

Krystian KALINOWSKI, Roman KAULA  
Politechnika Śląska, Gliwice

## ZAGADNIENIE TRANSPORTOWE W OPTYMALIZACJI PRODUKCJI GRUPY ZAKŁADÓW PRZERÓBKI WĘGLA

**Streszczenie.** Artykuł dotyczy zagadnień optymalizacji produkcji grupy zakładów przeróbki węgla. W pracy przedstawione zostały wyniki analizy optymalizacyjnej, dotyczącej sieci powiązań pomiędzy producentami i odbiorcami węgla, w której uwzględniono dodatkowo wpływ kosztów transportu na końcowy wynik ekonomiczny. Badania przeprowadzono metodami symulacyjnymi. Podstawę badań stanowiły modele statyczne układów technologicznych wzbogacania węgla.

## TRANSPORTATION PROBLEM IN PRODUCTION OPTIMIZATION OF GROUP OF COAL PREPARATION PLANTS

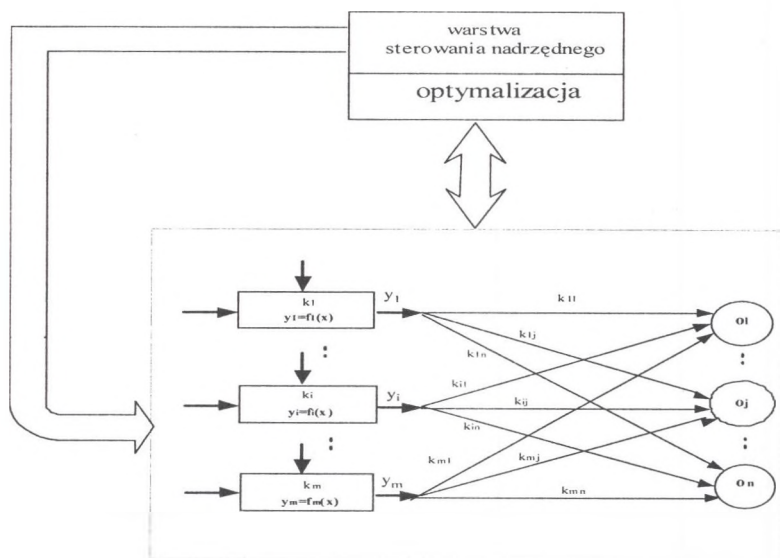
**Summary.** The paper concern problems of production optimization of a group of coal preparation plants. The results of optimization analysis have been presented. The influence of transport costs of commercial products on the final economic result was taken into consideration. Examinations were carried out with simulation methods. The research based on static models of coal preparation technological system.

### 1. Wprowadzenie

W Katedrze Elektryfikacji i Automatykacji Górnictwa Politechniki Śląskiej od kilku lat prowadzone są analizy dotyczące zagadnień sterowania i optymalizacji produkcji grupy zakładów przeróbki węgla [3, 4]. Z punktu widzenia sterowania produkcją, grupa zakładów przeróbki węgla jest układem wielowarstwowym (hierarchicznym) składającym się z kilku podsystemów o określonych funkcjach celu  $y_i$  oraz zmiennych sterowalnych  $x_i$  dla  $i$ -tego podsystemu. Poglądowy schemat takiego nadrzędnego układu sterowania obejmującego kilka podsystemów (układów technologicznych przeróbki węgla) oraz jego powiązania  $k_{ij}$

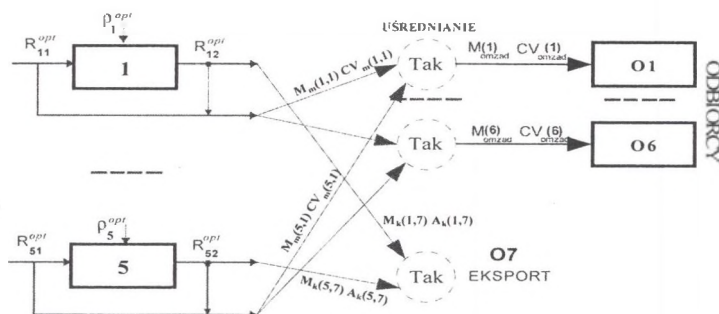
z odbiorcami węgla  $o_j$  (o określonych dla każdego odbiorcy parametrach ilościowo-jakościowych produktów) przedstawiono na rys. 1.

