



System planowania gospodarki odpadami medycznymi w kontekście czasu trwania badań modelowych

Maria Walery
Politechnika Białostocka

1. Wstęp

Gospodarowanie odpadami medycznymi z uwagi na ich zagrożenia epidemiologiczne, toksykologiczne i sanitarne jest istotnym elementem polityki ekologicznej kraju. Gospodarka odpadami medycznymi stanowi jeden z najbardziej zaniedbanych segmentów ochrony środowiska ze względu na stale rosnącą ilość wytwarzanych odpadów medycznych, także rosnące koszty ich transportu i unieszkodliwienia oraz trudną sytuację finansową publicznej służby zdrowia. Nadzór nad sposobami postępowania z odpadami medycznymi z punktu epidemiologicznego bezpieczeństwa środowiska jest ważnym elementem w profilaktyce zakażeń i wymaga opracowania skutecznego funkcjonowania systemu [1, 6–11, 21, 24, 25]. Istotnym wydaje się kwestia poszukiwania działań zmierzających do minimalizacji ilości powstających odpadów, wykorzystania lub unieszkodliwiania odpadów medycznych zgodnie z obowiązującymi uwarunkowaniami prawno-ekonomicznymi. Działań polegających głównie na kompleksowym objęciu źródeł ich powstawania, właściwych sposobów segregacji i gromadzenia, kontroli transportu, kontroli technik i technologii unieszkodliwiania odpadów oraz ograniczania kosztów związanych z wywozem i unieszkodliwianiem odpadów [12–18, 22, 23, 26].

Rzeczywiste systemy gospodarki odpadami medycznymi są układami dynamicznymi [2–5, 8, 10, 11, 19, 20, 23], charakteryzującymi się

zmianami zespołu danych, tj. parametrów systemu w czasie, z uwzględnieniem m.in. czynników środowiskowych, ekonomicznych i społecznych.

Szczegółowa analiza struktury systemu gospodarki odpadami medycznymi pozwala wydzielić elementarne procesy składowe związane z zagadnieniami pozyskiwania, gromadzenia, transportu oraz unieszkodliwiania odpadów.

W ogólnym systemie gospodarki odpadami medycznymi należy wyróżnić procesy składowe oraz zespoły obiektów [10, 11, 23].

Procesy składowe obejmują:

- pozyskiwanie, gromadzenie odpadów medycznych, włączając w to systemy zabezpieczenia i identyfikacji odpadów,
- system transportu odpadów medycznych (wewnątrz i zewnątrz obiektu z uwzględnieniem sieci dróg oraz środków transportu),
- przetwarzanie i unieszkodliwianie odpadów medycznych (rozdrabnianie, sanitacja chemiczna, sanitacja termiczna oraz sanitacja chemiczno-termiczna, uwęglanie i spopielanie odpadów, składowanie substancji poprocesowych).

Modele obiektów w systemie gospodarki odpadami medycznymi identyfikowane są jako:

- obiekty służby zdrowia (szpitale, sanatoria, przychodnie rejonowe, przychodnie specjalistyczne, gabinety prywatne, ośrodki rehabilitacyjne, apteki),
- obiekty związane z gromadzeniem odpadów,
- obiekty reprezentujące transport odpadów (sieci dróg oraz środki transportu),
- obiekty przetwarzania i unieszkodliwiania odpadów medycznych (urządzenia, instalacje do sanitacji i spopielania odpadów, składowiska).

W obszarze modelowania rozwiązań systemowej gospodarki odpadami medycznymi jak również optymalizacji procesów jednostkowych istotne jest uwzględnienie wzajemnego powiązania wszystkich elementów systemu (obiektów i procesów składowych) oraz zachodzących procesów i korelacji między nimi.

Wiele problemów decyzyjnych powstających w systemie gospodarki odpadami medycznymi można odwzorować za pomocą odpowied-

niego modelu decyzyjnego [2–5, 7, 10, 11, 19, 20, 23] i w konsekwencji rozwiązać go poprzez badania operacyjne.

Procedura systemowego rozwiązywania problemu decyzyjnego polega na podzieleniu go na wzajemnie powiązane ze sobą etapy oraz podporządkowaniu ich jasno zdefiniowanym na początku kryteriom oceny. Warunkiem usprawnienia procesu decyzyjnego jest przeprowadzenie analizy i obiektywnej oceny podejmowanych decyzji.

