych zbliżonych regionów.

Na terenie rozpatrywanego obszaru woj. podlaskiego, uwzględniając powyższe założenia oraz uwarunkowania środowiskowe, wytypowano do analizy 18 źródeł powstawania i gromadzenia odpadów – szpitali, cztery obiekty pośrednie – spalarnie odpadów medycznych odpowiednio w Białymstoku, Łomży, Hajnówce i Suwałkach oraz cztery obiekty końcowe zlokalizowane na terenie spalarni odpadów medycznych – składowiska do czasowego przetrzymywania odpadów poprocesowych z procesu termicznego przekształcania odpadów.

Zakres badań operacyjnych wykonany w ramach studium optymalizacji, został podzielony na kolejne etapy w celu przedstawienia możliwości zaproponowanego modelu:

Etap I – obejmował obliczenia optymalizacyjne, przy przyjęciu ustalonych w koncepcji parametrów technicznych i ekonomicznych.

Przebieg 1 wykonany w ramach tego etapu był jednocześnie przebiegiem porównawczym, względem którego były dokonywane inne porównania.

Etap II – obejmował szereg dodatkowych przebiegów mających na celu ustalenie wpływu wybranych parametrów wejściowych modelu na generowane rozwiązanie (koszt funkcjonowania systemu, wskaźnik ekonomicznej efektywności E oraz strukturę przestrzenną systemu).

Parametry wejściowe, które były brane pod uwagę to odpowiednio:

- parametry ekonomiczne opisujące system (koszty jednostkowe transportu odpadów, wskaźnik inflacji i dyskonta),
- parametry ekonomiczne opisujące obiekty systemu (koszty kapitałowe i eksploatacyjne),
- wielkość redukcji odpadów medycznych w obiektach pośrednich systemu, wyrażona w postaci współczynnika wyjściowego procesu – wwp [%],
- czas planowanego horyzontu czasowego t (czas trwania modelowych okresów).

## WYNIKI BADAŃ

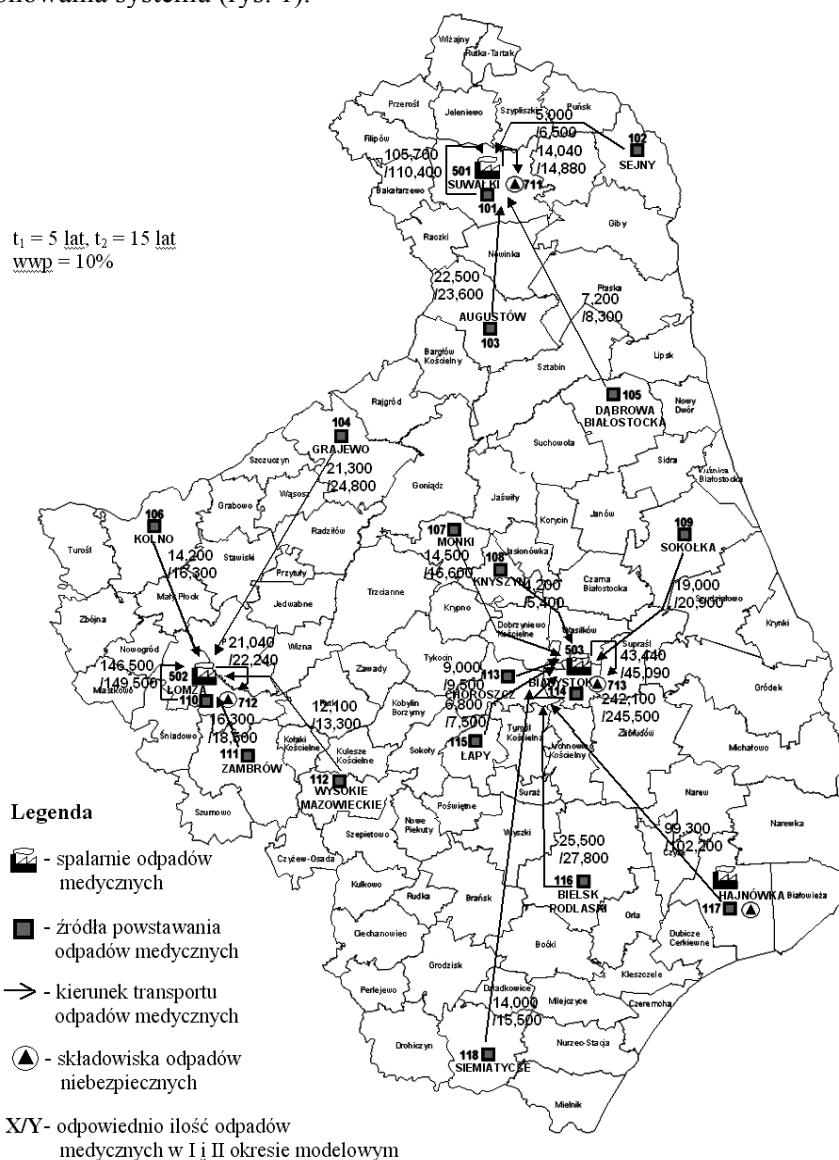
Obliczenia zostały zrealizowane w następujących przebiegach:

