ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1991

Seria: BUDOWNICTWO z.75 Nr kol. 1128

Bruno OBUCHOWICZ
Politechnika Krakowska

USTALENIE ROZMIESZCZENIA I WIELKOŚCI BAZ MATERIAŁÓW, SPRZĘTU I ROBOCIZNY PRZY ZASTOSOWANIU METODY OPTYMALIZACJI

Streszczenie. W pracy przedstawiono oryginalną metodę pozwalającą wyznaczyć optymalne wielkości baz maszyn, elementów nawierzchni i siły roboczej dla potrzeb utrzymania nawierzchni oraz optymalne ich rozmieszczenie. Zastosowano metodę programowania liniowego. Jako kryterium optymalizacji przyjęto minimum łącznych kosztów napraw nawierzchni dla analizowanej sieci, w określonym czasie. Widzi się możliwość zastosowania podanego rozwiązania w budownictwie drogowym i kubaturowym.

1. Wprowadzenie

W procesie eksploatacji nawierzchni kolejowej występuje zagadnienie cyklicznych napraw. Współczesne technologie wymagają budowy i organizacji baz materiałowych, baz maszyn oraz zaplecza dla pracowników - zwanych dalej bazami naprawczymi typu M,S i R.

Dla odcinków sieci o różnym natężeniu przewozów występują różne długości okresów międzyremontowych, co w rozbudowanej sieci spowoduje znaczne zróżnicowanie terminów napraw i ich zakresów. W warunkach dostatecznego wyprzedzającego rozpoznania sytuacji przewozowej możliwe jest opracowanie prognozy (planu) napraw dla całej sieci na stosunkowo długi okres, zwany horyzontem planowania. Do podejmowania decyzji o znaczeniu długoterminowym, takich jak np. lokalizacja baz naprawczych horyzont winien być odległy (około 20 lat).

Formułując założenia metody optymalizacji rozmieszczenia i wielkości baz naprawczych, przyjmujemy, że:

- optymalizacja dotyczy skończonego okresu - określony horyzontem planowania,
- w okresie tym znane są zapotrzebowania na środki w zakresie materiałów, maszyn i robocizny,
- znane są wszystkie możliwe lokalizacje baz wg typów i ograniczenia ich wielkości,
- znane są koszty jednostkowe budowy bazy w każdej lokalizacji,
- znane są parametry ekonomiczne eksploatacji baz w zależności od ich lokalizacji.

Celem niniejszego opracowania jest:

- Opracowanie metody optymalizacji rozmieszczenia baz oraz ich wielkości przy zastosowaniu kryterium minimalizacji łącznych kosztów budowy i eksploatacji systemu baz w zadanej sieci transportowej.

2. TEORETYCZNE SFORMUŁOWANIE PROBLEMU

Załóżmy, że znana jest sieć transportowa oraz spełnione są wszystkie założenia problemu optymalizacji. Zatem dla każdego przedziału czasu t (np.roku) można zbilansować potrzeby w zakresie materiałów (M),sprzętu (S)i robocizny (R), przez co możliwy jest do ustalenia bilans potrzebnej mocy przerobowej wszystkich baz. Wśród zespołu rozważanych baz może być rozróżniana specyfika w zależności od przystosowania baz do stosowanej technologii napraw i rodzaju napraw. Bilansowanie mocy przerobowej winno być prowadzone z uwzględnieniem specyfikacji baz tak, aby każda relacja bilansowa odniesiona była do zespołu baz jednorodnych. Maksymalny poziom potrzebnej mocy produkcyjnej w okresie T, w zakresie k-tego rodzaju baz, wynikający z bilansu oznaczymy przez P_k, gdzie:

$$P = \max_{1 \leq r \leq T} \{P_k^r\} \qquad (1)$$

Jeśli w rejonie rozważanej sieci istnieją możliwości rozmieszczenia baz k-tego rodzaju w różnych lokalizacjach, przeto musi być spełniony warunek łącznej mocy wszystkich baz w postaci:

$$\sum_{i=1}^{n} X_{ik} = P_k \qquad \text{dla } k = 1,2,\ldots\ldots m \qquad (2)$$

gdzie:

X_{ik} - moc produkcyjna bazy k-tego rodzaju w i-tej lokalizacji,
P_k - potrzebna łączna moc baz,
m - ilość rodzajów baz,
n - ilość możliwych lokalizacji.

