

WPŁYW OGRANICZENIA PRZEPUSTOWOŚCI SPALARNI ODPADÓW MEDYCZNYCH NA WSKAŹNIK EFEKTYWNOŚCI KOSZTOWEJ SYSTEMU

Maria Walery¹, Izabela Anna Tałałaj¹, Jacek Leszczyński², Paweł Biedka¹

¹ Katedra Systemów Inżynierii Środowiska, Politechnika Białostocka, ul. Wiejska 45E, 15-351 Białystok, e-mail: m.walery@pb.edu.pl, i.talalaj@pb.edu.pl, p.biedka@pb.edu.pl

² Katedra Technologii w Inżynierii i Ochronie Środowiska, Politechnika Białostocka, ul. Wiejska 45E, 15-351 Białystok, e-mail: j.leszczynski@pb.edu.pl

STRESZCZENIE

W niniejszej pracy wykorzystano model optymalizacyjny systemu wywozu i unieszkodliwiania odpadów komunalnych jak również program komputerowy MRGO+ (Model Regionalnej Gospodarki Odpadami) będący jego implementacją. Został on przez autorkę zweryfikowany i zaadaptowany na potrzeby proponowanego modelu optymalizacji systemu wywozu i unieszkodliwiania odpadów medycznych na przykładzie województwa podlaskiego. W artykule opisano badania optymalizacyjne, których celem była analiza wpływu ograniczenia przepustowości spalarni odpadów medycznych na wartość wskaźnika efektywności kosztowej (E). Badania przeprowadzono na przykładzie analizy systemu gospodarowania odpadami medycznymi w północno-wschodniej Polsce w województwie podlaskim. Wprowadzenie ograniczenia przepustowości 3 obiektów pośrednich oraz brak ograniczenia przepustowości w spalarni w Hajnówce, spowodowało znaczny spadek kosztów funkcjonowania systemu o ok. 17%, a w konsekwencji również znaczny spadek współczynnika efektywności kosztowej E.

Słowa kluczowe: system gospodarki odpadami medycznymi, koszt funkcjonowania systemu, wskaźnik efektywności kosztowej, przepustowość spalarni, struktura przestrzenna systemu,

THE IMPACT OF REDUCING THE CAPACITY INCINERATORS OF MEDICAL WASTE ON THE VALUE OF THE COST-EFFECTIVENESS INDEX

ABSTRACT

The main subject of this paper is the optimization of a model of disposal and treatment of municipal waste as well as computer software MRGO+ (Model for Regional Waste Management), through which the model was implemented. It has been verified by the author and adapted to the needs of the proposed model to optimize the disposal and treatment of medical waste in the example of the Podlaskie Province. This paper describes the optimization study aimed to analysis of the impact of reducing the capacity incinerators of medical waste on the value of the cost-effectiveness index (E). The study was conducted on the example of the analysis of medical waste management system in north-eastern Poland, in the Podlaskie Province. Introduction of bandwidth limitations 3 intermediate objects and lack of bandwidth limitations in an incineration plant in Hajnówka, resulted in a significant decrease in system costs by approx. 17%, and consequently also a significant decrease in the cost-effectiveness index E.

Keywords: medical waste management system, system functioning costs, cost-effectiveness index, capacity of incinerators, spatial structure of the system.

WSTĘP

Zgodnie z art. 3 ust. 1 pkt 8 ustawy o odpadach [Ustawa o odpadach, 2012] odpadami medycznymi określa się odpady powstające w związku z udzielaniem świadczeń zdrowotnych oraz prowadzeniem badań i doświadczeń naukowych w

zakresie medycyny. Odpady medyczne powstają w czasie diagnozowania, leczenia i profilaktyki medycznej, zarówno w ośrodkach służby zdrowia, publicznych jak i niepublicznych, obiektach lecznictwa zamkniętego, otwartego, w obiektach badawczo-rozwojowych, instytutach, klinikach, laboratoriach badawczych i analitycznych, zakła-

dach farmakologicznych., przez co stanowią zagrożenie dla środowiska lub stanowią zagrożenie dla zdrowia lub życia ludzi.