Etap I – przebieg 1 – przebieg jak w koncepcji z uwzględnieniem następujących parametrów: czas trwania modelowych okresów odpowiednio  $t_1 = 5$  i  $t_2 = 15$  lat, jednostkowy koszt transportu odpadów medycznych w I i II okresie modelowym odpowiednio: 1,33 oraz 0,44 zł/t/min, wwp = 10%.

W pracy przedstawiono dane wejściowe jedynie dla 1. przebiegu badań optymalizacyjnych. W pozostałym etapie badań operacyjnych zmianie podlegały poszczególne parametry wejściowe systemu. I tak dla przebiegów 2–12 – następowała zmiana jednostkowego kosztu transportu odpadów medycznych w I i II okresie modelowym z 1,36 zł/t/min do 2,66 zł/t/min (przy założonym 100% wzroście jednostkowego kosztu transportu odpadów medycznych); dla przebiegów 13–19 – następowała zmiana parametru opisującego stopień redukcji ilości odpadów medycznych w procesie termicznego przekształcania odpadów, wyrażonego w postaci współczynnika wyjściowego procesu (wwp [%]), w przedziale 11–40%.

W wyniku przeprowadzonych obliczeń optymalizacyjnych dla przebiegu 1. (Etap 1) z założonych wstępnie na modelowym obszarze 26 obiektów systemu (18 – źródeł powstawania odpadów medycznych, 4 – spalarnie, 4 – składo-

wiska odpadów niebezpiecznych, 55 – możliwych tras przewozu odpadów) zostały wybrane w I i II okresie modelowym odpowiednio: 3/3 spalarnie, 3/3 składowiska oraz 21/21 tras przewozu odpadów, minimalizując w ten sposób koszt funkcjonowania systemu (rys. 1).



**Rysunek 1.** Układ lokalizacji obiektów systemu gospodarki odpadami medycznymi oraz tras transportu odpadów na obszarze modelowego regionu – przebieg 1

**Figure 1.** Object localization of medical waste management system and transportation ways in modeled region – for I run

Dla przebiegu 1. w (tab. 1) przedstawiono poziomy działalności przerób-  
czych w obiektach pośrednich i końcowych, w poszczególnych okresach mode-  
lowych.

**Tabela 1.** Poziomy działalności przerób-  
czych w obiektach pośrednich i końcowych  
w poszczególnych okresach modelowych dla przebiegu 1 na obszarze modelowego  
regionu [t/rok]