Sprowadza się ona do następujących etapów [2–5, 7, 10, 11, 19, 20, 23]:

- sformułowania problemu decyzyjnego,
- zaprojektowania systemu wartościowania (kryteria ekonomiczne, techniczne, społeczne),
- budowy modelu matematycznego sytuacji decyzyjnej,
- wyboru lub opracowania odpowiedniego algorytmu wyznaczania rozwiązania optymalnego lub przybliżonego problemu optymalizacyjnego,
- analizy wariantów i decyzji wyboru rozwiązania,
- pozyskania i przetworzenia informacji niezbędnej do ustalenia – oszacowania wartości parametrów problemu decyzyjnego,
- implementacji i przetestowania algorytmu oraz rozwiązania zadania optymalizacyjnego dla danych rzeczywistych,
- analizy wrażliwości rozwiązania zadania optymalizacyjnego,
- weryfikacji modelu poprzez ocenę uzyskanych wyników w świetle przyjętych kryteriów,
- decyzji o wdrożeniu rozwiązania.

O końcowym efekcie wdrożenia rozwiązania decyduje gotowość decydenta do zrationalizowania swoich działań i przeprowadzenia niekiedy trudnych zmian organizacyjnych.

W niniejszej pracy zaprezentowano model optymalizacyjny systemu wywozu i unieszkodliwiania odpadów medycznych w wersji dynamicznej.

Celem pracy jest analiza wpływu parametru opisującego zmianę czasu trwania badań modelowych na wartość wskaźnika ekonomicznej efektywności (E). Badania optymalizacyjne przeprowadzono na przykła-

dzie analizy systemu gospodarowania odpadami medycznymi w województwie podlaskim.

2. Obszar i metodyka badań

W niniejszej pracy wykorzystano model optymalizacyjny systemu wywozu i unieszkodliwiania odpadów komunalnych [2–5, 19, 23], jak również program komputerowy MRGO+ (Model Regionalnej Gospodarki Odpadami), będący jego implementacją. Model został przez Autorkę zweryfikowany i zaadaptowany na potrzeby proponowanego modelu optymalizacji systemu wywozu i unieszkodliwiania odpadów medycznych.

W niniejszej pracy przedstawiono model optymalizacyjny systemu wywozu i unieszkodliwiania odpadów medycznych w wersji dynamicznej.

Ogólne założenia modelu matematycznego odnoszą się do określenia:

- zbioru źródłowych obszarów gromadzenia odpadów I , przy czym każdemu obszarowi odpowiada określona powierzchnia terenu A_i ($i \in I$), na której znajduje się zbiór Z źródeł powstawania odpadów. Każdy i -ty źródłowy obszar gromadzenia ($i \in I$) reprezentowany jest przez i -ty źródłowy punkt gromadzenia odpadów, leżący w środku ciężkości pola o powierzchni A_i o współrzędnych długości i szerokości geograficznej,
- zbioru możliwych lokalizacji obiektów systemu W , przy czym każdej lokalizacji odpowiada określona niezbędna powierzchnia terenu A_w ($w \in W$), każda w -ta lokalizacja obiektu reprezentowana jest przez punkt leżący w środku ciężkości powierzchni terenu A_w o współrzędnych wyznaczonych, tak jak dla źródłowych obszarów gromadzenia odpadów,
- zbioru P , stosowanych lub możliwych do zastosowania w określonym czasie wstępnych i końcowych procesów unieszkodliwiania odpadów,
- zbioru J , obiektów pośrednich, w których występują samodzielne lub skojarzone w ciąg technologiczny wstępne i wtórne procesy unieszkodliwiania odpadów,

- zbioru K, końcowych obiektów, w których występują procesy finalnego unieszkodliwiania odpadów lub pozostałości ze wstępnych lub wtórnych procesów przeróbki odpadów w obiektach pośrednich,
- zbioru T, tras wywozu odpadów ze źródłowych obszarów gromadzenia do obiektów oraz przewóz odpadów pomiędzy obiektami systemu.

Przy ustalonych założeniach ogólnych modelu przyjmuje się następujące szczegółowe założenia techniczne:

- nagromadzenie odpadów w poszczególnych i -tych źródłowych obszarach gromadzenia dla określonego czasu lub horyzontu planowania t jest wielkością znaną, równą masie odpadów ze wszystkich źródeł powstawania odpadów występujących na terenie A_i ;

$$G_t = \sum_{(A)_z} q_{z,t} \quad (1)$$

- każdy obiekt pośredni lub końcowy z procesem występującym samodzielnie lub z procesami skojarzonymi w ciąg technologiczny, oprócz finalnego składowania, ma określoną maksymalną przepustowość Q_{max} , wyrażoną w jednostce (t/rok),
- każdy obiekt z procesem finalnym, jakim jest deponowanie odpadów na składowisku, posiada określoną powierzchnię terenu, wyrażoną w jednostce (ha-m),
- każdy obiekt lub zbiór obiektów zlokalizowanych wspólnie ma przypisaną maksymalną liczbę pojazdów samochodowych dowożących lub wywożących odpady. Występuje niezależnie od ograniczenia maksymalnej przepustowości obiektu bądź powierzchni terenu w przypadku składowiska,
- czas przejazdu pomiędzy źródłowymi punktami gromadzenia i występującymi w systemie obiektami oraz pomiędzy tymi obiektami, określany jest na podstawie badań terenowych wykonanych na każdej trasie;
- horyzont planowania t w ujęciu dynamicznym zostaje podzielony na n okresów modelowych, założoną liczbą lat m_j dla każdego j -tego okresu, stąd liczba lat dla horyzontu planowania wynosi:

$$t = \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^{m_j} t_{ji} \quad (2)$$