Wielkości X_{ik} są zmiennymi decyzyjnymi poszukiwanymi dla optymalnego rozwiązania zagadnienia. Wielkości te muszą ponadto spełnić warunki wynikające z charakteru każdej dopuszczalnej lokalizacji, nie mogą bowiem przekroczyć pewnej górnej granicy dla danej lokalizacji. Ograniczenia te istnieją obiektywnie i muszą być znane i zapiszą się w postaci:

$$0 \leq X_{ik} \leq P_{ik} \qquad \text{dla } k = 1,2,\ldots m, \quad i = 1,2,\ldots n$$

Spełnienie warunków(1) i (2) w odniesieniu do wszystkich zmiennych X_{ik} rozwiązuje postawiony problem od strony technicznej. Każdy bowiem wariant rozmieszczenia mocy produkcyjnej wszystkich rodzajów potrzebnych baz, dla którego spełnione są warunki (1) i (2) , gwarantuje pokrycie zapotrzebowania na moc produkcyjną w całym okresie planowania T oraz uwzględnia możliwości terenowe rozmieszczenia baz. Jednakże istnieje w dalszym ciągu problem ekonomiczny związany z decyzją wyboru najwłaściwszego wariantu rozmieszczenia baz i ich wielkości. Pojawiają się tu dwie grupy kosztów:

- koszty budowy baz (ewentualnie łącznie z ich likwidacją),

- koszty eksploatacji systemu baz.

Weźmiemy pod uwagę obie te grupy kosztów, ale tylko w części zależnej od zmiennych decyzyjnych. Elementy kosztów, które nie zależą od zmiennych decyzyjnych, nie wpływają na położenie ekstremum funkcji kosztów, a więc mogą być pominięte.

Funkcja kosztów zapisze się w postaci:

$$K_T = K_B + K_E^T ,$$

gdzie:

K_T - całkowite koszty systemu baz w okresie T,

K_B - koszty budowy systemu baz,

K_E^T - koszty eksploatacji systemu baz w okresie T.

Koszty budowy systemu baz są sumą kosztów dla wszystkich baz, przy czym koszt budowy poszczególnej bazy jest funkcją wielkości bazy (a więc zmiennej X_{ik}) .

Otrzymamy więc:

$$K_B = \sum_{k=1}^{m} \sum_{i=1}^{n} f_{ik}(X_{ik}) . \qquad (3)$$

Natomiast koszty eksploatacji systemu baz zależą zarówno od rozmieszczenia baz, jak również od sposobu dyspozycji mocą poszczególnych baz w odniesieniu do remontowanego układu sieci.

Przy zróżnicowanym zapotrzebowaniu na moc poszczególnych baz w okresie T, uwzględniającym zmienną alokację potrzeb mocy w sieci, niezbędne jest sterowanie rozdziałem posiadanej mocy produkcyjnej do wykonywania kolejnych zadań naprawczych.

W niniejszym opracowaniu założymy, że wybór wariantu rozdysponowania mocy baz na zadania będzie odniesiony każdorazowo do okresu 1 roku. Jeśli zatem sieć transportowa złożona jest z szeregu odcinków wg organizacyjnego podziału sieci dla celów naprawczych, z których każdy w określonym roku r stwarza zapotrzebowanie mocy bazy k-tego rodzaju w wielkości P_{ikr}, wówczas równanie bilansowe dla l-tego odcinka zapisze się:

$$\sum_{i=1}^{m} Y_{ilkr} = P_{lkr} \qquad \text{dla } l = 1,2,\ldots\ldots s, \quad r = 1,2,\ldots\ldots T, \quad k = 1,2,\ldots\ldots m \qquad (4)$$

gdzie: Y_{iklr} - zmienna decyzyjna określająca moc produkcyjną i-tej bazy k-tego rodzaju przeznaczoną w roku r do prac remontowych na odcinku l.

