

Edward MICHLOWICZ

Akademia Górniczo – Hutnicza im. St. Staszica w Krakowie
Wydział Inżynierii Mechanicznej i Robotyki
30-059 Kraków, Al. Mickiewicza 30/B4
michlowi@agh.edu.pl

OPTIMALIZACJA NIELINIOWEGO ZADANIA TRANSPORTOWO – PRODUKCYJNEGO DLA PRZETWARZANIA ODPADÓW

Streszczenie:

W artykule rozważana jest optymalizacja zadania transportowo – produkcyjnego w odniesieniu do przetwarzania odpadów medycznych. Dla istniejącej sieci punktów gromadzenia odpadów i zakładów ich przetwarzania, zgodnie z przyjętym algorytmem, należy wyznaczyć optymalny pod względem kosztowym rozdział zadań przewozowych do odpowiednich spalarni. Przyjęto, że funkcje określające koszty przerobu są wielomianami drugiego stopnia. Do rozwiązania problemu wykorzystano program napisany w środowisku MatLab bazujący na algorytmie wyrównywania kosztów krańcowych WKK.

Słowa kluczowe: optymalizacja, zadanie transportowo – produkcyjne, odpady

WPROWADZENIE

Odpady to wszystkie przedmioty oraz substancje stałe, również te nie będące ściekami substancje ciekłe, powstałe w wyniku działalności przemysłowej, gospodarczej lub bytowania człowieka i nieprzydatne w miejscu lub czasie, w którym powstały. Podział odpadów wg rozporządzenia Ministra Środowiska z dnia 27 września 2001 roku w sprawie katalogu odpadów (Dz. U. Nr 112, poz. 1206) klasyfikuje je, w zależności od źródła ich powstawania, na 20 grup. Do grupy 18 należą odpady medyczne i weterynaryjne, które są przedmiotem egzemplifikacji metody zaproponowanej w artykule.

Według stanu na 2010 rok w Polsce powstało łącznie 137 mln Mg odpadów, z czego 125 mln Mg stanowiły odpady przemysłowe, a 12 mln Mg odpady komunalne. Szacuje się (dane zmieniają się dość dynamicznie, ale nie one są przedmiotem opracowania), że na składowiska trafia w Polsce ok. 86, 6 % odpadów komunalnych, ponad 10 % jest selektywnie zbieranych i segregowanych (odpowiednio: 6,8 % i 3,3 %), a tylko 3,2 % jest unieszkodliwianych biologicznie i termicznie. Dla porównania w krajach Unii Europejskiej (2008) na około 260 mln Mg odpadów komunalnych tylko 48 % trafia na składowiska, a spalaniu podlega około 20 % odpadów. Warto zaznaczyć, że udział odpadów unieszkodliwianych poprzez spalanie jest bardzo zróżnicowany. Przykładowo najczęściej spalają Dania (54 %), Szwecja (45 %), Francja (34 %), Niemcy (22 %), ale tylko 7 % spala Hiszpania, 8 % Wielka Brytania, 9 % Finlandia, 10 % Austria.

Dobrym wskaźnikiem skali problemu odpadów komunalnych jest ilość odpadów „wytwarzanych” przez jednego mieszkańca: w Polsce jest to liczba 320 kg, a przeciętna unijna wynosi około 700 kilogramów.

Unieszkodliwianie odpadów poprzez spalanie jest technologią kontrowersyjną, stąd także w Polsce od wielu lat toczą się na ten temat dyskusje. Nie zmienia to jednak faktu, że w Polsce jest to technologia zaniedbana, a jedyna znacząca spalarnia odpadów w Warszawie posiada moc przerobową na poziomie 40 000 Mg/rok, podczas gdy sugerowane przez ekspertów moce dla dużych miast wahają się w granicach 150 000 do 250 000 Mg spalanych odpadów w skali roku. W Polsce spalarnie mają powstać m.in. w Łodzi (250 tys. Mg), Krakowie (250 tys. Mg), Warszawie (265 tys. Mg), aglomeracji śląskiej – Ruda Śląska (250 tys. Mg), Katowice (250 tys. Mg), ale przykład Krakowa ukazuje, że droga od planu do realizacji jest bardzo daleka.

Problem spalarni jest bardzo istotny w przypadku odpadów z grupy 18, tj. odpadów medycznych i weterynaryjnych. Odpady te zaliczane są do niebezpiecznych, ale stanowią niewielki procent powstających odpadów, stąd dla ich unieszkodliwiania wystarczają małe, lokalne spalarnie, których wg informacji Ministerstwa Ochrony Środowiska jest w Polsce około 50 (stan na listopad 2007). Wydajności przerobu odpadów w tych spalarniach wynoszą przeciętnie od 0,1 do 0,2 Mg/godzinę, wyjątkiem jest spalarnia RAF-Ekologia w Jedliczu (podkarpackie), której zdolność przerobu odpadów niebezpiecznych z różnych grup klasyfikacji wynosi 1,13 Mg na godzinę (ok. 9 000 Mg/rok).

