

Czesław POTOCKI
Eugeniusz KRAUSE

ZASTOSOWANIE METOD PROGRAMOWANIA MATEMATYCZNEGO
W PROJEKTOWANIU SYSTEMU ZAOPATRZENIA KOPALŃ
W KOPALNIAKI

Streszczenie. W artykule zaprezentowano próbę rozwiązania zagadnienia reorganizacji wyrobu oraz zaopatrzenia kopalń w kopalniaki w aspekcie aktualnych warunków funkcjonowania Zakładów Drzewnych Przemysłu Węglowego.

Przedstawiony w artykule model matematyczny zagadnienia centralizacji systemu zaopatrzenia oraz metody jego rozwiązania oparto na badaniach naukowych. Wykorzystanie powyższego modelu może przyczynić się do podniesienia efektywności systemu zaopatrzenia kopalń w kopalniaki w polskim przemyśle węglowym.

1. WPROWADZENIE

Zasadnicze znaczenie wobec dalszego wzrostu wydobywania węgla kamiennego odgrywa zagadnienie organizacji gospodarki drewnem prowadzonej w ramach resortu górnictwa. Przeprowadzone badania ekonometryczne dotyczące potrzeb materiałowych resortu prognozują o utrzymaniu się w następnych latach globalnego zużycia drewna na obecnym poziomie, tj. 1,3 mln m³ rocznie. Ponadto z całej ilości drewna różnego typu, zużywanego przez przemysł węglowy, główną rolę odgrywają kopalniaki, stanowiące 40% masy objętościowej z wszystkich środków obrotowych dostarczanych kopalniom.

Cały proces wyrobu i dostaw kopalniaków do kopalń począwszy od składnic przystacyjnych położonych na terenach pozyskiwania surowca kopalniakowego jest w gestii resortu górnictwa, tj. Zakładów Drzewnych Przemysłu Węglowego. Przedsiębiorstwo to dostarcza kopalniom kopalniaki produkowane aktualnie w 237 składnicach, nierównomiernie rozrzuconych na obszarze całego kraju, charakteryzujących się zróżnicowanymi mocami przerobowymi oraz poziomem techniczno-organizacyjnym. Przy tego rodzaju rozproszeniu i rozdrobnieniu składnic nie ma możliwości szerszej racjonalizacji i mechanizacji wykonywanych na nich czynności.

W małych nieregularnie pracujących składnicach trudno jest prowadzić należytą gospodarkę surowcem oraz skompletować wysyłkę zgodną co do zestawu sortymentów z zamówieniem kopalni. Zasadnicze znaczenie dla poprawy organizacji zaopatrzenia kopalń w kopalniaki mają decyzje dotyczące zmian w organizacji wyrobu jak i określenie kierunków i wielkości dostaw kopalniaków do kopalń.

W literaturze krajowej i zagranicznej bardzo niewiele miejsca poświęca się zagadnieniom organizacji gospodarki drewnem w zaopatrzeniu kopalń. W kraju na początku lat sześćdziesiątych pojawiły się publikacje, których autorzy przedstawili propozycje reorganizacji zaopatrzenia, polegające na budowie centralnych baz drzewnych zlokalizowanych w rejonie zagłębia węglowego o przerobie 250-300 tys. m³ rocznie. Propozycje te zainicjowane zostały powodzeniami przeprowadzonych reorganizacji za granicą, charakteryzujących się odmienną specyfiką występowania surowca kopalniakowego oraz organizacją wyrobu kopalniaków. Kolejna propozycja reorganizacji zaopatrzenia przedstawiona w artykule [2] zmierzała w kierunku zmian technologicznych wyrobu kopalniaków w jednostkach podległych ZDPW i była zaakceptowana przez MGİE. Koncepcja ta przewidywała reorganizację składnic przystacyjnych, polegającą na ich łączeniu w składnice zbiorcze o przerobie 25-70 tys. m³ rocznie w zależności od koncentracji surowca kopalniakowego. Łączeniem nie można objąć wszystkich składnic ze względu na zbyt duże ich rozproszenie w centralnej i wschodniej części kraju. W tych rejonach wystąpiłoby przy rejonizacji zbyt długie wydlużenie dróg zwózki surowca, przekreślając uzyskanie zamierzonego efektu. Autorzy pracy [2] sugerują, że surowiec z tak rozproszonych składnic mógłby być dostarczany do składnic interwencyjnych, zlokalizowanych na terenie zagłębia węglowego o zdolności przerobowej w granicach 100 tys. m³ rocznie.