- eksploatacja każdego obiektu rozpatrywana w ujęciu dynamicznym dopuszcza wybudowanie obiektu o przepustowości przekraczającej potrzeby w momencie podjęcia eksploatacji, pod warunkiem pełnego jej wykorzystania w następnych okresach modelowych, oraz uzyskania najmniejszego kosztu funkcjonowania wariantu rozwiązania systemu. Dodatkowym warunkiem dopuszczenia do wybudowania obiektu, którego przepustowość nie będzie wykorzystana w okresie podjęcia eksploatacji jest zapewnienie, że w żadnym z następnych okresów faktyczna przepustowość tego obiektu nie obniży się w stosunku, do której podjęto eksploatację.

Do badań optymalizacyjnych przyjęto modelowy region, tj. obszar województwa podlaskiego. Dane wejściowe niezbędne do opisu proponowanych wariantów systemu gospodarki odpadami medycznymi zostały zebrane i opracowane w ramach przeprowadzonych badań analityczno-faktograficznych. Przeprowadzone studium optymalizacyjne [23] 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 – szpitale, cztery obiekty pośrednie – spalarnie odpadów medycznych odpowiednio OP1 (Suwałki), OP2 (Łomża), OP3 (Białystok) i OP4 (Hajnówka) oraz cztery obiekty końcowe (odpowiednio OK1, OK2, OK3 i OK4) - zlokalizowane na terenie spalarni odpadów medycznych – składowiska do czasowego przetrzymywania odpadów poprocesowych z procesu termicznego przekształcania odpadów. W procesie tym powstają żużel i popioły, które muszą być deponowane na składowiskach odpadów niebezpiecznych, zgodnie z obowiązującymi przepisami, a takich składowisk na obszarze woj. podlaskiego brak, wobec czego najczęściej są utwardzane w kompozytach cementowych i składowane w postaci bloczków na wydzielonym miejscu na terenie spalarni nie dłużej niż przez 3 lata.

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 porównywane otrzymane rozwiązania.

Etap II – obejmował szereg dodatkowych przebiegów mających na celu ustalenie wpływu wybranych parametrów wejściowych modelu na koszt funkcjonowania systemu wyrażony wskaźnikiem ekonomicznej efektywności (E) oraz strukturę przestrzenną systemu (układ lokalizacji obiektów i związanych z nimi tras wywozu odpadów).

Dane wejściowe, które były brane pod uwagę to:

- 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 badań modelowych).

Obliczenie wskaźnika ekonomicznej efektywności dokonano metodą przedstawioną w pracach Biedugniśa i Cholewińskiego [2, 3] uwzględniając w modelu dynamicznym inflację i dyskontowanie rocznych nakładów kapitałowych i kosztów bieżących w poszczególnych okresach modelowych, gdzie:

- nakłady kapitałowe przedstawiają wartość rocznej raty umorzeniowej z uwzględnieniem dyskontowania i inflacji, wyrażonej w postaci części stałej nakładów kapitałowych F_N i części zmiennej S_N dla danego okresu modelowego,
- koszty bieżące przedstawiają wartość rocznych kosztów eksploatacji (bez amortyzacji środków trwałych) z uwzględnieniem dyskontowania i inflacji, wyrażonej w postaci części stałej kosztów bieżących F_E i części zmiennej S_E dla danego okresu modelowego.

Natomiast obliczenie kosztu jednostkowego transportu odpadów przeprowadzono metodą zaprezentowaną w pracach Biedugnisa i Cholewińskiego [2, 3] przy uwzględnieniu cen i opłat bieżących. Koszt jednostkowy wywozu odpadów medycznych dla przyjętych warunków technicznych i eksploatacyjnych wynosi $K_{ij} = 9,57$ zł, a po przeliczeniu na jednostkę wyrażającą koszt przewozu 1 tony w ciągu 1 minuty $K_{ij(k)} = 1,33$ zł/t/min.

3. Wyniki badań i dyskusja

Zakres obliczeń optymalizacyjnych został zrealizowany w następujących etapach:

Etap I – przebieg 1 – przebieg jak w koncepcji z uwzględnieniem następujących parametrów: czas trwania badań modelowych odpowiednio $t_1 = 5$ i $t_2 = 15$ lat, jednostkowy koszt transportu odpadów medycznych w I i II okresie badań modelowych odpowiednio: 1,33 oraz 0,44 zł/t/min, wielkość redukcji odpadów medycznych w obiektach pośrednich systemu wyrażona w postaci współczynnika wyjściowego procesu $wwp = 10\%$.