W placówkach medycznych i weterynaryjnych stosuje się selektywne zbieranie odpadów do specjalistycznych pojemników. Odpady są odbierane przez firmy posiadające stosowne zezwolenia i unieszkodliwiane przez termiczne przekształcanie. Przykładowo dla Małopolski jest to problem unieszkodliwienia około 2 000 Mg odpadów, przy czym na terenie województwa znajdują się 3 obiekty przekształcające termicznie niebezpieczne odpady medyczne i weterynaryjne: w Krakowie, Tarnowie i Nowym Sączu. Podobna sytuacja występuje w województwie podkarpackim: wytwarzanych jest ok. 1 900 Mg odpadów, a istnieją 2 spalarnie (Rzeszów, Jedlicze). Zgodnie z ustawodawstwem, firmy powinny dostarczać odpady niebezpieczne do najbliższych zakładów termicznego ich unieszkodliwiania.

1. LOGISTYKA GOSPODARKI ODPADAMI

Według Pfohla [1] logistyka powtórnego zagospodarowywania jest systemem, który umożliwi ekonomicznie i ekologicznie skuteczny przepływ pozostałości, przy ich jednoczesnej transformacji przestrzenno - czasowej, włącznie ze zmianami ilości i gatunku.

Podstawowy cel ekonomiczny logistyki odpadów jest realizowany poprzez obniżanie kosztów logistycznych i poprawę poziomu obsługi (głównie przez właściwy odbiór pozostałości w miejscach ich powstawania oraz przez odpowiednie dostarczanie surowców wtórnych do miejsc ich ponownego zużycia). Natomiast cele ekologiczne polegają na ochronie zasobów naturalnych oraz na minimalizacji wtórnych zanieczyszczeń powstających podczas realizowanych procesów utylizacyjnych.

Taka dualność celów (ekonomiczny i ekologiczny) powoduje wzajemne powiązania logistyki ze środowiskiem. Bardzo precyzyjnie ujmuje to zagadnienie Niziński [2], który podaje, że zadaniem systemu ochrony środowiska jest zachowanie naturalnego stanu ekosystemów na obszarze, na którym działają przedsiębiorstwa przemysłowe. Cele ekologiczne realizowane przez logistykę zaopatrzenia ograniczają się do minimalizacji obciążenia środowiska po stronie wejścia i wyjścia systemu produkcji, natomiast logistyka powtórnego zagospodarowywania rozwiązuje wszystkie problemy ekologiczne poprzez realizację specyficznych zadań związanych z ochroną środowiska i tym samym wskazuje na związki logistyki z ochroną środowiska.

Aktualnie w ramach ukierunkowanej ekologicznie koncepcji gospodarowania nieodzowne jest również tworzenie oraz analiza tzw. bilansów materiałowych i energetycznych z uzasadnieniem ekologicznym [3]. Ekobilanse czyli bilanse ekologiczne dóbr materialnych i obciążeń energetycznych stanowić mogą istotną przesłankę i nowy logistycznie zorientowany wymiar w podejmowaniu decyzji, zwłaszcza w odniesieniu do:

- zastępowania produktów dających dużo odpadów – produktami dającymi ich mniej,
- zastępowania produktów uciążliwych dla środowiska - produktami dla niego przyjaznymi,
- zastępowania produktów energo- i surowcochłonnych – produktami oszczędnymi.

Prowadzenie odpowiedniej gospodarki odpadami powinno przyczyniać się nie tylko do ich usuwania, ale także do unikania ich powstawania podczas procesów produkcyjnych [4]. To unikanie można realizować nie tylko przez dobór właściwej technologii wytwarzania, ale także przez presję na sferę techniczną w celu opracowywania nowych, mniej szkodliwych technologii, czy też stosowania innych materiałów, przyczyniających się do zmniejszenia obciążenia środowiska.

Często zależności występujące w analizowanych procesach gospodarczych (wytwarzania i przetwarzania) mają charakter nieliniowy [5]. Zadanie decyzyjne nazywamy nieliniowym, jeżeli funkcja celu lub chociaż jeden z warunków ograniczających jest funkcją nieliniową (np. kwadratową, wykładniczą, logarytmiczną). W odniesieniu do technologii przetwarzania odpadów dominującym jest czynnik ekologiczny, jednak coraz częściej równie ważnym staje się aspekt techniczno – ekonomiczny (transport – koszt, technologie utylizacji, przetwarzania – koszt, logistyczne procesy gromadzenia odpadów - koszt).

Zadanie decyzyjne postaci:

$$f(x) \rightarrow \max, \quad (1)$$

$$f(x) \rightarrow \min, \quad (1')$$

$$g_i(x) \geq 0 \quad (i = 1, \dots, m), \quad (2)$$

lub $g_i(x) \geq 0 \quad (i = 1, \dots, m), \quad (2')$

$$g_i(x) = 0 \quad (i = m + 1, \dots, r), \quad (3)$$

$$g_i(x) = 0 \quad (i = m + 1, \dots, r), \quad (3')$$

nazywamy zadaniem programowania nieliniowego (PN), jeżeli funkcja celu $f(x)$ lub chociaż jeden z warunków ograniczających $g_i(x)$ jest funkcją nieliniową, przy czym $x = (x_1, \dots, x_n)$ oznacza n -wymiarowy wektor zmiennych decyzyjnych [6, 7].