**Table 1.** The level activity processing of medial and final objects for 1 run [Mg/a]

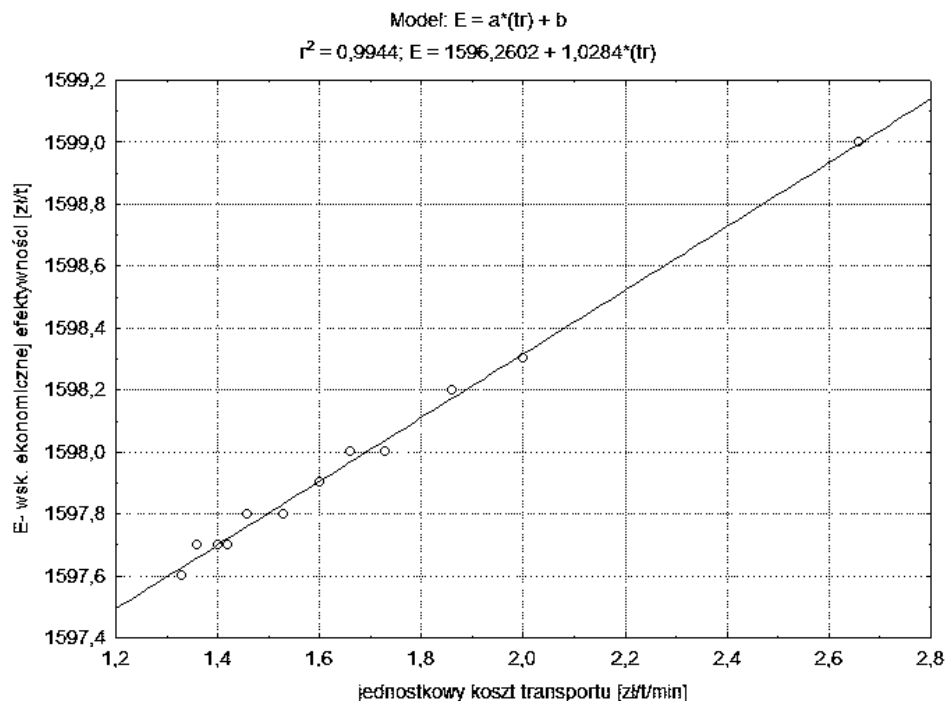
Wyszczególnienie	ID	Nazwa procesu	ID	Poziom działalności przerób- czych	Okres modelowania
Suwałki	501	spalarnia	901	140,400	1
Suwałki	501	spalarnia	901	148,800	2
Łomża	502	spalarnia	901	210,400	1
Łomża	502	spalarnia	901	222,400	2
Białystok	503	spalarnia	901	434,400	1
Białystok	503	spalarnia	901	450,900	2
Suwałki	711	składowisko	903	14,040	1
Suwałki	711	składowisko	903	14,880	2
Łomża	712	składowisko	903	21,040	1
Łomża	712	składowisko	903	22,240	2
Białystok	713	składowisko	903	43,440	1
Białystok	713	składowisko	903	45,090	2

Etap II studium optymalizacyjnego obejmował badanie wpływu wybra-  
nych parametrów wejściowych na koszt funkcjonowania systemu gospodarki  
odpadami medycznymi oraz stabilność uzyskanego optymalnego rozwiązania  
wyrażonego jako koszt funkcjonowania systemu (wartość funkcji celu) obejmu-  
jący wszystkie koszty, jak również uzyskany wskaźnik ekonomicznej efektyw-  
ności E.

W przebiegach 2–12 – badano wpływ zmiany jednostkowego kosztu  
transportu odpadów medycznych w przedziale zmienności od 2 do 100% w I i II  
okresie modelowym.

Należy stwierdzić, iż pomimo 100% wzrostu jednostkowego kosztu  
transportu odpadów z poziomu 1,33 zł/t/min do 2,66 zł/t/min, następuje znikomym  
wzrost jednostkowego kosztu unieszkodliwienia odpadów z 1597,6 zł/t do 1599  
zł/t (przebieg 12), ze względu na małą ilość transportowanych odpadów z po-  
szczególnych źródeł powstawania odpadów w I i II okresie modelowym.

Wzrost jednostkowego kosztu transportu odpadów powoduje wzrost  
wskaźnika ekonomicznej efektywności E, a tym samym zwiększa koszt systemu,  
jednakże nieznacznie. Na rysunku 2 przedstawiono wartość uzyskanego wskaź-  
nika ekonomicznej efektywności E dla przebiegów 1–12.