Etap II – w przebiegach 2–12 – badano wpływ zmiany parametru opisującego zmianę czasu trwania I i II okresu badań modelowych na uzyskanie optymalnego rozwiązania.

W wyniku przeprowadzonych obliczeń optymalizacyjnych dla przebiegu 1 (Etap I) z założonych wstępnie na modelowym obszarze 26 obiektów systemu (18 – źródeł powstawania odpadów medycznych, 4 – spalarnie, 4 – składowiska 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. Układ lokalizacji obiektów, ilości transportowanych odpadów i związanych z nimi tras wywozu odpadów przedstawiono na rys. 1.

Dla przebiegu 1 w tabeli 1 przedstawiono poziomy działalności przerobczych w obiektach pośrednich i końcowych w poszczególnych okresach badań modelowych.

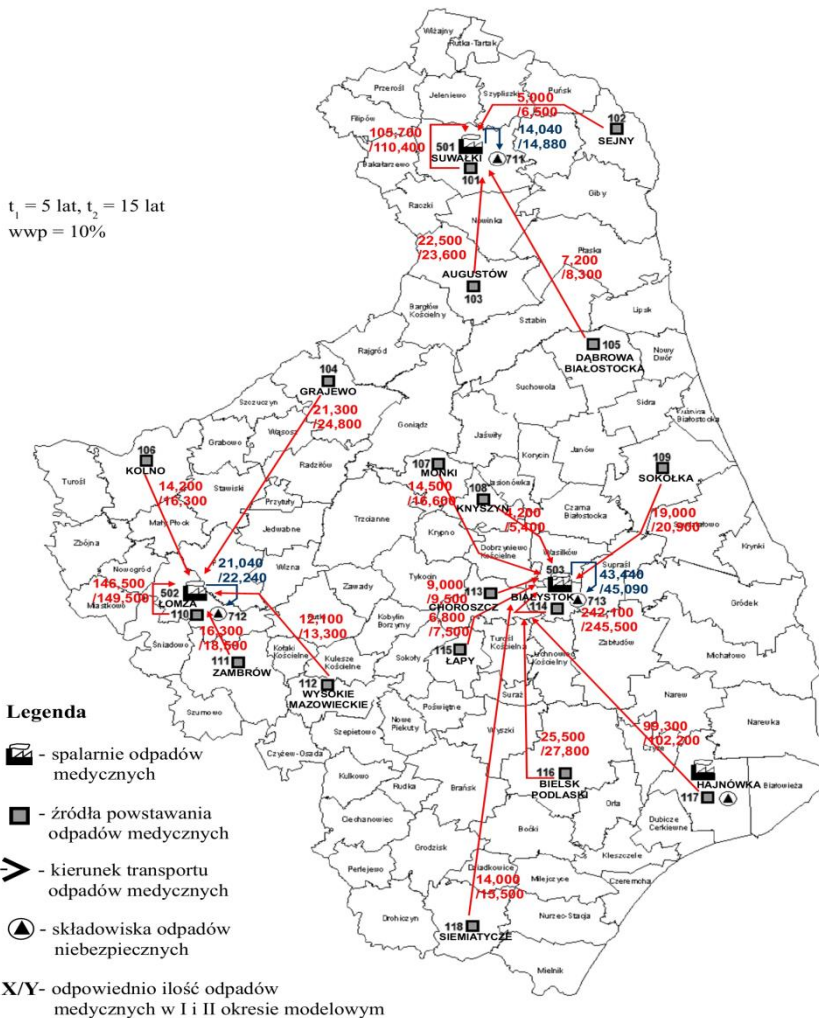
Tabela 1. Poziomy działalności przeróbczych w obiektach pośrednich i końcowych w poszczególnych okresach modelowych dla przebiegu 1 na obszarze modelowego regionu [t/rok]

Table 1. Levels of processing activities of intermediate and final objects during individual modelling periods for route option 1 in the area of model region [tons/year]

Obiekty systemu	Nazwa procesu	Poziomy działalności przeróbczych [t/rok]	Czas trwania badań modelowych I = 5 lat, II = 15 lat
OP1	piroliza	140,400	I
OP1	piroliza	148,800	II
OP2	piroliza	210,400	I
OP2	piroliza	222,400	II
OP3	piroliza	434,400	I
OP3	piroliza	450,900	II
OK1	składowanie	14,040	I
OK1	składowanie	14,880	II
OK2	składowanie	21,040	I
OK2	składowanie	22,240	II
OK3	składowanie	43,440	I
OK3	składowanie	45,090	II

W kolejnym etapie, tj. przebiegach 2–12 badano, jaki wpływ ma zmiana czasu trwania I i II okresu badań modelowych na koszt funkcjonowania systemu, tj. wskaźnik ekonomicznej efektywności E. Zmianie parametru wejściowego systemu nie towarzyszyły żadne zmiany dotyczące ograniczeń dostępności terenu w obiektach końcowych. Uzyskana wartość wskaźnika ekonomicznej efektywności E wahała się w przedziale od 1586,50 zł/t do 1630,90 zł/t.