2. SFORMUŁOWANIE PROBLEMU I JEGO MODEL MATEMATYCZNY

Czynnikami gwarantującymi poprawę efektywności funkcjonowania organizacji i zarządzenia ZDPW są przedsięwzięcia zmierzające do centralizacji wyrobu i zaopatrzenia kopalń w kopalniaki, poparte rozeznaniem problemu oraz jego naukowym rozwiązaniem. Centralizacją jednak nie można objąć wszystkich funkcjonujących składnic z uwagi na zbyt duże wydlużenie zwózki surowca kopalniakowego, przekreślając tym samym uzyskanie zamierzonego efektu ekonomicznego.

Do składnic tych zastosowano algorytm transportowy przedstawiony w pracy [1], w oparciu o który rozwiązano zagadnienie optymalnego zaopatrzenia kopalń w kopalniaki ze składnic nie objętych centralizacją.

Zasadnicze miejsce w analizie efektywności przedsięwzięcia centralizacji zajmują koszty. Podstawowymi składnikami tych kosztów są: koszty transportu surowca kopalniakowego, kopalniaków oraz uruchomienie i eksploatacji składnic zbiorczych.

W świetle powyższych uwag zadanie centralizacji sprowadza się do wyboru spośród potencjalnych kandydatów na składnice zbiorcze nieznaney z gory liczby składnic zbiorczych i jednocześnie ustalenie wielkości przewozów na trasach: składnica przystacyjna - składnica zbiorcza, składnica zbiorcza - kopalnia tak, aby zminimalizować łączny koszt transportu oraz uruchomienie i eksploatacji składnic zbiorczych. W celu realizacji po-

wyższego zadania centralizacji ograniczyć należy zbiór wszystkich składnic przystacyjnych do zbioru tych składnic przystacyjnych, która powinny być objęte centralizacją.

Tak sformułowanemu problemowi centralizacji odpowiada model matematyczny o postaci:

Zminimalizować:

$$\sum_{p \in P} \sum_{z \in Z} a_{pz} x_{pz} + \sum_{z \in Z} \sum_{k \in K} b_{zk} y_{zk} + \sum_{z \in Z} f_z \left(\sum_{p \in P} x_{pz} \right) \quad (1)$$

przy warunkach:

$$\sum_{z \in Z} x_{pz} = A_p \quad p \in P \quad (2)$$

$$\sum_{z \in Z} y_{zk} \leq B_k \quad k \in K \quad (3)$$

$$\sum_{p \in P} x_{pz} - \sum_{k \in K} y_{zk} = 0 \quad z \in Z \quad (4)$$

$$30000 \leq \sum_{p \in P} x_{pz} \leq 70000 \quad \text{lub} \quad \sum_{p \in P} x_{pz} = 0 \quad z \in Z \quad (5)$$

$$x_{pz}, y_{zk} \geq 0 \quad p \in P \quad z \in Z \quad k \in K \quad (6)$$

gdzie:

- p - indeksy składnic przystacyjnych objętych centralizacją,
- z - indeksy składnic zbiorczych,
- k - indeksy docelowych stacji PKP (miejscowości odbioru kopalniaków przez kopalnie),
- P - zbiór numerów składnic przystacyjnych objętych centralizacją,
- K - zbiór docelowych stacji PKP (miejscowości odbioru kopalniaków przez kopalnie),
- Z - zbiór numerów składnic zbiorczych,
- a_{pz} - jednostkowe koszty transportu drewna kopalniakowego na trasie składnica przystacyjna "p" - składnica zbiorcza "z",
- b_{zk} - jednostkowe koszty transportu kopalniaków PKP na trasie składnica "z" - docelowa stacja "k",
- $f_z \left(\sum_{p \in P} x_{pz} \right)$ - funkcja opisująca zależność kosztu budowy i eksploatacji składnicy zbiorczej "z" od jej mocy przerobowej,
- x_{pz} - zmienna decyzyjna wyrażająca ilość drewna kopalniakowego w $[m^3]$, przewożona ze składnicy przystacyjnej "p" do zbiorczej "z",

y_{zk} - zmienna decyzyjna wyrażająca ilość kopalniaków [m^3], przewożona ze składnicy zbiorczej "z" do stacji docelowej PKP "k".