Odpady medyczne i związane z nimi zagrożenia epidemiologiczne są w ostatnich latach bardzo zauważalnym problemem z punktu widzenia ochrony środowiska, a gospodarowanie nimi wymaga szczególnej kontroli. Wymagania i zasady postępowania z odpadami medycznymi zostały określone w rozporządzeniu Ministra Zdrowia z 30 lipca 2010 r. w sprawie szczegółowego sposobu postępowania z odpadami medycznymi. Przepisy określają przede wszystkim sposób postępowania z odpadami medycznymi powstałymi w wyniku udzielania świadczeń zdrowotnych, zasady ich zbierania i czasowego magazynowania oraz warunki transportu wewnętrznego w obiektach, w których udziela się świadczeń zdrowotnych. Zgodnie z art. 94 ustawy o odpadach [Ustawa o odpadach, 2012] zakazuje się odzysku odpadów medycznych, natomiast zezwala się na unieszkodliwienie zakaźnych odpadów medycznych metodami, które prowadzą do obniżenia zawartości ogólnego węgla organicznego do 5%. Jednocześnie zakazuje się ich unieszkodliwienia przez współspalanie. Jednym z dopuszczalnych i zarazem skutecznych sposobów przekształcania odpadów medycznych jest termiczne przekształcanie odpadów przez utlenianie oraz pirolizę, zgazowanie i proces plazmowy. Wybór sposobu unieszkodliwiania odpadów medycznych zależy w szczególności od ich właściwości i zawartych w nich substancji [Apaydin et al., 2007; Bazrafshan et al., 2010; Chaerul et al., 2008; Piecuch i in., 2003], wymagań prawnych precyzujących prawidłowe postępowanie z tymi odpadami oraz kosztów unieszkodliwienia [Eriksson et al., 2011; Gaska, 2007, 2012; Kollikathara et al., 2010; Piecuch i in., 2014; Walery i in., 2009].

Gospodarka odpadami medycznymi oprócz istotnego zapobiegania zagrożeniom środowiskowym i epidemiologicznym ma też duże znaczenie ekonomiczne. Zagospodarowanie i unieszkodliwianie odpadów stanowi istotne obciążenie finansowe dla jednostek służby zdrowia. Główne części składowe kosztów realizacji gospodarki odpadami medycznymi to koszty ich zbierania i magazynowania, odbioru i transportu do miejsc unieszkodliwiania oraz koszt termicznego przekształcania odpadów w spalarniach odpadów medycznych. Zależnie od rodzaju i wielkości placówki mogą one wynosić od kilkudziesięciu do kilkuset tysięcy złotych rocznie i więcej. Za-

ządzanie odpadami medycznymi jest trudnym przedsięwzięciem i wymaga określonych działań i rozwiązań logistycznych w poszczególnych procesach postępowania z nimi. Konwencjonalne podejście do systemu gospodarowania odpadami traktuje procesy wytwarzania, zbierania i usuwania oraz unieszkodliwiania jako niezależne operacje. Jednakże są one ściśle ze sobą powiązane i każdy element może wpływać na pozostałe. Stąd też system gospodarowania odpadami należy rozpatrywać w kontekście stosowania metodyki analizy systemowej [Seadon, 2010; Daellenbach, 2001; Dubrovsky, 2004]. Analizując system gospodarki odpadami medycznymi należy określić jego elementy oraz interakcje z otoczeniem. Z uwagi na układ zależności występujących w systemie gospodarowania odpadami medycznymi, zwykle nie rozważa się jednego celu, ale grupę zadań wymagających jednoczesnej realizacji, tj.:

- zapewnienia odpowiedniej jakości i bezpieczeństwa świadczonych usług medycznych,
- minimalizacji ilości wytwarzanych odpadów,
- zbierania i transportu odpadów z zachowaniem zasad bezpieczeństwa sanitarnego i epidemiologicznego,
- skutecznego unieszkodliwienia lub odzysku odpadów,
- minimalizacji kosztów funkcjonowania systemu.

MATERIAŁY I METODY BADAŃ

W niniejszej pracy przedstawiono model optymalizacyjny systemu wywozu i unieszkodliwiania odpadów medycznych w wersji dynamicznej, uwzględniający przewidywane zmiany parametrów wejściowych i wyjściowych systemu gospodarowania odpadami i stanu systemu w określonych przedziałach czasu. Dynamiczny model uwzględnia zatem:

- dynamikę zmian powstawania odpadów medycznych,
- możliwości wprowadzenia lokalizacji obiektów wraz z określeniem możliwych tras dowozu do nich odpadów ze źródłowych obszarów powstawania odpadów,
- ograniczenia przepustowości obiektów związanych z przetwarzaniem i unieszkodliwianiem odpadów. Ponadto dopuszcza się wybudowanie obiektu o przepustowości przekraczającej potrzeby w momencie podjęcia eksploatacji, pod warunkiem pełnego jej wy-

korzystania w następnych okresach modelowych, oraz uzyskania najmniejszego kosztu funkcjonowania rozpatrywanego wariantu działania systemu.