W przebiegach 2–4 (tabela 2) przy zmianie czasu trwania I i II okresu badań modelowych, tj. $t_1 = 1-3$ lat i $t_2 = 19-17$ lat, nastąpiły zmiany dotyczące struktury przestrzennej systemu, a tym samym również zmiany dotyczące ilości transportowanych odpadów po określonych trasach przewozu oraz zmiany poziomów działalności przeróbczych w przypadku spalarni i składowisk odpadów w Suwałkach i Łomży.



Rys. 1. Układ lokalizacji obiektów systemu gospodarki odpadami medycznymi oraz tras transportu odpadów na obszarze modelowego regionu – przebieg 1
Fig. 1. Localization of facilities in medical waste management system and transportation routes in the model region – route option 1

Dla przebiegów 2–4, uzyskana w wyniku obliczeń wartość wskaźnika ekonomicznej efektywności E przy założonej zmianie czasu trwania I i II okresu modelowego zawierała się w przedziale od 1586,50 zł/t do 1592,70 zł/t (spadek E o 3% w stosunku do przebiegu 1).

Tabela 2. Poziomy działalności przeróbczych w obiektach pośrednich i końcowych w poszczególnych okresach modelowych dla przebiegów 2–4 na obszarze modelowego regionu [t/rok]

Table 2. Levels of processing activities of intermediate and final objects during individual modelling periods for route options 2–4 in the area of model region [tons/year]

Obiekty systemu	Nazwa procesu	Poziomy działalności przeróbczych [t/rok]	Czas trwania badań modelowych I = 5 lat, II = 15 lat
OP1	piroliza	148,800	I
OP1	piroliza	148,800	II
OP2	piroliza	202,000	I
OP2	piroliza	222,400	II
OP3	piroliza	434,400	I
OP3	piroliza	450,900	II
OK1	składowanie	14,880	I
OK1	składowanie	14,880	II
OK2	składowanie	20,200	I
OK2	składowanie	22,240	II
OK3	składowanie	43,440	I
OK3	składowanie	45,090	II

W kolejnych przebiegach 5–10, przy zmianie czasu trwania I i II okresu badań modelowych, tj. $t_1 = 4\text{--}10$ lat i $t_2 = 16\text{--}10$ lat, nie następowała ani zmiana struktury przestrzennej systemu, ani też zmiany dotyczące ilości transportowanych odpadów po określonych trasach przewozu odpadów, w związku z czym poziomy działalności przeróbczych w poszczególnych obiektach systemu też pozostawały bez zmian w porównaniu z przebiegiem 1.

Nastąpił wzrost wartości wskaźnika ekonomicznej efektywności E przy założonej zmianie czasu trwania I i II okresu modelowego z 1593,70 zł/t do 1614,70 zł/t (wzrost E o ok. 1% w stosunku do przebiegu 1).

W przebiegu 11 (tabela 3) przy zmianie czasu trwania I i II okresu badań modelowych, tj. $t_1 = 12$ lat i $t_2 = 8$ lat, nie następowała zmiana struktury przestrzennej systemu, natomiast zmianie uległa ilość transportowanych odpadów w przypadku Sokółki w I i II okresie modelowym,

w związku z czym poziomy działalności przeróbczych dla spalarni i składowiska w Białymstoku uległy zmianie w porównaniu z przebiegiem 1.

Przy założonej zmianie czasu trwania I i II okresu badań modelowych odpowiednio: $t_1 = 12$ lat i $t_2 = 8$ lat, nastąpił nieznaczny wzrost (o 1%) wskaźnika ekonomicznej efektywności E z 1597,60 zł/t do 1599,50 zł/t (przebieg 11).

Tabela 3. Poziomy działalności przeróbczych w obiektach pośrednich i końcowych w poszczególnych okresach modelowych dla przebiegu 11 na obszarze modelowego regionu [t/rok]

Table 3. Levels of processing activities of intermediate and final objects during individual modelling periods for route option 11 in the area of model region [tons/year]

Obiekty systemu	Nazwa procesu	Poziomy działalności przeróbczych [t/rok]	Czas trwania badań modelowych I = 5 lat, II = 15 lat
OP1	piroliza	140,400	I
OP1	piroliza	148,800	II
OP2	piroliza	210,400	I
OP2	piroliza	222,400	II
OP3	piroliza	454,400	I
OP3	piroliza	450,899	II
OK1	składowanie	14,040	I
OK1	składowanie	14,880	II
OK2	składowanie	21,040	I
OK2	składowanie	22,240	II
OK3	składowanie	45,440	I
OK3	składowanie	45,090	II

W przebiegu 12 (tabela 4) przy zmianie czasu trwania I i II okresu badań modelowych, tj. $t_1 = 15$ lat i $t_2 = 5$ lat, następowała zmiana struktury przestrzennej systemu, bez zmiany ilości transportowanych odpadów w I i II okresie modelowym w stosunku do przebiegu 1. W związku z czym zmiane uległy poziomy działalności przeróbczych w obiektach końcowych w Suwałkach i Białymstoku.