Analiza sieci powiązań pomiędzy grupą zakładów przerobczych i odbiorców produktów węglowych pokazuje, że realizację zawartych umów można wykonać na wiele sposobów, dostosowując odpowiednio parametry ilościowo-jakościowe produktów jednego zakładu do odpowiednich parametrów produktów innych zakładów w rozpatrywanej grupie [1, 2, 3].



Rys. 1. Schemat powiązań układu nadzrędnego przeróbki węgla  
Fig. 1. Interconnection schema of a supervisory system of a coal preparation

Na rysunku 2 pokazano analizowaną, w artykule, strukturę technologiczną systemu grupy zakładów i odbiorców węgla.



Rys. 2. Uproszczony schemat technologiczny systemu grupy zakładów i odbiorców węgla  
Fig. 2. Simplified scheme of a group of plants and coal products clients

W strukturze tej w poszczególnym  $i$ -tym zakładzie wzbogacania część nadawy ( $R_{i1}$ ) kierowana jest do osadzarki (o gęstości rozdziału  $\rho_i$ ), a pozostała część do bocznika ( $1-R_{i1}$ ). Nadawę z bocznika miesza się z częścią koncentratu z osadzarki ( $1-R_{i2}$ ) w celu uzyskania mieszanki o odpowiedniej wartości opałowej  $CV_m(i, j)$ . Mieszanka ta przeznaczona jest do utworzenia uśrednionej mieszanki  $j$ -tego odbiorcy w jego centralnym obiekcie uśredniania. Pozostała część koncentratu  $M_k(i, 7)$  o zawartości popiołu  $A_k(i, 7)$  kierowana jest do centralnego obiektu uśredniania koncentratów przeznaczonych na eksport. Uśredniona zawartość popiołu tego koncentratu powinna wynosić  $A_{kzad}$ .

## 2. Kryterium optymalizacji sieci powiązań grupy kopalń z odbiorcami

W monografii [3] przedstawiono wyniki wielu analiz dotyczących optymalizacji produkcji grupy kopalń przy określonych kryteriach optymalizacyjnych. W artykule skoncentrowano się na analizie wpływu kosztów transportu produktów handlowych (mieszanek energetycznych) na końcowy wynik ekonomiczny [5], a także na optymalną strukturę powiązań producent – odbiorca. W przeprowadzonej analizie przyjęto zatem, że funkcja celu jest zależna od dwóch składników: „cenowego” i „kosztowego”. Założono także, że możliwe są wszystkie powiązania produkcyjne zakładów przerobczych z odbiorcami energetyki zawodowej. Wobec tego przyjęte, w analizie, kryterium optymalizacyjne ma postać:

$$Max\{Z\} = Max\left\{ \sum_{i=1}^n cM_{k_i} - \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m kT_{ij}M_{m_{ij}} \right\} \quad (1)$$

z ograniczeniami nałożonymi na parametry jakościowe i ilościowe produktów:

$$A_k : A_{k_{zad}} \leq A_k \leq A_{k_{max}}, \quad CV_m \geq CV_{m_{zad}}, \quad M_m = M_{m_{zad}} \quad (2)$$

gdzie:  $Z$  – zysk, zł,

$M_{m_{ij}}$  – masa mieszanki energetycznej  $j$ -tego odbiorcy od  $i$ -tego producenta, Mg,

$M_{k_i}$  – masa koncentratu  $i$ -tego produktu, Mg,

$c$  – cena jednostkowa koncentratu, zł/Mg,

$k$  – koszty jednostkowe transportu produktów, zł/(Mg·km),

$T_{ij}$  – odległość  $j$ -tego odbiorcy od  $i$ -tego producenta, km,

$A_k$  – zawartość popiołu koncentratu na eksport, %,

$CV_{m_j}$  – wartość opałowa  $j$ -tego produktu mieszanki, kJ/kg.

Na całkowite koszty transportu składa się suma kosztów pojedynczych kontraktów  $i$ -tego producenta – z  $j$ -tym odbiorcą. Koszty transportowe pojedynczego kontraktu są określone jako iloczyn ilości dostarczonych ton mieszanki energetycznej  $M_{m,jj}$  oraz odległości  $T_{ij}$  i kosztów jednostkowych  $k$ . Należy zauważyć, że przyjęte do obliczeń kryterium optymalizacji zależy od optymalnych wartości parametrów  $\rho_i^{opt}$ ,  $R_{i1}^{opt}$ ,  $R_{i2}^{opt}$ . Wynika to z powiązań pomiędzy tymi zmiennymi a parametrami ilościowo-jakościowymi węgla.