- planowane uruchomienia nowych procesów unieszkodliwiania i zagospodarowania odpadów poprocesowych w obiektach lub przewidywane zmiany ich występowania w systemie gospodarki odpadami,
- dostępność terenu pod lokalizację nowych obiektów systemu gospodarki odpadami z określeniem jego powierzchni i wydajności.

W zakresie kosztów obok ponoszonych etapowo nakładów inwestycyjnych i kosztów bieżących (eksploatacyjnych) uwzględniono deprecjację wartości środków trwałych będących wyposażeniem systemu, wyrażoną okresem amortyzacji tych środków.

W modelu dynamicznym zakłada się dodatkowo uwzględnienie inflacji i dyskontowania rocznych nakładów kapitałowych i kosztów bieżących. Koszty te ujęte są w modelu jako wartości zmienne w czasie dla kolejnych okresów modelowych:

- 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.

Koszty transportu podobnie jak koszty kapitałowe i bieżące są dyskontowane i uwzględniają inflację. Koszty te odniesiono do przewozu 1 tony odpadów z obszaru źródłowego do obiektu unieszkodliwiania i zagospodarowania odpadów w ciągu jednego roku danego okresu modelowego, tj. koszty transportu odpadów pomiędzy obiektami powstawania odpadów a obiektami pośrednimi (spalarniami) bądź pomiędzy obiektami pośrednimi a obiektami końcowymi (składowiskami).

Do badań optymalizacyjnych przyjęto modelowy region, tj. obszar województwa podlaskiego, który może być uznany za reprezentatywny dla innych regionów w tej części kraju. Dane wejściowe niezbędne do opisu proponowanych wariantów systemu gospodarki odpadami medycz-

nymi zostały zebrane i opracowane w ramach przeprowadzonych badań analityczno-faktograficznych. Przeprowadzone studium optymalizacyjne oparte jest 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 IF1 (Suwałki), IF2 (Łomża), IF3 (Białystok) i IF4 (Hajnówka), w których będzie realizowany proces pirolitycznego rozkładu odpadów oraz cztery obiekty końcowe (odpowiednio FF1, FF2, FF3, FF4) – zlokalizowane na terenie spalarni odpadów medycznych miejsca do czasowego przetrzymywania odpadów poprocesowych z procesu termicznego przekształcania odpadów.

Zakres badań operacyjnych został podzielony na kolejne etapy w celu przedstawienia możliwości zaproponowanego modelu:

1. **Etap I** – obejmował obliczenia optymalizacyjne, przy przyjęciu ustalonych w koncepcji parametrów technicznych i ekonomicznych. W pierwszym etapie wygenerowano najniższy koszt funkcjonowania analizowanego systemu. Przebieg I wykonany w ramach tego etapu był jednocześnie przebiegiem porównawczym, względem którego były porównywane otrzymane rozwiązania.
2. **Etap II** – obejmował wpływ parametrów wejściowych systemu, tj. stopnia redukcji ilości odpadów medycznych w procesie termicznego przekształcania odpadów oraz jednostkowego kosztu transportu odpadów na wskaźnik efektywności kosztowej i strukturę przestrzenną systemu.

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 efektywności kosztowej przeprowadzono metodą przedstawioną w pracach Biedugnis i Cholewińskiego [Biedugnis i in., 1992; 2003] uwzględniając w modelu dynamicznym inflację i dyskontowanie rocznych nakładów kapitałowych i kosztów bieżących w poszczególnych okresach modelowych.

Obliczenie kosztu jednostkowego przeprowadzono metodą zaprezentowaną w pracach Biedugnis i Cholewińskiego [Biedugnis i in., 1992; 2003] 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.

WYNIKI BADAŃ I DISKUSJA

Zakres obliczeń optymalizacyjnych został zrealizowany w następujących przebiegach:

- 1) 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,
 - wielkość redukcji odpadów medycznych w obiektach pośrednich systemu wyrażona w postaci współczynnika wyjściowego procesu $w_{wp} = 10\%$,
 - brak ograniczeń przepustowości czterech obiektów pośrednich, tj. spalarni odpadów medycznych.

- 2) Etap II – w przebiegu 2 – przy założonym czasie trwania I i II okresu modelowego, tj. $t_1 = 5$ lat i $t_2 = 15$ lat badano wpływ wprowadzonego ograniczenia przepustowości trzech obiektów spalarni na uzyskanie optymalnego rozwiązania w postaci uzyskania najniższego wskaźnika efektywności kosztowej. Ograniczenia przepustowości wprowadzono w Białymstoku na poziomie 190 t/rok, w Łomży – 182 t/rok oraz w Suwałkach – 250 t/rok, natomiast w Hajnówce nie wprowadzono ograniczenia przepustowości tego obiektu.