W funkcji (1) dwa pierwsze składniki obejmują łączne koszty transportu surowca kopalniakowego do składnic zbiorczych i kopalniaków ze składnic zbiorczych do kopalń, natomiast trzeci opisuje koszty uruchomienia i eksploatacji wszystkich składnic zbiorczych.

Warunek przedstawiony równaniem (2) zapewnia rozdysonowanie całej podaży drewna kopalniakowego składnic przystacyjnych, natomiast nierówność (3) gwarantuje, że suma dostaw kopalniaków ze składnic zbiorczych nie przekroczy zapotrzebowania stacji odbioru (wyrażających popyt kopalń).

Warunek (4) zapewnia niewystępowanie strat w składnicach zbiorczych oraz zabezpiecza przed powstawaniem w tychże składnicach niepożądanych zapasów.

Warunki (5) dotyczą przepustowości składnic zbiorczych, natomiast nierówności (6) zapewniają nieujemność wszystkich zmiennych decyzyjnych.

Postawione wzorami (1) - (6) zadanie należy do klasy zagadnień lokalizacyjno-transportowych. Ze względu na występowanie warunków logicznych (5) i trzeciej grupy składników funkcji celu (1) zadanie to nie jest zadaniem programowania liniowego. W celu rozwiązania modelu matematycznego zadania lokalizacyjno-transportowego niezbędne jest:

- a) określenie podzbioru składnic przystacyjnych, które powinny być objęte centralizacją,
- b) wytypowanie określonej liczby potencjalnych składnic zbiorczych z podzbioru określonego w punkcie a),
- c) wyznaczenie postaci analitycznej funkcji opisującej koszt uruchomienia i eksploatacji "wzorcowej" składnicy zbiorczej od jej mocy przerobowej.

Wymagania postawione w punkcie a) i b) rozwiązano metodami klasyfikacji i systematyzacji zaprezentowane w odrębnym artykule. Znalazienie zależności funkcyjnej pomiędzy przerobami składnic zbiorczych a nakładami ponoszonymi na ich budowę i eksploatację podjęto opracowując funkcję dla "wzorcowej" składnicy zbiorczej o przerobie 30-70 tys. m^3 rocznie. Informacje wyjściowe dla zbudowania powyższej funkcji pochodziły z projektów 4 projektowanych składnic zbiorczych zrealizowanych przez BPPW. Określenie postaci analitycznej funkcji kosztów uruchomienia i funkcjonowania "wzorcowej" składnicy zbiorczej o przerobie w przedziale $< 30, 70 >$ tys. m^3 rocznie zrealizowano w oparciu o:

- test zgodności dla określenia rozkładu statystyki danych dotyczących kosztów eksploatacji składnic funkcjonujących,
- generatory określonego rozkładu dla utworzenia próby statystycznej,
- estymację statystyczną utworzonej próby.

W wyniku powyższego otrzymano funkcję postaci:

$$K = 264 \cdot 75P + 7910 \cdot 97,$$

(7)

gdzie:

K - koszty uruchomienia i funkcjonowania "wzorcowej" składnicy zbiorczej w [tys. zł],

P - moc przerobowa składnicy w [tys. m³] rocznie w przedziale $< 30, 70 >$ tys. m³ rocznie.

Współczynnik kierunkowy prostej opisuje zależność kosztu eksploatacji składnicy zbiorczej od jej mocy przerobowej. Wielkość 7910.97 tys. zł jest stałym kosztem wytworzenia "wzorcowej" składnicy zbiorczej.