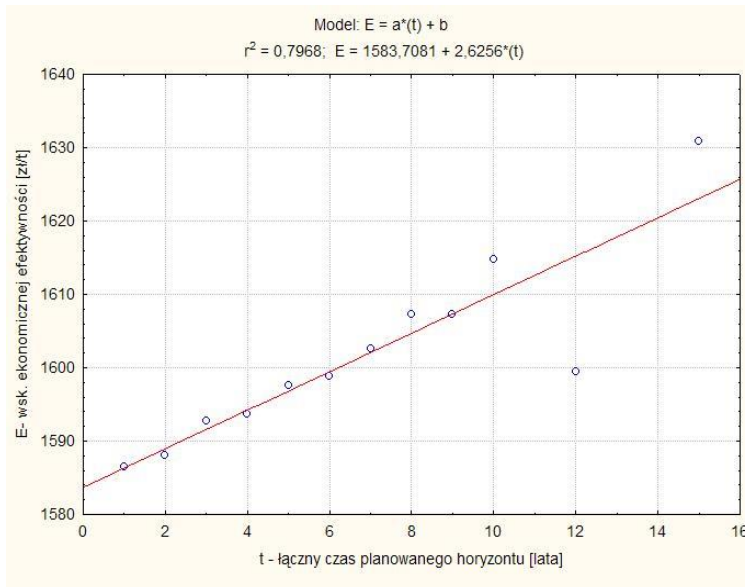
Nastąpił wzrost wartości wskaźnika ekonomicznej efektywności E o ok. 2%, tj. z 1597,60 zł/t do 1630,90 zł/t przy założonej zmianie czasu trwania I i II okresu modelowego $t_1 = 15$ lat i $t_2 = 5$ lat (w stosunku do przebiegu 1).

Tabela 4. Poziomy działalności przeróbczych w obiektach pośrednich i końcowych w poszczególnych okresach modelowych dla przebiegu 12 na obszarze modelowego regionu [t/rok]

Table 4. Levels of processing activities of intermediate and final objects during individual modelling periods for route option 12 in the area of model region [tons/year]

Obiekty systemu	Nazwa procesu	Poziomy działalności przeróbczych [t/rok]	Czas trwania badań modelowych I = 5 lat, II = 15 lat
OP1	piroliza	133,200	I
OP1	piroliza	148,800	II
OP2	piroliza	210,400	I
OP2	piroliza	222,400	II
OP3	piroliza	441,600	I
OP3	piroliza	450,900	II
OK1	składowanie	13,320	I
OK1	składowanie	14,880	II
OK2	składowanie	21,040	I
OK2	składowanie	22,240	II
OK3	składowanie	44,160	I
OK3	składowanie	45,090	II

Na rys. 2 przedstawiono wartość uzyskanego wskaźnika ekonomicznej efektywności E dla przebiegów 2–12 w zależności od czasu trwania I okresu badań modelowych (na wykresie przedstawiono łączny czas planowanego horyzontu t).



Rys. 2. Zależność wskaźnika ekonomicznej efektywności E od założonego czasu trwania I okresu badań modelowych

Fig. 2. Dependence of economic efficiency index (E) on the assumed duration of the study period model

4. Podsumowanie

Przedstawiony w artykule model optymalizacji systemu wywozu i unieszkodliwiania odpadów medycznych w wersji dynamicznej umożliwia wybór optymalnego rozwiązania systemu gospodarki odpadami medycznymi przy minimalizacji ponoszonych kosztów eksploatacyjnych oraz nakładów inwestycyjnych i jednoczesnym spełnieniu wymagań środowiskowych. Model pozwala na ujawnienie struktury systemu, tj. poszukiwanie najkorzystniejszych relacji między lokalizacją stosowanych obiektów i związaną z nimi siecią tras dowozu odpadów z obszarów gromadzenia do obiektów ostatecznego ich przetworzenia i unieszkodliwienia.

System gospodarki odpadami medycznymi jest układem dynamicznym, charakteryzującym się zmianami parametrów systemu w czasie. Uwzględnienie czynnika czasu w zaproponowanym modelu pozwala na rozpatrzenie systemu jako przedsięwzięcia inwestycyjnego realizowanego od podstaw lub przedsięwzięcia obejmującego modernizację istnie-

jących obiektów wraz z optymalizacją procesów składowych czy zastosowaniem nowych technologii dających rozwiązanie o najniższym koszcie całkowitym systemu.