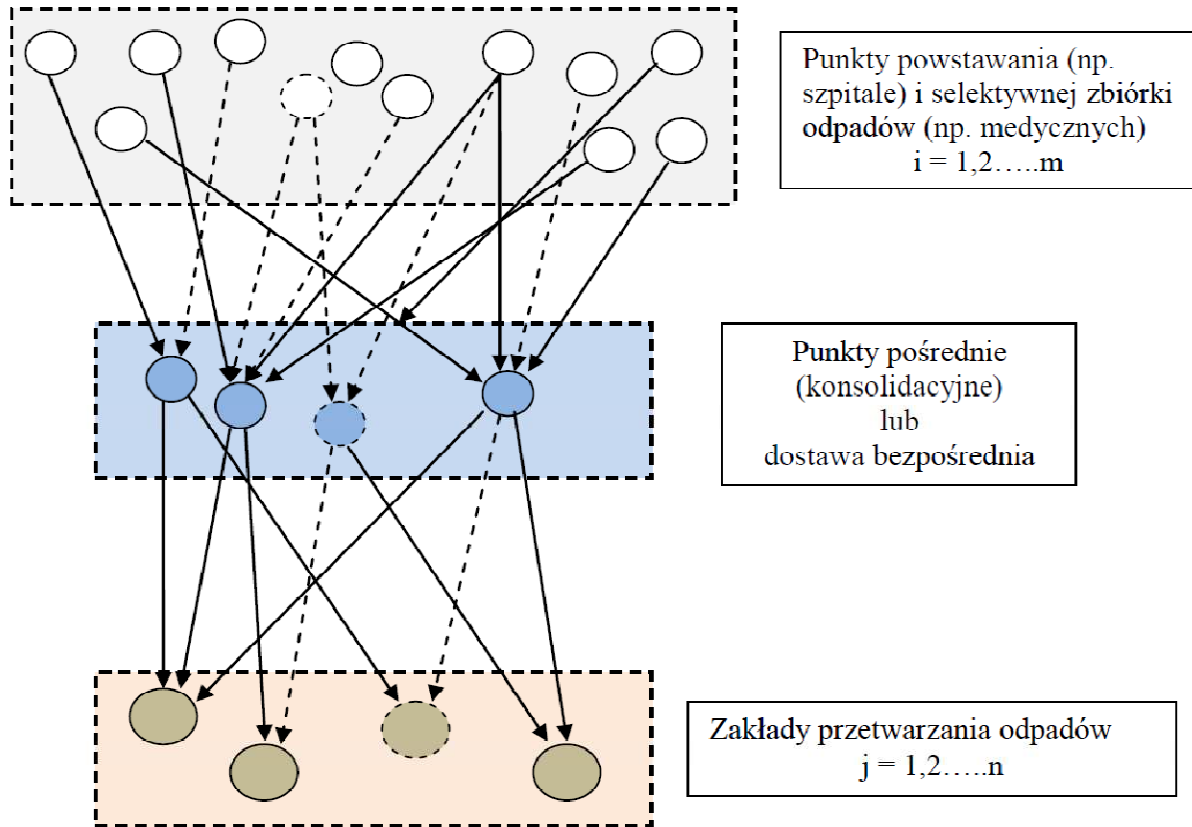
W odniesieniu do przetwarzania odpadów problem transportowo – produkcyjny powinno się rozważyć w co najmniej dwóch aspektach:

- aspekt ogólny: dla istniejącej sieci punktów gromadzenia odpadów i zakładów ich przetwarzania, zgodnie z przyjętym algorytmem, należy wyznaczyć optymalny pod względem kosztowym rozdział zadań przewozowych do odpowiednich zakładów przetwarzania odpadów,
- aspekt szczególny: dla istniejącej sieci punktów gromadzenia odpadów i jednego zakładu (np. spalarnia odpadów niebezpiecznych) przetwarzającego odpady co najmniej dwoma technologiami, należy zoptymalizować rozdział zadań przewozowych i produkcyjnych na poszczególne technologie przetwarzania.

W obydwu zadaniach bardzo ważna (konieczna) jest znajomość funkcji (nieliniowej) opisującej koszty procesów przetwarzania odpadów. Opis tej funkcji można uzyskać np.

w wyniku aproksymacji wielomianowej kosztów przetwarzania odpadów ponoszonych w minionych okresach [8].

Na rysunku 1 przedstawiono schematycznie rozważany problem zadania transportowo – produkcyjnego (ZPT) dla przypadku selektywnego gromadzenia odpadów, a następnie przewozu odpadów do istniejących punktów ich przetwarzania.



Rys.1. Schemat powiązań w zadaniu ZPT

Źródło: opracowanie własne.

Zadanie można rozważać na wiele sposobów, w zależności od rozpatrywanych problemów. Może to być zagadnienie lokalne – na poziomie województwa, a może to być problem w skali kraju. Zagadnienie w skali kraju posiada jednak aktualnie bardzo istotne ograniczenie – jednostka wytwarzająca odpady niebezpieczne musi je dostarczać do najbliższego obiektu utylizacji, co nie zawsze jest zgodne z rozwiązaniem ekonomicznie lepszym.

2. MODEL MATEMATYCZNY ZADANIA

Przedsiębiorstwo przetwarzające jednorodny surowiec ma m punktów gromadzenia surowca oraz n zakładów przetwarzających ten surowiec. Dodatkowo należy znać:

- jednostkowe koszty transportu od każdego punktu gromadzenia do poszczególnych zakładów przetwórczych,
- ilość surowca zgromadzonego w każdym punkcie dostaw,
- funkcje określające koszt przerobu surowca w każdym zakładzie w zależności od wielkości przerobu.