Zmienne decyzyjne Y_{ilkr} są ograniczone od dołu wartością zero i od góry mocą bazy, z której są dysponowane. Suma bowiem mocy rozdysponowanej w dowolnym roku z jednej bazy na różne odcinki nie może przekroczyć zdolności produkcyjnej tej bazy.

Otrzymamy zatem:

$$\sum_{l=1}^{s} Y_{ilkr} \leq X_{ik} \qquad i = 1,2,\ldots\ldots n \qquad (5)$$

$$Y_{ilkr} \geq 0 \qquad k = 1,2,\ldots\ldots m \quad r = 1,2,\ldots\ldots T \quad l = 1,2,\ldots\ldots s$$

Składowa kosztu eksploatacji systemu baz zależna od rozmieszczenia, wielkości i sposobu dysponowania mocą produkcyjną w systemie zapisze się jako liniowa forma zmiennych Y_{ilkr}. Zespoły środków produkcji określone pośrednio i syntetycznie poprzez zmienną decyzyjną Y_{ilkr} muszą być bowiem przemieszczane z baz do miejsca wykonywania napraw. Tej operacji towarzyszą koszty dodatkowe niezależne od kosztów prac bezpośrednio związanych z naprawą. Każdemu wariantowi rozdysponowania mocy produkcyjnej baz w danym roku towarzyszy na ogół inny koszt wykonywania napraw w odniesieniu do całej sieci i całego systemu. Ogólnie koszt ten zapisze się:

$$K_E^r = \sum_{i=1}^{n} \sum_{l=1}^{s} \sum_{k=1}^{m} k_{ilk} Y_{ilkr} \qquad r = 1,2,\ldots T \qquad (6)$$

gdzie: k_{ilk} - koszty związane z przemieszczaniem środków produkcji z i-tej bazy na l-ty odcinek odpowiadające umownej jednostce mocy bazy k-tego rodzaju.

Łączne koszty eksploatacji w systemie w okresie T wyniosą:

$$K_E^T = \sum_{r=1}^{T} K_E^r = \sum_{i=1}^{n} \sum_{l=1}^{s} \sum_{k=1}^{m} \sum_{r=1}^{T} k_{ilk} Y_{ilkr} \qquad (7)$$

Ostatecznie więc funkcja kryterium w problemie optymalizacji rozmieszczenia i wielkości baz zapisze się:

$$K_T = \sum_{k=1}^{m} \sum_{i=1}^{n} f_{ik}(x_{ik}) + \sum_{i=1}^{n} \sum_{l=1}^{s} \sum_{k=1}^{m} \sum_{r=1}^{T} k_{ilk} Y_{ilkr} = \min \qquad (8)$$

przy ograniczeniach:

$$\sum_{i=1}^{n} x_{ik} = P_k$$

$$x_{ik} \leq P_{ik}$$

$$\sum_{i=1}^{n} Y_{ilkr} = P_{lkr}$$

$$\sum_{l=1}^{s} Y_{ilkr} \leq x_{ik}$$

$$x_{ik} \geq 0$$

$$Y_{ilkr} \geq 0 \qquad \text{dla } i = 1,2,\ldots n; \; k = 1,2,\ldots m; \; l = 1,2,\ldots s; \; r = 1,2,\ldots T$$

Powyższy model optymalizacji w zasadzie nie jest modelem liniowym, gdyż występujące w funkcji kryterium funkcje $f_{ik}(x_{ik})$ w rzeczywistości nie są liniowe. Z dotychczasowych badań jednakże wynika, że funkcje te mogą być aproksymowane przy użyciu funkcji liniowych i wówczas problem przekształca się w zagadnienie programowania liniowego, dla którego adekwatny jest model wyżej zapisany.