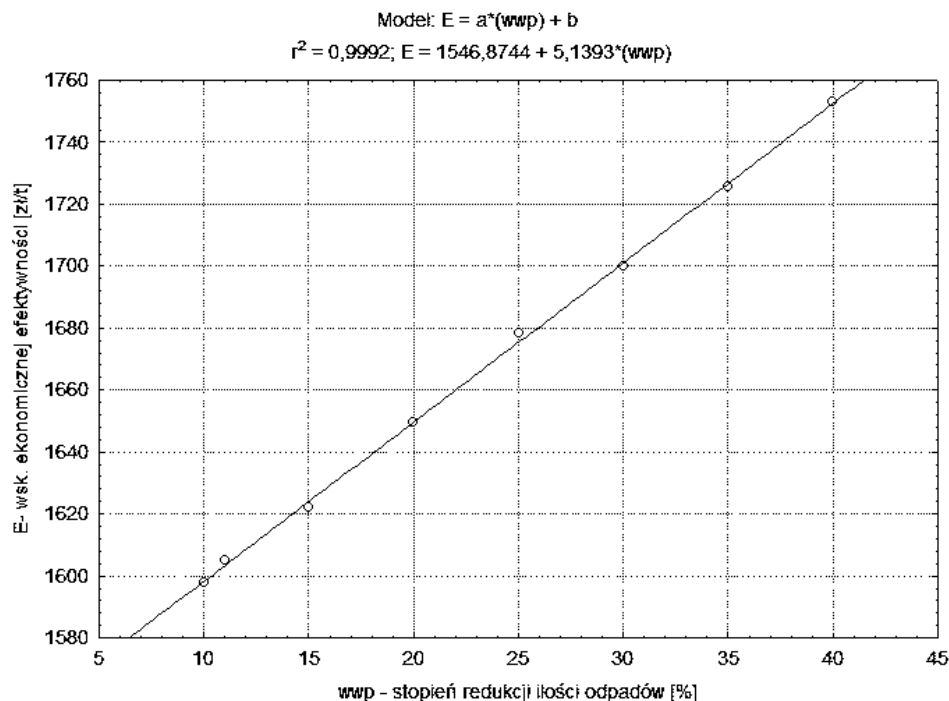
**Rysunek 2.** Zależność wskaźnika ekonomicznej efektywności E od jednostkowego kosztu transportu odpadów medycznych

**Figure 2.** Relationship between E and units transportation costs of medical waste

W przebiegach 13–19 – badano wpływ na uzyskanie optymalnego rozwiązania w wyniku zmiany parametru opisującego stopień redukcji ilości odpadów medycznych w procesie termicznego przekształcania odpadów, wyrażonego w postaci współczynnika wyjściowego procesu (wvp [%]) w przedziale zmienności od 11 do 40%.

Założona dla przebiegów 13–19 zmiana parametru opisującego stopień redukcji ilości odpadów medycznych w procesie termicznego przekształcania odpadów spowodowała wzrost kosztu funkcjonowania systemu, a tym samym nastąpił wzrost wskaźnika ekonomicznej efektywności E o ok. 10% (z 1597,6 zł/t do 1750,9 zł/t).

Na rysunku 3 przedstawiono wartość uzyskanego wskaźnika ekonomicznej efektywności E dla przebiegów 13–19 w zależności od stopnia redukcji ilości odpadów medycznych w procesie termicznego przekształcania odpadów. Zależność ta jest wprost proporcjonalna, tzn. wzrostowi ilości odpadów po procesie spalania odpowiada wzrost wskaźnika ekonomicznej efektywności E.



**Rysunek 3.** Zależność wskaźnika ekonomicznej efektywności E od stopnia redukcji ilości odpadów medycznych w procesie termicznego przekształcania odpadów  
**Figure 3.** Relationship between E and percentage of waste quantity reduction from the burning process

W przebiegach 20 i 21 przy założonych współczynniku wyjściowym  $wpp = 15\%$  oraz 50–100% wzroście jednostkowego kosztu transportu odpadów medycznych w I i II okresie modelowym (z 2,00 zł/t/min do 2,66 zł/t/min) – następowała nie tylko zmiana struktury przestrzennej systemu, ale także zmiana ilości transportowanych odpadów w I i II okresie modelowym. W tym wariancie uzyskano nieznaczny wzrost (o 1,5%) wartości wskaźnika ekonomicznej efektywności E.