Dotychczas nie jest znana uniwersalna metoda rozwiązywania problemów lokalizacyjno-transportowych nejogólniejszej postaci. Przy zdefiniowaniu funkcji $f_z(\sum_{p \in P} x_{pz})$ będącej linią prostą zagadnienie lokalizacyjno-transportowe sprowadzić można do zadania programowania liniowego w liczbach całkowitych PLC.

3. ROZWIĄZANIE MODELU LOKALIZACYJNO-TRANSPORTOWEGO

Problem lokalizacji składnic zbiorczych rozwiązać można poprzez minimalizację sumy kosztów wytwarzania kopalniaków w składnicach oraz kosztów dwuetapowego zagadnienia transportowego. Na koszt wytwarzania kopalniaków w składnicach zbiorczych składają się koszty stałe i zmienne. Koszt zmienny interpretować można jak bieżący koszt eksploatacji, zależy od ilości produkowanych kopalniaków w składnicach, natomiast koszt stały traktowany jest jako koszt budowy (uruchomienia) składnicy zbiorczej. Dlatego do kosztów wytwarzania przyjęto 1/5 kosztów inwestycyjnych, przyjmując 5-letni okres zwrotu nakładów inwestycyjnych.

Przy powyższych rozwiązaniach zadanie określone wzorami (1) - (6) można przedstawić w postaci:

Zminimalizować:

$$\sum_{p \in P} \sum_{z \in Z} a_{pz} x_{pz} + \sum_{z \in Z} \sum_{k \in K} r_{zk} y_{zk} + \sum_{z \in Z} d_z v_z \quad (8)$$

przy warunkach:

$$\sum_{z \in Z} x_{pz} = A_p \quad p \in P \quad (9)$$

$$\sum_{z \in Z} y_{zk} \leq B_k \quad k \in K \quad (10)$$

$$\sum_{z \in Z} x_{pz} - \sum_{k \in K} y_{zk} = 0 \quad z \in Z \quad (11)$$

$$\sum_{z \in Z} y_{zk} - 70000 v_z \leq 0 \quad z \in Z \quad (12)$$

$$\sum_{z \in Z} y_{zk} - 30000 v_z \geq 0 \quad z \in Z \quad (13)$$

$$0 \leq v_z \leq 1 \quad z \in Z \quad (14)$$

$$v_z - \text{całkowite} \quad z \in Z \quad (15)$$

$$x_{p,z} \geq 0 \quad y_{zk} \geq 0 \quad p \in P, z \in Z, k \in K \quad (16)$$

Interpretacja zmiennych i parametrów występujących w zadaniu (1) - (6) nie ulega zmianie we wzorach (8) - (16). Ponadto we wzorach (8) - (16) wprowadzono następujące zmienne i stałe:

$$r_{zk} = b_{zk} + c_z, \quad (17)$$

gdzie:

r_{zk} - jednostkowe koszty transportu kopalniaków ze składowicy zbiorczej "z" do kopalni "k", powiększone o jednostkowe koszty zmienne, związane z eksploatacją składowicy zbiorczej,

c_z - współczynnik kierunkowy funkcji liniowej aproksymującej funkcję $f_z(\sum_{p \in P} x_{pz})$ dla "wzorcowej" składowicy zbiorczej,

d_z - koszt stały związany z uruchomieniem zbiorczej składowicy, wyraz wolny ze wzoru (7),

v_z - zmienna decyzyjna lokalizacji "z" składowicy zbiorczej

$$v_z = \begin{cases} 1 & \text{jeżeli } 30000 \leq \sum_{k \in K} y_{zk} \leq 70000 \\ 0 & \text{w przeciwnym przypadku} \end{cases} \quad (18)$$

Jeżeli w rozwiązaniu zagadnienia (8) - (16) zmienna decyzyjna $v_z = 1$ oznacza, że należy podjąć decyzję o uruchomieniu składowicy zbiorczej "z", decyzja przeciwna, jeśli $v_z = 0$. W wyniku rozwiązania fazy ciągłej zadania (8) - (16) bez warunku (15) otrzymano optymalne rozwiązanie problemu metodą programowania liniowego. W skład rozwiązywanego zagadnienia wchodziło 367 równań i nierówności oraz 1460 zmiennych decyzyjnych, w tym 44 całkowitoliczbowe. Rozwiązanie optymalne programowania liniowego stanowiło punkt wyjścia do rozwiązania zadania lokalizacyjno-transportowego metodą podziału i ograniczeń programowania całkowitoliczbowego.

