

Metoda wyznaczania rozkładu terytorialnego napraw elementów pojazdów szynowych

W artykule przedstawiono metodę wyznaczania terytorialnego rozkładu napraw elementów pojazdów szynowych. Zadanie wyznaczenia tego rozkładu można rozwiązać metodami programowania liniowego. Prezentowana metoda bazuje na koncepcji modeli problemów transportowych i przydziału. Przyjęto dodatkowe założenie o specjalizacji zakładów naprawczych, związanej z różnymi typami elementów przeznaczonych do naprawy.

1. Wprowadzenie

W obsłudze obiektów technicznych ważne znaczenie ma tzw. terytorialny rozkład obsługi [3]. Aby wykonać naprawę elementów danego typu pojazdu szynowego należy je przemieścić z miejsca użytkowania pojazdu do zakładów naprawczych. Pojęcie „element pojazdu szynowego” będzie rozumiane zależnie od poziomu dekompozycji pojazdu jako względnie niepodzielna część całości pojazdu szynowego [1] bądź układ elementów tego pojazdu (wtryskiwacz, silnik, zestaw kołowy itp.).

Wyboru zakładu naprawczego dokonuje się na podstawie odpowiednich danych dotyczących np. odległości, kosztu, czasu, przepustowości między stanowiskiem użytkownika a stanowiskiem obsługi. Jeżeli elementów wymagających naprawy jest niewiele, to wybór miejsca ich naprawy nie stanowi złożonego problemu decyzyjnego. Pożądanym jest jednak optymalne zaplanowanie terytorialnego rozkładu napraw szczególnie wtedy gdy, liczba tych elementów przekracza możliwości naprawcze niektórych zakładów naprawczych.

Celem artykułu jest propozycja metody wyznaczania rozkładu terytorialnego napraw elementów pojazdów szynowych.

2. Sformułowanie problemu i jego model matematyczny

Naprawa elementów pojazdów szynowych może odbywać się w m liczbie zakładów naprawczych $P_i (i = 1, 2, \dots, m)$. Łączne zapotrzebowanie A^k na naprawę k -tego, $k = (1, 2, \dots, l)$, typu T_k elementu pojazdu szynowego zgłasza n lokomotywni tzn.:

$$A^k = \sum_{j=1}^n a_j^k \quad (k = 1, 2, \dots, l), \quad (1)$$

gdzie:

a_j^k – zapotrzebowanie na naprawę k -tego typu elementu pojazdu szynowego zgłaszane przez j -tą lokomotywnię $R_j (j = 1, 2, \dots, n)$.

Łączne możliwości naprawcze B zakładów naprawczych są znane i przynajmniej równe łącznemu zapotrzebowaniu zgłaszanemu przez lokomotywnie:

$$B = \sum_{i=1}^m b_i \geq A \quad (2)$$

gdzie:

b_i – możliwości naprawcze i -tego zakładu naprawczego.

Przyjmuje się założenie o specjalizacji poszczególnych zakładów naprawczych. Zakład naprawczy $P_i (i = 1, 2, \dots, m)$ może realizować naprawę każdego typu elementów T_k , ale wtedy koszt c_{ij}^k naprawy k -tego typu elementu w i -tym zakładzie jest obciążony dodatkową „karą”. Ponadto wartość kosztu naprawy powinna uwzględniać dodatkowe koszty związane np. z odległością zakładu naprawczego od lokomotywni.

Zakłada się, że zadanie jest zamknięte tzn. zapotrzebowanie lokomotywni na naprawy odpowiada dokładnie możliwościom zakładów naprawczych.

Zadanie polega na wyznaczeniu liczby elementów (zmiennych decyzyjnych) x_{ij}^k w taki sposób, aby łączny koszt naprawy K wszystkich elementów zgłoszonych przez lokomotywnie był najmniejszy.

Model matematyczny zadania można zatem zapisać w następujący sposób:

$$K = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^l c_{ij}^k \cdot x_{ij}^k \rightarrow \min \quad (3)$$

przy ograniczeniach

$$\sum_{i=1}^m \sum_{k=1}^l x_{ij}^k = a_j, \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (4)$$

$$\sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^l x_{ij}^k = b_i, \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (5)$$

$$x_{ij}^k \geq 0 \quad (6)$$

Parametry i zmienne decyzyjne modelu matematycznego podano w tabeli 1.