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.

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

Dla przebiegu 2 przeprowadzono badania optymalizacyjne przy założonym czasie trwania I i II okresu modelowego, tj. $t_1 = 5$ lat i $t_2 = 15$ lat oraz ograniczeniu przepustowości tylko trzech obiektów spalarni, a mianowicie w Białymstoku na poziomie 190 t/rok, w Łomży – 182 t/rok oraz w Suwałkach – 250 t/rok. Natomiast w Hajnówce nie wprowadzono ograniczenia prze-

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. The level activity processing of medial and final objects for 1 run [ton/year]

Obiekty systemu	Nazwa procesu	Poziomy działalności przeróbczych [t/rok]	Czas trwania badań modelowych I = 5 lat, II = 15 lat
IF1	piroliza	140,400	I
IF1	piroliza	148,800	II
IF2	piroliza	210,400	I
IF2	piroliza	222,400	II
IF3	piroliza	434,400	I
IF3	piroliza	450,900	II
FF1	składowanie	14,040	I
FF1	składowanie	14,880	II
FF2	składowanie	21,040	I
FF2	składowanie	22,240	II
FF3	składowanie	43,440	I
FF3	składowanie	45,090	II

Tabela 2. Poziomy działalności przeróbczych w obiektach pośrednich i końcowych w poszczególnych okresach modelowych dla przebiegu 2 na obszarze modelowego regionu [t/rok]**Table 2.** The level of processing activities of intermediate and final objects for the 2nd run [ton/year] within the model area

Obiekty systemu	Nazwa procesu	Poziomy działalności przeróbczych [t/rok]	Czas trwania badań modelowych I = 5 lat, II = 15 lat
IF3	piroliza	190,000	I
IF3	piroliza	190,000	II
IF4	piroliza	595,200	I
IF4	piroliza	632,100	II
FF3	składowanie	19,000	I
FF3	składowanie	19,000	II
FF4	składowanie	59,520	I
FF4	składowanie	63,210	II

pustowości tego obiektu. Wprowadzenie tego typu ograniczeń spowodowało znaczącą zmianę struktury przestrzennej systemu w porównaniu z przebiegiem 1, wraz ze zmianą ilości transportowanych odpadów w I i II okresie modelowym. W związku z czym zmianie uległy poziomy działalności przeróbczych w obiektach pośrednich i końcowych. W wyniku przeprowadzonych obliczeń optymalizacyjnych otrzymano rozwiązanie, w którym większość działalności przeróbczych przejęła spalarnia w Hajnówce w I okresie modelowym na poziomie – 595,200 t/rok, zaś w II okresie modelowym – na poziomie 632,100 t/rok. Spalarnia w Białymstoku osiągnęła w I i II okresie modelowym przepustowość na poziomie 190 t/rok. Natomiast spalarnie w Łomży i Suwałkach przestały funkcjonować w tym systemie.

Wprowadzenie powyższych ograniczeń przepustowości 3 obiektów pośrednich oraz brak ograniczenia w spalarni w Hajnówce (największa rzeczywista przepustowość obiektu na obszarze modelowego regionu – 330 t/rok) spowodowało znaczny spadek kosztów funkcjonowania systemu, a w konsekwencji również znaczny spadek współczynnika efektywności kosztowej E.

W przebiegu tym nastąpił spadek wartości wskaźnika efektywności kosztowej E przy założonych czasie trwania I i II okresu modelowego odpowiednio: $t_1 = 5$ lat i $t_2 = 15$ lat oraz ograniczeniach dotyczących przepustowości poszczególnych spalarni odpadów medycznych, z poziomu 1597,60 zł/t do 1333,80 zł/t, czyli o ok. 17%.

WNIOSKI

W wyniku przeprowadzonych obliczeń optymalizacyjnych dla poszczególnych przebiegów

w zależności od przyjętych wartości parametrów wejściowych systemu gospodarki odpadami medycznymi modelowego regionu województwa podlaskiego, sformułowano następujące wnioski:

1. Wprowadzenie braku ograniczenia przepustowości obiektu spalarni w Hajnówce (największa rzeczywista przepustowość obiektu na obszarze modelowego regionu – 330 t/rok) spowodowało znaczny spadek kosztów funkcjonowania systemu, a w konsekwencji również znaczny spadek jednostkowego kosztu unieszkodliwiania odpadów. Uzyskano rozwiązanie systemu, w którym została wyeliminowana spalarnia w Suwałkach (zamknięta ze względu na stan uniemożliwiający unieszkodliwianie odpadów medycznych w warunkach zgodnych z obowiązującymi krajowymi przepisami i normami europejskimi), natomiast spalarnia odpadów medycznych w Hajnówce osiągnęła zdolność przerobową na poziomie ok. 630 t/rok.
2. Przy degresywnym charakterze kosztów funkcjonowania obiektów systemu ekonomicznie uzasadniona i opłacalna jest eksploatacja instalacji termicznego przekształcania odpadów o wydajności powyżej 500 t/rok, generująca niższe koszty eksploatacyjne i dająca możliwość spełnienia wymaganych kryteriów w zakresie ochrony środowiska.