Na podstawie przeprowadzonych badań optymalizacyjnych na przykładzie analizy systemu gospodarowania odpadami medycznymi w województwie podlaskim, których celem była analiza wpływu parametru opisującego zmianę czasu trwania badań modelowych na wartość wskaźnika ekonomicznej efektywności (E), uzyskano następujące wnioski końcowe:

- wydłużenie czasu trwania I okresu modelowego powoduje wzrost wskaźnika efektywności ekonomicznej E w związku z koniecznością zwiększania przepustowości kapitałochłonnych obiektów pośrednich, jakimi są spalarnie odpadów medycznych,
- zależność wskaźnika ekonomicznej efektywności E od parametru t, tj. czasu trwania badań modelowych można opisać następującym wzorem:

$$E = 1583,7081 + 2,6256*(t) \text{ [zł/t]} \quad (3)$$

Zaproponowany model organizacji procesu planowania i zarządzania systemem wywozu i unieszkodliwiania odpadów medycznych może być stosowany w projektowaniu zintegrowanych systemów gospodarowania odpadami medycznymi z zastosowaniem rachunku ekonomicznego i środowiskowego.

*Artykuł powstał w ramach realizacji pracy
S/WBiIS/2/2011 finansowanej przez MNiSW.*

Literatura

1. **Askarian M., Heidarpoor P., Assadian O.:** A total quality management approach to healthcare waste management in Namazi Hospital, Iran. *Waste Management*, 30, 2321–2326 (2010).
2. **Biedugnis S., Cholewiński J.:** *Program do wyboru optymalnego wariantu gospodarki odpadami w skali regionu*. Biuletyn IGPIK nr 10, Warszawa, 34–39 (1987).
3. **Biedugnis S., Cholewiński J.:** *Optymalizacja gospodarki odpadami*. Wyd. Naukowe PWN, Warszawa, 340 (1992).

4. **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, 34–39 (2001).
5. **Biedugnis S., Podwójci P., Smolarkiewicz M.:** *Optymalizacja gospodarką odpadami komunalnymi w skali mikro i makroregionalnej.* Wyd. Instytut Podstawowych Problemów Techniki PAN, Warszawa, 96 (2003).
6. **Byeong-Kyu Lee, Ellenbecker M.J., Moure-Ersaso R.:** *Alternatives for treatment and disposal cost reduction of regulated medical wastes.* Waste Management, 24, 143–151 (2004).
7. **Chaerul M., Tanaka M., Shekdar A.V.:** *A system dynamics approach for hospital waste management.* Waste Management, 28, 442–449 (2008).
8. **Dąbrowski J., Piecuch T.:** *Matematyczny opis procesu spalania wybranych grup odpadów.* Rocznik Ochrona Środowiska (Annual Set The Environment Protection), 13, 253–268 (2011).
9. **Dąbrowski J., Dąbrowski T., Piecuch T.:** *Laboratoryjne badania nad skutecznością redukcji tlenków azotu metodą selektywnej redukcji katalitycznej.* Rocznik Ochrona Środowiska (Annual Set The Environment Protection), 15, 301–313 (2013).
10. **Gaska K.:** *Analiza systemów gospodarki odpadami medycznymi.* Dysertacja, Politechnika Śląska, Gliwice 2001.
11. **Gaska K.:** *Analiza systemów gospodarki odpadami medycznymi z wykorzystaniem rachunku ekonomicznego.* Paliwa z odpadów t. VI, Wyd. Helion, 2007.
12. **Jakowczyk J., Piecuch T.:** *Koncepcja wykorzystania wysypiska odpadów miasta Słupska w Bierkowie do budowy kompleksowego zakładu utylizacji odpadów.* Rocznik Ochrona Środowiska (Annual Set The Environment Protection), 4, 75–131 (2002).
13. **Piecuch T.:** *Termiczna utylizacja odpadów i ochrona powietrza przed szkodliwymi składnikami spalin.* Wyd. Politechniki Koszalińskiej, 396, Koszalin 1998.
14. **Piecuch T.:** *Utylizacja odpadów przemysłowych.* Wyd. Politechniki Koszalińskiej, 208, Koszalin 2000.
15. **Piecuch T.:** *Termiczna utylizacja odpadów.* Rocznik Ochrona Środowiska (Annual Set The Environment Protection), 2, 11–38 (2000).
16. **Piecuch T.:** *Zarys metod termicznej utylizacji odpadów.* Wyd. Politechniki Koszalińskiej, 396, Koszalin 2006.