Funkcje określające koszty przerobu są funkcjami wypukłymi i kwadratowymi. Uwzględniają one tylko koszty zmienne, czyli zależne od rozmiarów produkcji [9]. Całość nabytego surowca musi być przewieziona do zakładów i tam przerobiona. Przyjmuje się, że zakłady są w stanie przetworzyć dostarczoną ilość surowca (znane są możliwości przerobowe zakładów). Zwiększa to zdolności produkcyjne zakładów, ale powoduje także wzrost jednostkowych kosztów produkcji. Rosnące koszty przerobu są naturalnym ograniczeniem rozmiarów produkcji w każdym zakładzie.

Należy ustalić taki plan dostaw surowca do poszczególnych zakładów oraz przerobu surowca w tych zakładach, aby łączne koszty transportu i przerobu były minimalne.

Przyjęto następujące oznaczenia:

- i - numer punktu gromadzenia (numer dostawcy),
- j - numer zakładu przetwórczego (numer odbiorcy),
- x_{ij} - ilość surowca przesłana od i -tego dostawcy do j -tego odbiorcy,
- x_j - ilość surowca przerobiona przez j -tego odbiorcę,
- a_i - ilość surowca, jaką musi wysłać i -ty dostawca,
- c_{ij} - jednostkowy koszt transportu od i -tego dostawcy do j -tego odbiorcy,
- $f_j(x_j)$ - koszt przerobu x_j jednostek surowca w j -tym zakładzie (u j -tego odbiorcy).

Ponadto przyjęto, że wypukła funkcja kosztu f_i jest wielomianem drugiego stopnia postaci:

$$f_j(x_j) = c_j x_j + e_j x_j^2, \quad c_j, e_j > 0 \quad (4)$$

gdzie:

- c_j - opisuje minimalny koszt jednostkowy przerobu,
- e_j - wyznacza tempo wzrostu kosztu jednostkowego.

Pierwsza pochodna tej funkcji określa koszt krańcowy przerobu:

$$F_j'(X_j) = C_j + 2 E_j X_j \quad (5)$$

natomiast druga pochodna - tempo wzrostu kosztu krańcowego:

$$F_j''(X_j) = 2 E_j \quad (6)$$

Koszt przeciętny przerobu w j -tym zakładzie określony jest wzorem:

$$K_j^P(X_j) = C_j + E_j X_j. \quad (7)$$

Problem ustalenia optymalnego planu dostaw surowca i jego przerobu można przedstawić w postaci nieliniowego zadania decyzyjnego.

Poszukiwane są takie wartości zmiennych x_{ij} oraz x_j , aby:

$$\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n c_{ij} x_{ij} + \sum_{j=1}^n f_j(x_j) \longrightarrow \min, \quad (8)$$

przy warunkach:

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} = a_i; \quad (i=1, \dots, m), \quad (9)$$

$$\sum_{i=1}^m x_{ij} = x_j; \quad (j=1, \dots, n), \quad (10)$$

$$x_{ij}, x_j \geq 0; \quad (i=1, \dots, m; j=1, \dots, n) \quad (11)$$

Funkcja celu (8) minimalizuje łączne koszty transportu i przerobu.

Warunek (9) zapewnia, że każdy dostawca wyśle całość posiadanego surowca.

Warunek (10) wymusza przerób w j -tym zakładzie całego surowca jaki do niego został dostarczony.

Zadanie (8 - 10) jest zadaniem programowania kwadratowego o specjalnej - transportowej strukturze. Można je rozwiązać stosując algorytm wyrównywania kosztów krańcowych WKK.

Koszt krańcowy, to koszt jaki ponosi producent w związku ze zwiększeniem wielkości produkcji danego dobra o jedną jednostkę. Stanowi on przyrost kosztów całkowitych związanych z produkowaniem dodatkowej jednostki dobra. Jeżeli zakład zwiększy swoją produkcję o jedną jednostkę, wówczas koszty całkowite produkcji zwiększą się. Różnica w wielkości kosztów jakie producent ponosił wcześniej i kosztów jakie ponosi po zwiększeniu produkcji stanowi właśnie koszt krańcowy. Jest to zatem koszt wyprodukowania dodatkowej jednostki dobra.

Pojęcie kosztu krańcowego może być również sformułowane w odniesieniu do konsumenta i oznacza wówczas koszt pozyskania dodatkowej jednostki dobra. Nazwa „koszt krańcowy” jest używana zamiennie z terminem „koszt marginalny”.

Koszt krańcowy jest istotną kategorią mikroekonomiczną. Zaobserwowano, że dla typowych procesów gospodarczych koszty krańcowe początkowo maleją wraz ze wzrostem produkcji, aż do osiągnięcia minimum technologicznego. Dalsze zwiększanie produkcji ponad minimum technologiczne pociąga jednak za sobą coraz większe jednostkowe koszty kolejnych przyrostów produkcji i tym samym rosną koszty krańcowe. Obserwacja ta jest istotna w mikroekonomicznej analizie zachowań producenta i określaniu optymalnego poziomu produkcji. Zgodnie z teorią ekonomii koszt krańcowy nie może być ujemny. Oznacza to, że zwiększenie produkcji nie może pociągać za sobą zmniejszenia kosztów całkowitych.

Algorytm WKK

Metoda wyrównywania kosztów krańcowych polega na :

- a) wyznaczeniu możliwie najlepszego, dopuszczalnego rozwiązania wyjściowego,
- b) poprawie kolejnych rozwiązań X^1, X^2, \dots , przez przesunięcia wyrównujące koszty krańcowe.