Im większa spalarnia, tym niższe koszty eksploatacyjne, tym łatwiej o zapewnienie spełnienia wszelkich wymogów w zakresie ochrony środowiska. Duże regionalne spalarnie odpadów medycznych pracujące w ruchu ciągłym, 24 godziny na dobę powinny być budowane w miejsce kilku małych instalacji o niewielkich wydajnościach i tylko częściowym wykorzystaniu ich przepustowości.

Podziękowania

Artykuł powstał w ramach realizacji pracy S/WBiŚ/02/2014 finansowanej przez MNiSW.

LITERATURA

1. Apaydin O., Gonullu M.T., 2007. Route optimization for solid waste collection: Trabzon (Turkey) case study. *Global Nest Journal*, 9(1), 6–11.
2. Bazrafshan E., Mastafapoor, F.K., 2010. Survey of medical waste characterization and management in Iran: A case study of Sistan and Baluchestan Province. *Waste Management & Research*, 29(4), 442–450.
3. Biedugnis S., Cholewiński J., 1992. *Optymalizacja gospodarki odpadami*. Wyd. Naukowe PWN, Warszawa, ss. 340.
4. Biedugnis S., Podwójci P., Smolarkiewicz M., 2003. *Optymalizacja gospodarką odpadami komunalnymi w skali mikro i makroregionalnej*, Wyd. Instytut Podstawowych Problemów Techniki PAN, Warszawa, ss. 96.
5. Chaerul M., Tanaka M., Shekdar A.V., 2008. A system dynamics approach for hospital waste management. *Waste Management*, 28, 442–449.
6. Daellenbach H.G., 2001. *Systems Thinking and Decision Making: A Management Science Approach*. REA Publications, Christchurch, New Zealand.
7. Dubrovsky V., 2004. Toward system principles: general system theory and the alternative approach. *Systems Research and Behavioral Science*, 21(2), 109–122.
8. Eriksson N.O., Bisailon, M., 2011. Multiple system modeling of waste management. *Waste Management*, 31, 2620–2630.
9. Gaska K., 2007. Analiza systemów gospodarki odpadami medycznymi z wykorzystaniem rachunku ekonomicznego. *Paliwa z odpadów*, T. VI, Wyd. Helion.
10. Gaska K., 2012. Modelowanie zintegrowanych systemów gospodarki odpadami z wykorzystaniem metodologii zorientowanej obiektowo. Wyd. Politechniki Śląskiej, Gliwice, ss. 184.
11. Kollikkathara N., Feng, H., Yu, D., 2010. A system dynamic modeling approach for evaluating municipal solid waste generation, landfill capacity and related cost management issues. *Waste Management*, 30, 2194–2203.
12. Piecuch T., Dabrowski T., Dabrowski J., Lubierski M., Juraszka B., Kościerzyńska-Siekan G., Jantos K., 2003. Analysis of hospital waste incineration plant work in provincial hospital in Koszalin – flue gas, wastewater, secondary waste. *Annual Set The Environment Protection*, 5, 163–190.
13. Piecuch T., Dąbrowski J., 2014. Projekt koncepcyjny budowy Zakładu Termicznej Utylizacji Odpadów dla Gminy Połczyn-Zdrój. *Annual Set The Environment Protection*, 16(1), 196–222.
14. Rozporządzenie Ministra Zdrowia z 30 lipca 2010 r. w sprawie szczegółowego sposobu postępowania z odpadami medycznymi (Dz.U. z 2010 r., Nr 139, poz. 940 z późn. zm.).
15. Seadon J.K., 2010. Sustainable waste management systems. *Journal of Cleaner Production*, 18, 1639–1651.
16. Ustawa o odpadach z dnia 14 grudnia 2012 r. (Dz. U. z 2013 r. poz. 21, z późn. zm.).
17. Walery M., Talalaj I., Podwójci P., 2009. Influence of selected input parameters on costs of medical wastes management systems functioning. Sewage sludge and waste solids disposal systems in agricultural and industrial regions – selected problems. *Polish Journal of Environmental Studies – Series of Monographs*, 6, 118–121.