### 3. Wyniki obliczeń optymalizacyjnych

W pracy założono, że dostawy węgla będą realizowane transportem samochodowym. Przyjęto, stosowany w rozliczeniach dostawca – odbiorca, współczynnik  $k$  zł/(Mg·km) określający koszty w złotych transportu 1 tony węgla na jeden kilometr. Rozpatrzono dwa przypadki drogowych odległości pomiędzy producentami i odbiorcami węgla: rzeczywiste (związane z rzeczywistym umiejscowieniem, przyjętych do obliczeń, układów technologicznych) i hipotetyczne.

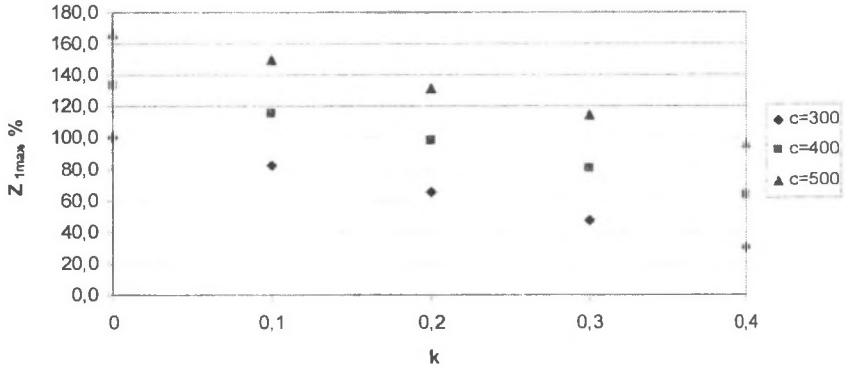
W tablicy 1 przedstawiono przyjęte do obliczeń rzeczywiste odległości  $T_{ij}$  (w kilometrach) pomiędzy kopalniami i odbiorcami energetyki zawodowej.

Tablica 1

Rzeczywista odległość  $T_{ij}$  pomiędzy  $i$ -tą kopalnią a  $j$ -tym odbiorcą

Odbiorca Kopalnia	O1	O2	O3	O4	O5	O6
K1	18	108	663	183	116	676
K2	34	101	656	176	109	645
K3	28	104	659	179	109	669
K4	17	108	662	182	117	677
K5	35	111	666	186	100	660

Na rysunku 3 przedstawiono wyniki optymalizacji przeprowadzonej dla kryterium opisanego wzorem (1). Dla porównania przeprowadzono obliczenia dla wartości:  $k=\{0; 0,1; 0,2; 0,3; 0,4\}$  oraz  $c=300, 400$  i  $500$  zł. Otrzymano w ten sposób krzywe zależności  $Z_{max}=f(c,k)$ . Dla łatwiejszej ilustracji wyniki zaprezentowano w procentach. Wartością odniesienia było ( $Z=100\%$ ), przyjęto przypadek  $Z=f(300;0)$ .



Rys. 3. Optymalna wartość  $Z_1$  przy zmianach  $c$  i  $k$   
 Fig. 3. Optimum value  $Z_1$  at changes  $c$  and  $k$

Jak widać z analizy rys. 3, zależność maksymalnego zysku ( $Z_{1max}=f(c,k)$ ) od kosztów transportu i ceny koncentratu węglowego ma charakter liniowy. Przy przyjętych w artykule drogowych powiązaniach producent – odbiorca (tablica 1) uwzględnienie kosztów transportu  $k=0,1$  zł (Mg/km) powoduje zmniejszenie wartości przyjętego kryterium optymalizacyjnego o kilkanaście procent w stosunku do przypadku  $k=0$ . Przypuszcza się, że ta liniowa zależność związana jest z koncentracją producentów węgla (rozpatrywane kopalnie należą do Kompanii Węglowej, są zatem usytuowane w niewielkiej odległości od siebie i znacznej odległości od odbiorców).