W rozwiązywanym zagadnieniu wszystkie dane liczbowe oparte były na cennikach oraz rzeczywistych wielkościach odzwierciedlających warunki funkcjonowania Zakładów Drzewnych Przemysłu Węglowego. Rozwiązanie opty-

malne metodą podziału i ograniczeń pozwoliło wyznaczyć lokalizację 17 składnic zbiorczych o przerobach z przedziału $< 30, 70 >$ tys. m³ rocznie (z potencjalnego wytypowanego zbioru 44 składnic), określić wielkość dostaw surowca kopalniakowego do tych składnic oraz wielkości dostaw kopalniaków ze składnic zbiorczych do kopalń. Wyniki obliczeń zawierają tablice (12), (13), (13a) w pracy [1]. Ponadto w pracy [1] dla składnic nie objętych centralizacją zaproponowano rozwiązanie w oparciu o algorytm Forda-Fulkersona.

W wyniku rozwiązania modelu centralizacji objęto składnice o sumarycznym przerobie $\approx 61\%$ całkowitego przerobu kopalniaków realizowanego w ramach ZDPW.

4. WNIOSKI

1. Rozwiązanie modelu lokalizacyjno-transportowego, którego wynikiem jest ustalenie optymalnych lokalizacji składnic zbiorczych, stanowi wytyczne w operatywnym planowaniu przedsięwzięć centralizacji, będąc jednocześnie naukowym studium, które winno poprzedzić techniczne projektowanie składnic zbiorczych.

2. Określenie kierunków i wielkości dostaw kopalniaków do kopalń z optymalnie zlokalizowanych składnic zbiorczych, rozwiązuje dystrybucję przy minimalizacji kosztów transportu oraz uruchomienie i eksploatacji zlokalizowanych składnic zbiorczych.

3. Algorytm metody podziału i ograniczeń w rozwiązywanym zagadnieniu centralizacji wykazał dużą efektywność w przeprowadzonych obliczeniach na maszynie cyfrowej.

LITERATURA

- [1] Krause E.: Organizacja gospodarki drewnem w resorcie górnictwa z zastosowaniem metod programowania matematycznego. Praca doktorska, Politechnika Śląska 1983.
- [2] Marcinek R., Węgierski J.: Reorganizacja zaopatrzenia kopalń w kopalniaki w polskim przemyśle węglowym. Przegląd Górniczy nr 6/1968.
- [3] Zorychta K., Ogryczak W.: Programowania liniowe i całkowitoliczbowe. WNT, Warszawa 1981.

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ МАТЕМАТИЧЕСКОГО ПРОГРАММИРОВАНИЯ ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СИСТЕМ СНАБЖЕНИЯ ШАХТ КРЕПЕЖНЫМ ЛЕСОМ

Резюме

В статье представлена попытка решения проблемы реорганизации задания а также снабжения шахт крепёжным лесом в аспекте актуальных условий функционирования Предприятий Древесины Угольной Промышленности.

В статье дана математическая модель проблемы централизации системы снабжения а также методы его решения, основанные на научных исследованиях. В результате это повысит эффективность системы снабжения шахт крепёжным лесом в польской угольной промышленности.

THE USE OF MATHEMATICAL PROGRAMMING METHODS FOR DESIGNING MINE TIMBER SUPPLY SYSTEMS

Summary

In the paper is presented an attempt at solving the problems of re-organization of the product and supplying the mines with timber in view of the present conditions in the coal industry timber plants. The presented mathematical model of the problem of centralization of the supply system and the methods of its solution are based on scientific studies. As a result, the efficiency of the mine supply system in the Polish coal industry will be raised.