Parametry i zmienne decyzyjne metody wyznaczania rozkładu terytorialnego napraw elementów pojazdów szynowych

Tabela 1

Zakład naprawczy	Lokomotywownie						Możliwości naprawcze
	R_1	R_2	...	R_j	...	R_n	
P_1	c_{11}^k x_{11}^k	c_{12}^k x_{12}^k	...	c_{1j}^k x_{1j}^k	...	c_{1n}^k x_{1n}^k	$b_1^k = \sum_{j=1}^n x_{1j}^k$
P_2	c_{21}^k x_{21}^k	c_{22}^k x_{22}^k	...	c_{2j}^k x_{2j}^k	...	c_{2n}^k x_{2n}^k	$b_2^k = \sum_{j=1}^n x_{2j}^k$
⋮	⋮	⋮				⋮	⋮
P_i	c_{i1}^k x_{i1}^k	c_{i2}^k x_{i2}^k	...	c_{ij}^k x_{ij}^k	...	c_{in}^k x_{in}^k	$b_i^k = \sum_{j=1}^n x_{ij}^k$
⋮	⋮	⋮		⋮		⋮	⋮
P_m	c_{m1}^k x_{m1}^k	c_{m2}^k x_{m2}^k	...	c_{mj}^k x_{mj}^k	...	c_{mn}^k x_{mn}^k	$b_m^k = \sum_{j=1}^n x_{mj}^k$
Zapotrzebowanie na naprawę	$a_1^k = \sum_{i=1}^m x_{i1}^k$	$a_2^k = \sum_{i=1}^m x_{i2}^k$...	$a_j^k = \sum_{i=1}^m x_{ij}^k$...	$a_n^k = \sum_{i=1}^m x_{in}^k$	

Funkcja celu oraz ograniczenia są funkcjami liniowymi. Zadanie optymalnego rozkładu terytorialnego napraw elementów pojazdów szynowych można rozwiązać metodami programowania liniowego [4]. Koncepcja proponowanej metody bazuje na modelach problemów transportowych i przydziału przedstawionych np. w pracy [2].

Pewną koncepcję rozwiązywania zagadnienia terytorialnego rozkładu usług przedstawiono także w pracy [5]. Poszukiwanie rozwiązania optymalnego sprowadzało się do rozwiązywania kolejnych zadań przydziału ze zmieniającymi się ograniczeniami. Taki sposób rozwiązywania tego zagadnienia stwarza problem ustalenia kolejności typów naprawianych elementów.

2. Przykład wyznaczania optymalnego rozkładu terytorialnego napraw elementów pojazdów szynowych

Cztery lokomotywownie (R_1, R_2, R_3, R_4) zgłosiły pod koniec roku zapotrzebowanie na naprawę 32 silników spalinowych trzech typów (tab. 2). Tylko trzy spośród zakładów naprawczych wykonujących naprawy lokomotyw spalinowych mogą przeprowadzić naprawę tych silników. Łączne możliwości naprawcze poszczególnych zakładów wynoszą odpowiednio:

- Zakład naprawczy P_1 10 silników,
- Zakład naprawczy P_2 14 silników,
- Zakład naprawczy P_3 8 silników.

Wiadomo ponadto, że każdy z zakładów specjalizuje się w naprawie tylko jednego typu silnika. W pewnych sytuacjach zakład może przyjąć do naprawy dowolny typ silnika, ale koszt przeprowadzenia takiej naprawy w tym zakładzie jest znacznie większy. Przykładowe koszty naprawy poszczególnych typów silników spalinowych w danym zakładzie naprawczym przedstawiono w tabelach 3, 4 i 5.

Zapotrzebowanie na naprawę silników lokomotyw spalinowych zgłoszone przez cztery lokomotywownie oraz możliwości naprawcze zakładów naprawczych

Tabela 2

Typ silnika	Zapotrzebowanie na naprawę			
	R_1	R_2	R_3	R_4
T_1	4	2	5	1
T_2	2	2	1	3
T_3	2	4	3	3
Łącznie	8	8	9	7

Wartość kosztu naprawy danego typu silnika spalinowego w jednym z trzech zakładów naprawczych uwzględnia specjalizację zakładu oraz koszty transportu silnika do tego zakładu.