W każdym z wybranych punktów analizy optymalna struktura powiązań transportowych pomiędzy producentami i odbiorcami węgla jest taka sama i wynosi 14 więzów. Ze względu na liniowe zależności  $Z_{1max}=f(c,k)$ , obliczenia optymalizacyjne wystarczy przeprowadzić jednorazowo dla  $Z_{1max}=f(c=1,k=0)$ . Wobec tego  $Z_{1max}$  dla innych wartości  $c$  i  $k$  można

wyznaczyć, stosując wzór  $Z_{1max}(c,k) = cZ_{1max}(1,0) - k(\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m T_{ij} \cdot M_{m-ij})$ .

W przypadku drugim przyjęto założenie dotyczące innego umiejscowienia producentów węgla. Odpowiada to sytuacji, w której hipotetyczni producenci znajdują się w różnych zagłębieniach węglowych i tym samym odległości pomiędzy nimi są znacznie większe niż w rozpatrywanej powyżej analizie.

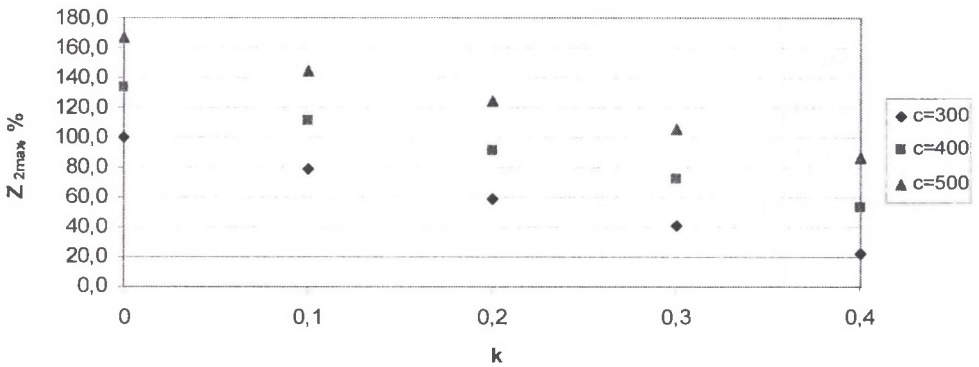
W tablicy 2 przedstawiono przyjęte do rozważań nowe odległości  $T_{ij}$  pomiędzy producentami (znajdującymi się w różnych zagłębieniach węglowych) i odbiorcami energetyki zawodowej.

Tablica 2

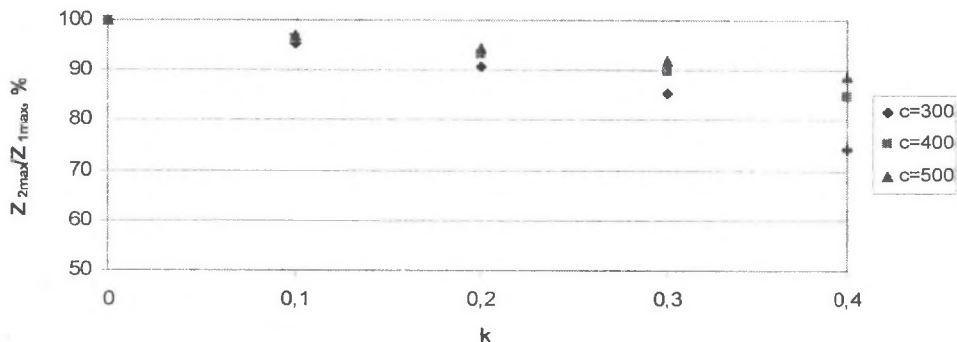
Przyjęta odległość  $T_{ij}$  pomiędzy  $i$ -tą kopalnią a  $j$ -tym odbiorcą

Odbiorca Kopalnia	O1	O2	O3	O4	O5	O6
K1	463	438	763	456	337	534
K2	33	100	656	176	109	645
K3	73	150	705	225	98	648
K4	27	140	695	215	138	698
K5	58	134	690	209	90	650

Na rys. 4 przedstawiono wyniki optymalizacji przeprowadzonej dla powiązań drogowych producent – odbiorca przedstawionych w tabelicy 2. Analogicznie jak dla analizy poprzedniej wyniki zaprezentowano w procentach.

Rys. 4. Optymalna wartość  $Z_2$  przy zmianach  $c$  i  $k$ Fig. 4. Optimum value  $Z_2$  at changes  $c$  and  $k$ 

Na podstawie rys. 4 można zauważyć, że przy tych założeniach zależność maksymalnego zysku ( $Z_{2max}=f(c,k)$ ) od kosztów transportu i ceny koncentratu węglowego ma charakter nieliniowy. Dla lepszego zobrazowania tej nieliniowości, jak również wpływu kosztów transportu na końcowy wynik ekonomiczny przedstawiono na rys. 5 zależność  $\frac{Z_{2max}}{Z_{1max}} 100\%$  od parametrów  $c$  i  $k$ .