Ciąg kolejnych rozwiązań $X^1, X^2, \dots, X^r, \dots$, jaki uzyskujemy stosując metodę WKK, nie musi być skończony. Konieczne jest zatem przerwanie obliczeń w pewnym momencie. Istotne jest jednak to, aby końcowe rozwiązanie nie odbiegało zbyt daleko (w sensie wartości funkcji celu) od rozwiązania optymalnego.

Algorytm WKK sprowadza się do realizacji następujących kroków:

1. Wyznaczamy rozwiązanie wyjściowe:

- a) dla i -tego dostawcy ($i=1, \dots, m$) ustalamy trasę o minimalnym koszcie krańcowym,
- b) na wybranej trasie lokujemy całą podaż i -tego dostawcy,
- c) aktualizujemy koszty krańcowe w kolumnie z wybraną trasą.

Następnie przechodzimy do kolejnego dostawcy i powtarzamy kroki (a) - (c) tak długo, aż rozdysponujemy podaż wszystkich dostawców.

- 2) Sprawdzamy, czy aktualne rozwiązanie X^r spełnia kryterium optymalności. Jeżeli tak, to końcowe rozwiązanie jest optymalne. Jeżeli nie przechodzimy do kroku 3.
- 3) Sprawdzamy, czy rozwiązanie X^r jest ε - dokładne. Jeżeli tak, to kończymy obliczenia. Jeżeli nie, przechodzimy do kroku 4.

4) Poprawiamy rozwiązanie przez przesunięcia wyrównujące koszty krańcowe i wracamy do kroku 2.

Mając wyznaczone rozwiązanie X^r i macierz kosztów krańcowych K^r dla każdego dostawcy, ustalmy różnice między maksymalnym kosztem realizowanym a kosztem minimalnym.

3. EGZEMPLIFIKACJA

Badaniom poddano dostawy odpadów medycznych i (grupa 18) w województwie podkarpackim (około 2 000 Mg/rok). W rozważanym województwie źródłem odpadów jest 60 szpitali (małe, duże) oraz wiele ośrodków opieki zdrowotnej (nie uwzględnianych w obliczeniach). Na terenie podkarpackiego istnieją 2 spalarnie:

ECO-TOP Rzeszów – 0.29 Mg/h,

RAF- Ekologia Jedlicze – 1.13 Mg/h,

oraz 3 małe zakłady utylizacji odpadów medycznych.

W obliczeniach uwzględniono:

Rzeszów (5), Krosno (5), Przemyśl (3), Jasło (2), Sanok (1), Dębica (1) - razem: 6 dostawców (17 szpitali - dużych).

Zadanie sformułowano następująco:

6 dostawców: D1, D2, D3, D4, D5, D6 zaopatruje w odpady medyczne 2 spalarnie: S1, S2, przy ograniczeniach:

S1: może przyjąć i przetworzyć 700 lub 1000 Mg odpadów,

S2: może przyjąć i przetworzyć 1 500 Mg odpadów.

Dane zestawiono w tablicy 1 i obejmują one:

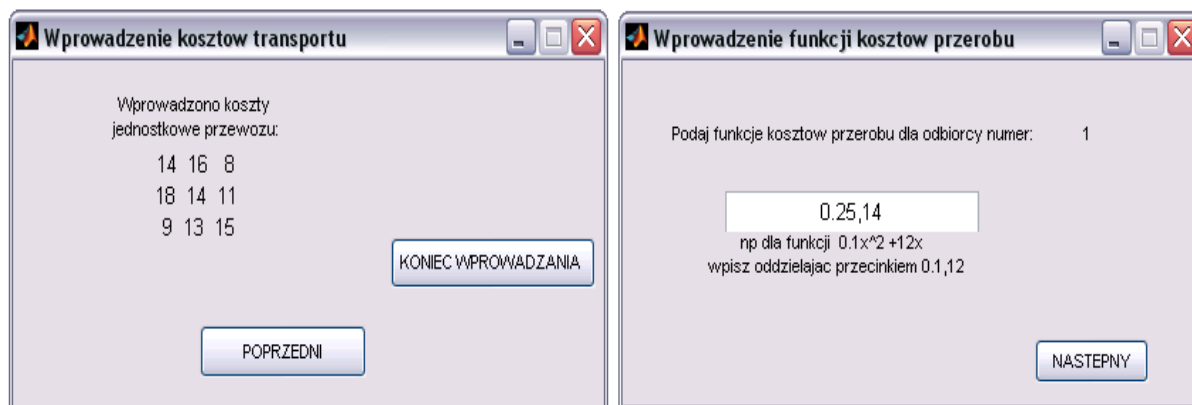
- jednostkowe koszty transportu (w zł za tkm);
- oferowane miesięcznie wielkości dostaw A_i (w tonach),
- miesięczne zapotrzebowanie spalarni B_j (w tonach),

Tabela 1. Jednostkowe koszty transportu, podaż i popyt

Dostawcy	Spalarnie						
	wariant v1			wariant v2		wariant v3	
	S1 (RZ)	S2 (JE)	podaż A_i [Mg]	S1 (RZ)	S2 (JE)	S1 (RZ)	S2 (JE)
D1 (Rzeszów)	5	60	500	5	60	5	60
D2 (Dębica)	40	60	80	40	60	40	60
D3 (Jasło)	70	15	200	70	15	70	15
D4 (Krosno)	70	5	400	70	5	70	5
D5 (Sanok)	100	50	120	100	50	100	50
D6 (Przemyśl)	100	80	300	80	100	80	100
Popyt B_j [Mg]	700	1500	1 600	1 000	1500	700	1500

Źródło: opracowanie własne.