Przykładowe koszty naprawy silnika spalinowego typu T_1 w poszczególnych zakładach naprawczych

Tabela 3

Zakład naprawczy	Koszty naprawy silnika spalinowego w PLN			
	R_1	R_2	R_3	R_4
P_1	34 250,00	42 500,00	34 000,00	39 750,00
P_2	17 005,34	20 678,21	17 235,07	19 983,00
P_3	35 500,00	30 250,00	37 750,00	34 500,00

Przykładowe koszty naprawy silnika spalinowego typu T_2 w poszczególnych zakładach naprawczych

Tabela 4

Zakład naprawczy	Koszty naprawy silnika spalinowego w PLN			
	R_1	R_2	R_3	R_4
P_1	29 465,80	25 174,55	33 489,68	35 738,00
P_2	25 107,87	21 193,74	20 940,04	20 778,33
P_3	22 018,89	20 640,78	26 515,36	31 832,17

Przykładowe koszty naprawy silnika spalinowego typu T_3 w poszczególnych zakładach naprawczych

Tabela 5

Zakład naprawczy	Koszty naprawy silnika spalinowego w PLN			
	R_1	R_2	R_3	R_4
P_1	20 922,89	23 235,61	19 484,07	16 200,00
P_2	17 589,18	23 235,61	18 532,20	21 837,98
P_3	14 602,58	20 829,16	13 055,29	15 628,17

W poszukiwaniu rozwiązania optymalnego posłużono się metodami simpleks z ograniczeniami na zmienne oraz metodą „branch-and-bound” standardowo zaimplementowanymi w dodatku SOLVER programu Microsoft Excel. Wyniki obliczeń tj. optymalną liczbę silników spalinowych określonego typu, przydzieloną do naprawy w jednym z trzech zakładów naprawczych, przedstawiono w tabeli 6.

Liczba poszczególnych typów silników lokomotyw spalinowych przewidziana do naprawy w danym zakładzie naprawczym

Tabela 6

Zakład naprawczy	Liczba silników spalinowych danego typu											
	T_1				T_2				T_3			
	R_1	R_2	R_3	R_4	R_1	R_2	R_3	R_4	R_1	R_2	R_3	R_4
P_1	0	0	0	0	0	2	0	1	0	4	0	3
P_2	4	2	5	1	0	0	0	2	0	0	0	0
P_3	0	0	0	0	2	0	1	0	2	0	3	0

Zakład naprawczy P_2 specjalizuje się w naprawie silników lokomotyw spalinowych typu T_1 a ponadto koszty transportu tych silników do zakładu są stosunkowo małe. Jak wynika z przedstawionego rozwiązania (tab. 6) wszystkie silniki typu T_1 przekazane zostały do zakładu naprawczego P_2 . Prawie całkowicie wykorzystano to jego możliwości naprawcze. Zakład naprawczy P_1 przeprowadzi naprawę 3 silników typu T_2 i 7 silników typu T_3 a zakład P_3 naprawę pozostałych 3 silników typu T_2 i 5 silników typu T_3 . Tak zaplanowany rozkład napraw trzech typów 32 silników lokomotyw spalinowych pozwala na uzyskanie minimalnego łącznego kosztu ich naprawy, wynoszącego 629 742,52 PLN.

4. Uwagi końcowe

Zastosowanie metod programowania liniowego w wyznaczaniu rozkładu terytorialnego napraw elementów pojazdów szynowych jest efektywnym sposobem rozwiązywania tego typu zagadnienia. Specjalizację zakładów naprawczych można uwzględnić na różne sposoby. Jednym ze sposobów jest zastosowana w przedstawionej metodzie odpowiednia modyfikacja macierzy kosztów naprawy poszczególnych typów

elementów. Innym sposobem jest wprowadzenie dodatkowych ograniczeń w postaci macierzy możliwości naprawczych zakładów oddzielnie dla każdego typu elementu.

Przedstawiona metoda wyznaczania rozkładu terytorialnego napraw elementów pojazdów szynowych może być zastosowana do rozkładu czynności obsługowych między poszczególnymi stanowiskami obsługowymi w jednym zakładzie naprawczym.

Literatura

- [1] Gołębek A., *Eksplatacja i niezawodność maszyn*, Wydawnictwo Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 1988.
- [2] Kukula K., *Badania operacyjne w przykładach i zadaniach*, PWN, Warszawa 1999.
- [3] Niziński S., *Eksplatacja obiektów technicznych*. Wydawnictwo i Zakład Poligrafii Instytutu Technologii Eksploatacji, Radom 2002.
- [4] Stachurski A., Wierzbicki A.P., *Podstawy optymalizacji*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2001.
- [5] Тихонов Ю.Г., *Оптимализация программы заводского ремонта тепловозов, Повышение надежности тепловозов*, Москва, Транспорт 1973.