3. DYSKUSJA MODELU OPTYMALIZACJI ROZMIESZCZENIA BAZ

Formalny zapis modelu wyraża schematyczną organizację uwarunkowań i związków technicznych pomiędzy różnorodnymi wielkościami decyzyjnymi kształtującymi ekonomiczne wyniki pracy systemu baz w ograniczonym terenie i w ograniczonym czasie. W zapisie modelowym występują merytorycznie dwa rodzaje zmiennych decyzyjnych:

- zmienne x_{ik} - określające wielkość bazy k-tego rodzaju w i-tej lokalizacji,
- zmienne Y_{ilkr} - określające rozdysponowanie mocy i-tej bazy k-tego rodzaju na odcinek l w roku r.

Głównym celem w rozwiązaniu problemu jest odnalezienie takich wartości zmiennych x_{ik}, dla których funkcja kryterium przyjmuje wartość najmniejszą. Jednakże pominięcie zmiennych Y_{ilkr} nie jest możliwe ze względu na ich związek z zmiennymi x_{ik}. Sposób formułowania kryterium wygodny z matematycznego punktu widzenia wymaga uściślenia interpretacji składowej funkcji kryterium odniesionej do kosztów budowy baz. Funkcje $f_{ik}(x_{ik})$ będące reprezentantem tych kosztów muszą posiadać formę liniową, a merytorycznie obejmować wszystkie te grupy kosztów, które składają się na budowę i demontaż baz, jak też ich utrzymanie w fazie eksploatacji. Natomiast wszystkie składowe kosztów zależne wyłącznie od relacji baza-szlak objęte są zapisem sumacyjnym drugiego członu funkcji kryterium. Ten fakt winien być uwzględniony w kalkulacji współczynników kosztów oznaczonych symbolem k_{ilk}.

W ogólnym ujęciu funkcje $f_{ik}(x_{ik})$ zapiszą się:

$$f_{ik}(x_{ik}) = B_{ik}(x_{ik}) + U_{ik}(x_{ik})$$

gdzie: $B_{ik}(x_{ik})$ - funkcja kosztów budowy i demontażu bazy k-tego rodzaju w i-tej lokalizacji,

$U_{ik}(x_{ik})$ - funkcja kosztów utrzymania i produkcji na bazie jw.

Funkcje B i U dla każdej lokalizacji i rodzaju bazy muszą być określone odrębnie. Natomiast współczynniki kosztów k_{ilk} określające wydatki na transport środków w relacji i-l muszą być kalkulowane dla każdej lokalizacji bazy i każdego odcinka robót oddzielnie.

Głównym jednak elementem rozróżniającym sposób kalkulacji jest rodzaj transportowanych środków produkcji.

Dla transportu materiałów nawierzchniowych z i-tej bazy na l-ty odcinek wydatki można określić wzorem:

$$k_{ilk} = 2\, e_1\, L_{il}$$

gdzie: e_1 - koszt transportu materiałów dla naprawy 1 km pociągiem na odległość 1 km,

L_{il} - odległość transportu z i-tej bazy na l-ty odcinek.

Wydatki na dowóz robotników zapiszą się:

$$k_{ilk} = 2\left(\frac{KG_s}{V_r} + e_2 K\right) L_{il} ,$$

gdzie: K - ilość dowożonych robotników,

G_s - średnia stawka godzinowa,

V_r - średnia prędkość dowozu,

e_2 - koszt przewozu 1 robotnika na odl. 1 km.