Rys. 5. Względna wartość przyjętego kryterium optymalizacyjnego przy różnych wariantach analizy  
 Fig. 5. Relative value of accepted optimization criterion at different variants of analysis

Nieliniowość ta wynika ze zmiany optymalnej struktury powiązań producent – odbiorca przy zmianach parametrów  $c$  i  $k$ . Liczbę więzów w optymalnych strukturach przy różnych wartościach parametrów  $c$  i  $k$  przedstawiono w tabelicy 3.

Tablica 3  
 Liczba powiązań producent – odbiorca  
 w optymalnych strukturach dla różnych  $c$  i  $k$

cena koszty	c=300	c=400	c=500
k=0,1	10	11	9
k=0,2	11	11	13
k=0,3	11	12	14
k=0,4	11	13	14

Można zauważyć, że liczba powiązań producent – odbiorca zwiększa się ze wzrostem jednostkowych kosztów transportu (parametru  $k$ ) w drugim przypadku analizy.

#### 4. Wnioski

W artykule przedstawiono wyniki analizy symulacyjnej dotyczącej optymalizacji produkcji grupy kopalń z odbiorcami, z uwzględnieniem kosztów transportu produktów mieszanek energetycznych. Przyjęte w analizie kryterium optymalizacyjne składa się z dwóch

zasadniczych składników: wartości produkcji na eksport  $\left( \sum_{i=1}^n cM_{k_i} \right)$  oraz całkowitych kosztów transportu produktów do odbiorców energetyki  $\left( - \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m kT_{ij} M_{m-ij} \right)$ .

W analizie optymalizacyjnej rozważono dwa przypadki umiejscowienia producentów węgla: w jednym zagłębiu węglowym i różnych zagłębiach węglowych. W pierwszym przypadku, ze względu na niewielkie różnice w odległościach pomiędzy producentami węgla, optymalna struktura powiązań transportowych producent – odbiorca nie ulega zmianom przy różnych wartościach parametrów  $c$  i  $k$ . Zależność  $Z_{1max}=f(c,k)$  ma zatem charakter liniowy. W drugim przypadku, w którym różnice odległości pomiędzy producentami są znaczne, struktura optymalnych powiązań jest różna dla przyjętych wartości  $c$  i  $k$ . Zależność  $Z_{2max}=f(c,k)$  nie ma charakteru liniowego. Zatem, przy zmianie wartości  $c$  lub  $k$ , celem uzyskania maksimum należy za każdym razem przeprowadzić rachunek optymalizacyjny.

## BIBLIOGRAFIA

1. Cierpisz S., Kalinowski K., Kaula R., Pielot J.: Zastosowanie modeli symulacyjnych w optymalizacji produkcji grupy zakładów wzbogacania węgla. Konferencja KOMEKO: „Innowacyjne systemy przeróbki surowców mineralnych”, Szczyrk 21–23 marca 2006.
2. Cierpisz S., Kalinowski K., Kaula R., Pielot J.: Maksymalizacja wartości produkcji sortymentów handlowych węgla o zadanych wartościach opałowych w układzie grupy kopalń. Materiały XII Konferencji „Automatyzacja Procesów Przeróbki Kopalni”, Szczyrk 31 maja–2 czerwca 2006, s. 53–64.
3. Cierpisz S., Kalinowski K., Kaula R., Pielot J.: Sterowanie i optymalizacja produkcji grupy zakładów przeróbki węgla. Monografia nr 107, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2006.
4. Cierpisz S., Kalinowski K., Kaula R., Pielot J.: Analiza produkcji grupy zakładów wzbogacania węgla w warunkach zmiennej jakości wydobywanego węgla surowego. Kwartalnik Górnictwo i Geologia, tom 1, Nr 4, 2006, s. 19–31.
5. Kalinowski K., Kaula R.: Optymalizacja sieci powiązań grupy kopalń z odbiorcami węgla ze względu na koszty transportu węgla. Badania statutowe nr BK – 267/RG-1/2007, (Praca niepublikowana).

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Eugeniusz Mokrzycki