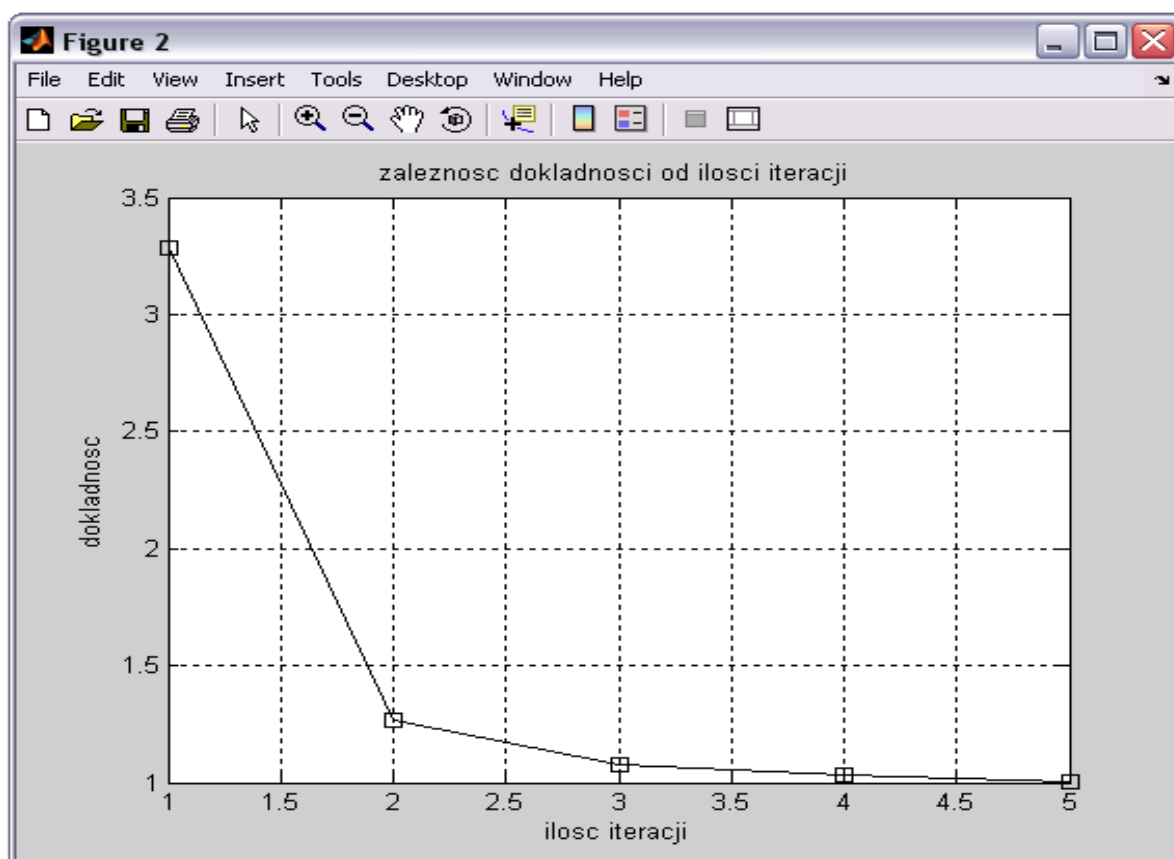
Zadanie jest rozwiązywane przy pomocy opracowanego w MatLab-ie programu komputerowego WKK wyposażonego w interfejs graficzny GUI [10]. Przykładowe okna dialogowe do wprowadzania danych o kosztach transportu (dla $n=3$, $m=3$) i kwadratowej funkcji przerobu przedstawiono na rysunku 2.



Rys. 2. Przykładowe okna dialogowe programu

Źródło: opracowanie własne.

Po wprowadzeniu wszystkich niezbędnych danych, użytkownik otrzymuje informację o poprawności rozwiązania zadania (rys. 3). Na osi y podano dokładność rozwiązania (w %), a na osi x liczbę iteracji (max=5).