### PODSUMOWANIE I WNIOSKI

W wyniku przeprowadzonych obliczeń optymalizacyjnych dla poszczególnych przebiegów 2–21 w zależności od przyjętych wartości zmiennych parametrów wejściowych, w porównaniu z przebiegiem 1. obliczonym dla założonych w koncepcji parametrów techniczno-ekonomicznych systemu gospodarki

odpadami medycznymi modelowego regionu sformułowano następujące wnioski:

1. Wzrost jednostkowego kosztu transportu odpadów z poziomu 1,33 zł/t/min do 2,66 zł/t/min nie powoduje zmiany struktury układu lokalizacji obiektów systemu oraz sieci działalności transportowych, ze względu na małą ilość transportowanych odpadów z poszczególnych źródeł powstawania odpadów zarówno w I, jak i II okresie modelowym. Wzrost jednostkowego kosztu transportu odpadów o 100% powoduje nieznaczny wzrost wskaźnika ekonomicznej efektywności E. Można zatem stwierdzić, iż uzyskany wariant wykazuje stabilność rozwiązania na zmianę jednostkowego kosztu transportu odpadów.

2. Struktura systemu gospodarki odpadami medycznymi, tj. układ lokalizacji obiektów oraz związana z nim sieć działalności transportowych determinowana jest w głównej mierze przez współczynnik wyjściowy procesu (wwp [%]) określający stopień redukcji ilości odpadów medycznych w procesie termicznego przekształcania odpadów.

3. Wzrostowi tego współczynnika odpowiada wzrost ilości odpadów poprocesowych kierowanych na składowisko. Dalszą konsekwencją jest wzrost wskaźnika ekonomicznej efektywności E:

$$E(wwp) = 1546,8744 + 5,1393*(wwp) \text{ [zł/t]} \quad (1)$$

Przy założonych ograniczeniach terenu w obiektach końcowych koniecznością staje się uzyskanie jak najmniejszego współczynnika wyjściowego procesu (wwp [%]) poprzez wybór odpowiedniej instalacji (technologii) termicznego unieszkodliwiania odpadów medycznych pod względem technicznym, eksploatacyjnym oraz inwestycyjnym z zachowaniem wymogów ochrony środowiska.

## BIBLIOGRAFIA

- Biedugnis S., Cholewiński J. *Program do wyboru optymalnego wariantu gospodarki odpadami w skali regionu*. Biuletyn IGPIK nr 10, Warszawa 1987.
- Biedugnis S., Cholewiński J. *Optymalizacja gospodarki odpadami*. Wyd. Naukowe PWN, Warszawa 1992.
- Biedugnis S., Podwójci P. *Modele optymalizacyjne w analizie i projektowaniu systemów wywozu i unieszkodliwiania odpadów w skali mikro- i makroregionalnej*. Mat. V Seminarium Instytutu ZWiBW Politechniki Warszawskiej, Warszawa 1998.
- Biedugnis S., Podwójci P. *Model matematyczny systemów wywozu i unieszkodliwiania odpadów komunalnych w dobie globalnych sieci informacyjnych*. Mat.VI Seminarium Instytutu ZWiBW Politechniki Warszawskiej, Warszawa 1999.
- Biedugnis S., Podwójci P. *Model optymalizacyjny systemu wywozu i unieszkodliwiania odpadów komunalnych w ujęciu dynamicznym*. Mat. V Ogólnopolskiej Konferencji „Kompleksowe i szczegółowe problemy inżynierii środowiska”, Ustronie Morskie-Kołobrzeg 2001.



- Biedugnis S., Podwójci P., Smolarkiewicz M. *Regional optimizing Model for Systems of Municipal Waste Disposal and Utilization Model for Systems of Municipal Waste Disposal and Utilization in dynamic Contest*. Mat. XXII Międzynarodowego Sympozjum im. Bolesława Krzysztofika AQUA'2001, Płock 2001.
- Biedugnis S., Podwójci P., Smolarkiewicz M. *Optymalizacja gospodarką odpadami komunalnymi w skali mikro i makroregionalnej*. Wyd. Instytut Podstawowych Problemów Techniki PAN, Warszawa 2003.

*Artykuł powstał w ramach realizacji pracy S/WBiŚ/22/08 finansowanej przez KBN*

Dr inż. Maria Walery  
Politechnika Białostocka  
Katedra Systemów Inżynierii Środowiska  
ul. Wiejska 45A  
15-351 Białystok  
e-mail: m.walery@pb.edu.pl

Recenzent: *Prof. dr hab. Andrzej Woźniak*