Natomiast wydatki na dowóz sprzętu można określić wzorem:

$$K_{ilk} = e_3 \left(\frac{1}{V_r} - \frac{1}{V_t}\right) \left(1 + \frac{\left(\frac{1}{V_r} - \frac{1}{V_t}\right) L_{il}}{i_s - J}\right) L_{ie}$$

gdzie: e_3 - koszt 1 pociągogodziny pociągu roboczego,

V_r - średnia prędkość pociągów roboczych,

V_t - średnia prędkość pociągów towarowych,

J - odstęp między posterunkami blokowymi (w czasie)

i_s - średni odstęp między pociągami.

W podsumowaniu należy stwierdzić, że znajomość funkcji kosztów budowy baz w każdej z możliwych lokalizacji oraz jednostkowych kosztów transportu z baz na odcinki pozwala na numeryczne rozwiązanie zagadnienia. Jeśli funkcje kosztów budowy baz są liniowe, to rozpatrywane zagadnienie jest zagadnieniem programowania liniowego wobec liniowości wszystkich pozostałych form występujących w zapisie modelu. Jeśli natomiast funkcje $f_{ik}(x_{ik})$ nie są liniowe, wówczas pojawiają się trudności w numerycznym rozwiązaniu zagadnienia ze względu na nieliniową formę programowania. W tej sytuacji należy dążyć do odnalezienia rozwiązań przybliżonych przez zastępowanie funkcji nieliniowych funkcjami liniowymi.

Wygodne rozwiązanie rachunkowe przedstawionego zagadnienia można uzyskać

przez zastosowanie np. algorytmu sztucznej bazy.

WNIOSKI

1. Przedstawiona metoda może być stosowana przy podejmowaniu decyzji o lokalizacji nowych baz, rozbudowie baz istniejących i budowie baz tymczasowych.
2. Nowe technologie napraw bieżących i głównych pociągają za sobą konieczność zmian w zakresach prac baz, a przedstawiony sposób obliczeń może być zastosowany do określenia ich wielkości i zakresu działania.
3. Analiza lokalizacji i wielkości baz istniejących pozwoli uzyskać pogląd odnośnie do celowości zmian w tym zakresie poprzez wyliczenie ewentualnych strat i kosztów przy utrzymaniu istniejącego układu baz.

LITERATURA

[1] Gass Saul I.: Programowanie liniowe, PWN, Warszawa 1973.
[2] Michalski Cz.W.: Zarys ekonomiki transportu kolejowego, WKiŁ, Warszawa 1971.
[3] Węgierski J.: Metody probalistyczne w projektowaniu transportu szynowego, WKiŁ, Warszawa 1971.
[4] Cyunel B.: Organizacja i ekonomika budownictwa komunikacyjnego, PWN, Warszawa, 1980.

Recenzent: Doc. dr hab. inż. Bożysław Bogdaniuk

Wpłynęło do Redakcji 10.02.1991

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАЗМЕЩЕНИЯ И РАЗМЕРОВ БАЗ МАТЕРИАЛОВ, ОБОРУДОВАНИЯ И СТОИМОСТИ РАБОЧЕЙ СИЛЫ С ПРИМЕНЕНИЕМ МЕТОДА ОПТИМИЗАЦИИ

Р е з ю м е

В работе представлен оригинальный метод, который позволяет оптимизировать размеры базы машин, элементов покрытия и рабочей силы для потребностей содержания покрытия, а также их оптимальное размещение. Применяется метод линейного программирования. В качестве критерия оптимизации принимается минимум общих расходов по ремонту покрытия для анализируемой сети за определенный отрезок времени. Предусматривается возможность применения данного решения в дорожном и объемном строительстве.

DETERMINATION OF LOCATION AND SIZE OF MATERIAL, STORAGES, EQUIPMENT AND LABOR RESOURCES USING THE OPTIMIZATION METHOD

S u m m a r y

An original method is presented which allows to determine optimal size of material, equipment and labor resources needed for maintanance of rail- road, as well as the best placing of the bases. Linear programming was applied. As criterium the total cost minimum of rail-road repair was accepted, for a given network and time. This solution is suggested as suitable for both road engineering and building structures.