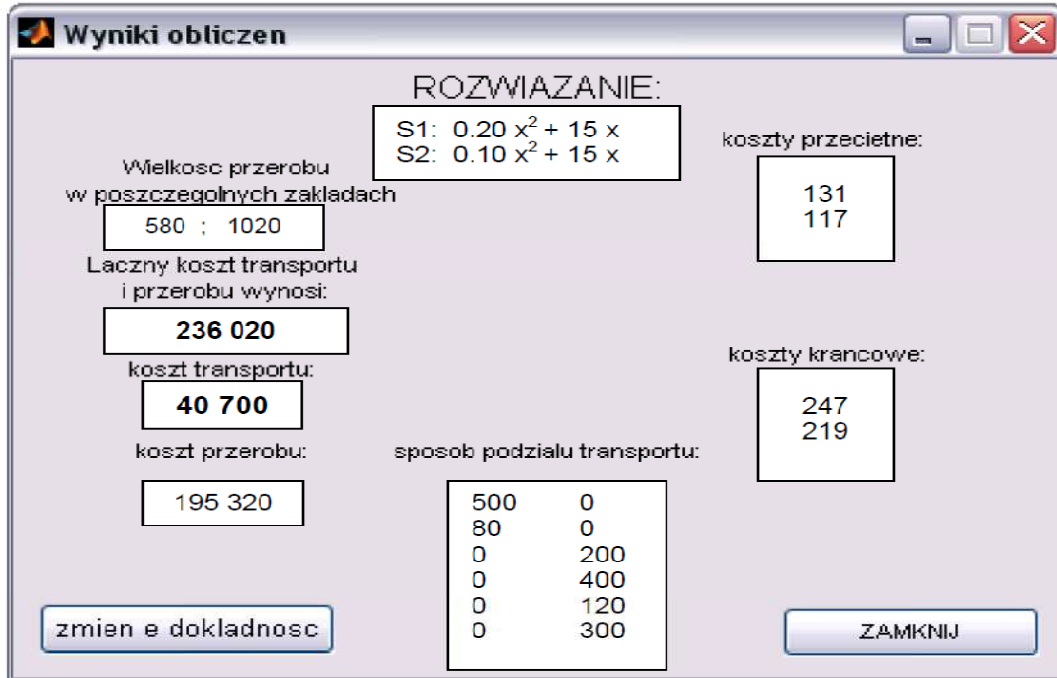
Rys. 3. Okno dialogowe programu WKK – zależność dokładności od liczby iteracji

Źródło: opracowanie własne.

Jeśli rozwiązanie jest optymalne lub e - dokładne wynikiem jest tablica przedstawiająca następujące informacje:

- wielkość przerobu w poszczególnych zakładach,
- łączny koszt transportu i przerobu odpadów,
- koszt transportu odpadów,

- koszt przerobu odpadów,
- koszty przeciętne,
- koszty krańcowe,
- sposób rozlokowania odpadów.



Rys. 4. Wyniki obliczeń w programie WKK dla wariantu v1

Źródło: opracowanie własne.

W obliczeniach rozpatrzono kilka wariantów, przy czym podaż odpadów nie ulegała zmianie, natomiast zarówno popyt (możliwości przerobu), jak i koszty przetwarzania (opis funkcji) były zmieniane. Przykładowo dla wariantu v1 przyjęto wg tab. 1 następujący popyt: dla spalarni S1 – 700 Mg/rok, a dla spalarni S2 – 1500 Mg/rok. Ponadto na podstawie przeprowadzonych studiów przyjęto, że funkcje przerobu mają postaci:

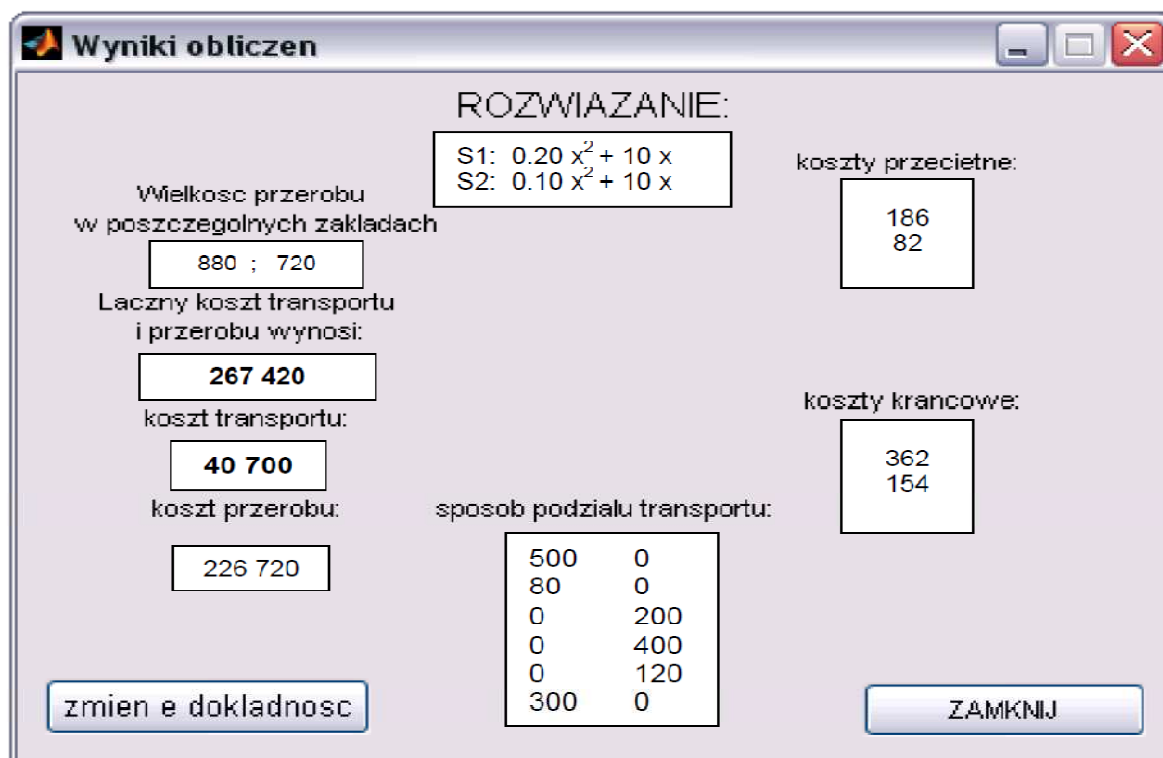
$$f_1(x_1) = 15 x_1 + 0.2 x_1^2 \text{ oraz } f_2(x_2) = 15 x_2 + 0.1 x_1^2.$$

Uzyskane wyniki obliczeń przedstawiono na rysunku 4 (ekran wyników końcowych).