17. **Piecuch T., Dąbek L., Juraszka B.:** *Spalanie i piroliza odpadów oraz ochrona powietrza przed szkodliwymi składnikami spalin.* Wyd. Politechniki Koszalińskiej, 529, Koszalin 2002.
18. **Piecuch T., Dąbrowski T., Dąbrowski J., Lubierski M., Juraszka B., Kościerzyńska-Siekan G., Jantos K.:** *Analiza pracy spalarni odpadów Szpitala Wojewódzkiego w Koszalinie – spaliny, ścieki, wtórny odpad.* Rocznik Ochrona Środowiska (Annual Set The Environment Protection), 5, 163–190 (2003).
19. **Podwójci P.:** *Modele optymalizacyjne systemów wywozu i unieszkodliwiania odpadów komunalnych na przykładzie regionu płockiego.* Dysertacja, Politechnika Warszawska, 131, Warszawa 2000.
20. **Sikora W.:** *Badania operacyjne.* Polskie Wydawnictwo Ekonomiczne, 374, Warszawa 2008.
21. **Skoczko I.:** *Przystosowanie polskiego prawa ochrony środowiska w zakresie gospodarki odpadami niebezpiecznymi i przemysłowymi do wymogów Unii Europejskiej.* Rocznik Ochrona Środowiska (Annual Set The Environment Protection), 4, 419–438 (2002).
22. **Szkarowski A., Janta-Lipińska S.:** *Badania energo-ekologicznych wskaźników pracy kotłów przy spalaniu paliwa ze sterowanym resztkowym niedopałem chemicznym.* Rocznik Ochrona Środowiska (Annual Set The Environment Protection), 15, 981–996 (2013).
23. **Walery M., Podwójci P., Biedugnis S.:** *Wpływ wybranych parametrów wejściowych systemu gospodarki odpadami medycznymi na koszt jego funkcjonowania i strukturę.* Rocznik Ochrona Środowiska (Annual Set The Environment Protection), 11, 1329–1340 (2009).
24. **Weiner A.:** *Paliwa sektora energetycznego i odpady chemii organicznej jako paliwo alternatywne a ochrona środowiska w Polsce w świetle przepisów Unii Europejskiej. Część II. Gospodarka paliwami a implementowanie aktów normatywnych Unii Europejskiej.* Rocznik Ochrona Środowiska (Annual Set The Environment Protection), 8, 337–348 (2006).
25. **Woolridge A.C., Phillips P.S., Denman A.R.:** *Developing a methodology for the systematic analysis of radioactive healthcare waste generation in an acute hospital in the UK.* Resources, Conservation and Recycling, 52, 1198–1208 (2008).
26. **Wyřebek H.:** *Zarządzanie gospodarką odpadami medycznymi w Polsce.* Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Przyrodniczo-Humanistycznego w Siedlcach Nr 87, 113–129 (2010).

Medical Waste Management Planning System in the Context of the Model Studies Duration

Abstract

Medical waste is generated in various units of health care: inpatient and outpatient hospitals, rehabilitation sanatoria, nursing care facilities, hospitals, clinics, research and analytical laboratories and pharmaceutical facilities.

Medical wastes belong to a cumbersome and dangerous waste group due to their infectious nature and origin. Incorrect classification, and thus the collection and segregation of medical pose a common problem in our country. The method and the conditions for their disposal are on numerous occasions incorrect.

Medical waste management is a major challenge for healthcare facilities, but also for the companies involved in the logistics systems for the collection, storage, treatment and disposal of medical waste. Actions to improve the functioning of medical waste management system should be implemented in an attempt to minimize the generation of waste, introduce proper segregation, minimize consumption of raw materials and energy, and reduce costs associated with export and disposal. Medical waste management system in the Podlaskie Region requires increased efforts and system solutions, such as technical and organizational measures for the sources of waste generation, collection methods, identification and control of transport processes and waste treatment technology that will ensure disposal while meeting the standards of environmental and health safety.

The analysis of the waste management system solutions as well as the optimization of unit processes and consideration of the mutual relations of all system components, processes and correlation makes it possible to organize and rationalize medical waste on the designated area. This paper presents the possibility of using the optimization model of the export and disposal of medical waste in the dynamic version, which enables designing the most favourable, in terms of economy, management systems for this type of waste.

This paper also describes the optimization study aimed to analyze the impact of the parameter describing the change in the duration of model tests on the value of the indicator of economic efficiency (E). The study was conducted on the example of the analysis of medical waste management system in the Podlaskie Region.

The scope of operational research carried out in the framework of the optimization study was divided into two stages of optimization calculations with the assumed technical and economic parameters of the system. In the first stage the lowest cost of operation of the scheme was generated, while in the second one, the impact of input parameter of the system, i.e. the duration of the first and second period of model tests on the indicator of economic efficiency and spatial structure of the system was established.

Słowa kluczowe: odpady medyczne, badania modelowe, system gospodarki odpadami

Key words: medical waste, model studies, waste management system