W przypadku wariantu v2 (dane wg tab. 1) przyjęto popyt: dla spalarni S1 – 1 000 Mg/rok, a dla spalarni S2 – 1500 Mg/rok. Funkcje przerobu mają postaci:

$$f_1(x_1) = 10 x_1 + 0.2 x_1^2 \text{ oraz } f_2(x_2) = 10 x_2 + 0.1 x_1^2.$$

Uzyskane wyniki przedstawiono na rysunku 5.



Rys. 5. Wyniki obliczeń w programie WKK dla wariantu v2

Źródło: opracowanie własne.

Zbiorcze zestawienie wyników przedstawiono w tabeli 2. Umieszczono w niej przykładowe wyniki symulacji prowadzonych dla kilkunastu wariantów, w których zmieniano parametry funkcji przerobu, koszty transportu, możliwości przerobu odpadów przez poszczególne spalarnie. Zestawienie zawiera wyniki najlepsze.

Tabela 2. Zestawienie wyników dla zadania ZP-T

Dostawcy	Spalarnie			
	wariant v1		wariant v2	
przerób [Mg]	580	1020	880	720
zapas przerobu [Mg]	120	480	120	780
koszty transportu [zł]	40 700		40 700	
koszty przerobu [zł]	226 720		195 320	
łącznie koszty transportu i przerobu [zł]	267 420		236 020	
koszty przeciętne [zł/Mg]	186	82	131	117
koszty krańcowe [zł/Mg]	362	154	247	219

Źródło: opracowanie własne.

Z zestawienia wynika, że łączne koszty realizacji zadania dla wariantu v1 wynoszą 267 420 zł i są o ponad 40 000 zł większe od kosztów realizacji wariantu v2. Taka różnica wynika przede wszystkim z tego, że dla małych spalarni koszty przerobu są wyższe, niż dla większych. Stąd zresztą postulat ekspertów, by w Polsce budować spalarnie o wydajności ponad 100 000 Mg na rok. Wyniki stanowią także podstawę do dyskusji na temat priorytetu dostarczania odpadów do najbliższego miejsca unieszkodliwiania, jak stanowią rozporządzenia ustawy o odpadach. W obliczeniach jest to wariant v1, gdy tymczasem wariantem optymalnym ze względu na koszty jest wariant v2, w którym ograniczono możliwości przerobu mniejszej spalarni.

Z przeprowadzonych badań wynika także, że efektywne wykorzystanie środków wydatkowanych w zakresie gospodarki odpadami jest możliwe tylko przez rozwiązania

systemowe typu logistycznego, które będą skuteczne pod względem techniczno-informacyjnym i jednocześnie optymalne pod względem nakładów finansowych.

Zaproponowane w pracy podejście wykorzystujące rozwiązywanie zadania produkcyjno – transportowego z wypukłą funkcją kosztów powinno ułatwiać podejmowanie decyzji w procesach gospodarki odpadami.

4. BIBLIOGRAFIA

- [1] Pfohl H-Ch.: Systemy logistyczne, ILiM, Poznań 1998.
- [2] Niziński S.: Logistyka, Wydawnictwo ART, Olsztyn 1999.
- [3] Korzeń Z.: Ekologistyka, ILiM, Poznań 2001.
- [4] Bril J., Michłowicz E.: Techniczno – ekonomiczne aspekty termicznej utylizacji odpadów niebezpiecznych, Ochrona i inżynieria środowiska. Zrównoważony rozwój. Monografie Wydziału Inżynierii Mechanicznej i Robotyki AGH, Nr 38, Kraków 2009.
- [5] Michłowicz E.: Transportation – Production Task Pertaining to Waste Disposal with Use of Cost Convex Function. Polish Journal of Environmental Studies. Vol. 18, No. 3A, 2009. Hard Publishing Comp., Olsztyn.
- [6] Bellman R.: Dynamic Programming, Princeton University Press., Princeton 2003.
- [7] Sikora W: Badania operacyjne, PWE, Warszawa 2008.
- [8] Romuald W.: Metody programowania nieliniowego: minimalizacja funkcji gładkich, WN-T, Warszawa 1986.
- [9] Trzaskalik T.: Wprowadzenie do badań operacyjnych z komputerem, PWE, Warszawa 2008.
- [10] Jastrebov A.: Optymalizacja - teoria, algorytmy i ich realizacja w MatLAB-ie, Wydawnictwo Politechniki Świętokrzyskiej, Kielce 2004.

NONLINEAR OPTIMIZATION OF TRANSPORT-PRODUCTION TASK FOR PROCESSING WASTES

Abstract:

The article under consideration is to optimize transportation tasks - production for the processing of medical waste. For the existing network of collection points and processing plants, according to its algorithm, determine the optimal allocation of tasks to the cost of transport to the respective plants. It was assumed that the functions determining the processing costs are polynomials of the second degree. To solve the problem used a program written in MatLab environment equalization algorithm based on marginal cost JCC.

Key words: optimization, transport – production task, wastes.