ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 2003
Seria: TRANSPPRT z.48 Nr kol. 1604

Grzegorz KAROŃ

APLIKACJE WSPOMAGAJĄCE PROCES KOORDYNACJI ZAMKNIĘĆ TOROWYCH

Streszczenie. W opracowaniu przedstawiono program wspomagający koordynację zamknięć torowych z uwzględnieniem wspólnych strat w ruchu pociągowym na przykładowym fragmencie sieci kolejowej.

APPLICATIONS FOR COORDINATION OF RAILWAY CLOSURES

Summary. The method of railway tracks closures coordination has been presented in the article. To make this coordination more efficient the software application has been designed and it has been presented on numeric example in the article.

1. WSTĘP

Planowane okresowe naprawy elementów sieci kolejowej wymagają zamykania torów szlakowych, co może zmniejszyć liczbę kursujących pociągów na szlaku, a tym samym zmniejszyć pracę przewozową. Koordynacja tych zamknięć z uwzględnieniem wspólnych strat ruchowych, przy dużej liczbie napraw, długim okresie naprawczym – kilkadziesiąt dni, dużej liczbie szlaków (ok. 400 szlaków w sieci kolejowej Śląska) jest skomplikowanym procesem. W artykule przedstawiono oprogramowanie wspomagając taką koordynację w oparciu o przykładowy fragment sieci kolejowej.

2. KOORDYNACJA ZAMKNIĘĆ TOROWYCH

Zamknięcie toru szlakowego powoduje powstanie strat ruchowych wyrażonych liczbą pociągów odwołanych na czas zamknięcia. Liczba ta jest zależna od dobowego obciążenia szlaku, rezerwy przepustowości oraz czasu trwania zamknięcia w ciągu doby. W przypadku szlaków, które posiadają rezerwę przepustowości, czas trwania zamknięcia w ciągu doby determinuje wielkość strat ruchowych na szlaku. Dla szlaków z rezerwą przepustowości ($\bar{r}_i = \frac{q_{O_i} - q_i}{24} > 0$) można określić dopuszczalną wartość tego czasu, po przekroczeniu której występują straty. Przyjmując, że dopuszczalny czas zamknięcia na szlaku powinien być taki, aby wielkość strat była równa rezerwie przepustowości, to znaczy aby pociągi odwołane na czas zamknięcia mogły zostać obsłużone w pozostałym okresie doby, otrzymuje się wartość dopuszczalnego czasu zamknięcia *k*-tego toru szlaku *i*-tego szlaku $t_{Z_{ik}}$ w zależności od obciążenia oraz rezerwy przepustowości na szlaku:

$$t_{Z_{ik}} = \begin{cases} 24 \cdot \dfrac{q_{O_i} - q_i}{q_{O_i} - q_{Z_{ik}}}, & dla \quad \bar{r}_i > 0 \quad i \quad \bar{q}_{S_{ik}} > 0 \\ 24 & dla \quad \bar{r}_i > 0 \quad i \quad \bar{q}_{S_{ik}} \le 0 \end{cases} \text{[godziny]}, \tag{2.1}$$

gdzie:

i – indeks szlaku,

k—indeks toru szlakowego,

q_i – rozkładowe natężenie ruchu na *i*-tym szlaku [1],

q_{O_i} – optymalne natężenie ruchu w warunkach normalnych (bez zamknięć) [1],

$q_{Z_{ik}}$ – optymalne natężenie ruchu podczas zamknięcia *k*-tego toru szlakowego na *i*-tym szlaku [1],

$\bar{r}_i = \frac{q_{O_i} - q_i}{24}$ - średnia rezerwa przepustowości *i*-tego szlaku na godzinę [2,3],

$\bar{q}_{S_{ik}} = \frac{q_i - q_{Z_{ik}}}{24}$ - średnia liczba pociągów odwołanych na godzinę zamknięcia *k*-tego toru szlakowego na *i*-tym szlaku [2,3].

Następnie porównując dopuszczalny czas zamknięcia $t_{Z_{ik}}$ z czasem trwania zamknięcia b_{ik} (zamknięcie na torze k-tym i-tego szlaku) można ocenić dobowe straty ruchowe s_i na i-tym szlaku spowodowane zamknięciem:

$$s_i = \begin{cases} 0, & gdy \quad b_{ik} \le t_{Z_{ik}} \\ (b_{ik} - t_{Z_{ik}}) \cdot \bar{q}_{S_{ik}}, & gdy \quad b_{ik} > t_{Z_{ik}} \\ b_{ik} \cdot \bar{q}_{S_{ik}}, & gdy \quad \bar{r}_i \le 0 \end{cases} \tag{2.2}$$

Straty ruchowe są równe zeru, gdy czas zamknięcia jest nie większy od dopuszczalnego czasu wyznaczonego z (2.1). Przekroczenie dopuszczalnego czasu generuje straty ruchowe wynikające z różnicy czasu zamknięcia i czasu dopuszczalnego oraz średnich strat godzinowych $\bar{q}_{S_{ik}}$. Na szlakach przeciążonych ($\bar{r}_i = \frac{q_{O_i} - q_i}{24} \le 0$) straty wynikają wprost z czasu zamknięcia b_{ik} oraz średnich strat godzinowych $\bar{q}_{S_{ik}}$.

Straty s_i wyrażone liczbą pociągów odwołanych z powodu zamknięcia w ciągu jednej doby. Całkowite straty ruchowe w okresie remontowym wynoszą:

$$S = \sum_{t=1}^{T} \left(\sum_{i=1}^{n} s_i \cdot x_{it} - \sum_{(i,j)\in P} x_{it} \cdot x_{jt} \cdot \min\left(s_i, s_j, \max\left(s_{ij}, s_{ji}\right)\right) \right), \tag{2.3}$$

gdzie:

x_{it}, x_{jt} – zmienne decyzyjne przyjmujące wartości 0 lub 1 w zależności od tego, czy w danym dniu t okresu remontowego T występuje zamknięcie i oraz j,

T – okres remontowy,

N – liczba zamknięć w okresie remontowym,

P – zbiór par szlaków, na których występują straty ruchowe,

s_{ij} – oczekiwana liczba pociągów, o którą zmniejszy się dobowe obciążenie szlaku j z powodu zamknięcia na szlaku i [3,4].

Straty (2.3) pomniejszane są o wspólne straty ruchowe, czyli o liczbę pociągów wspólnych na zamykanych szlakach.

Dla jednej doby liczba pociągów odwołanych stanowiących ruch wspólny wynosi [3,4]:

$$WS = \sum_{(i,j)\in P} x_{it} \cdot x_{jt} \cdot \min\left(s_i, s_j, \max\left(s_{ij}, s_{ji}\right)\right) \tag{2.4}$$

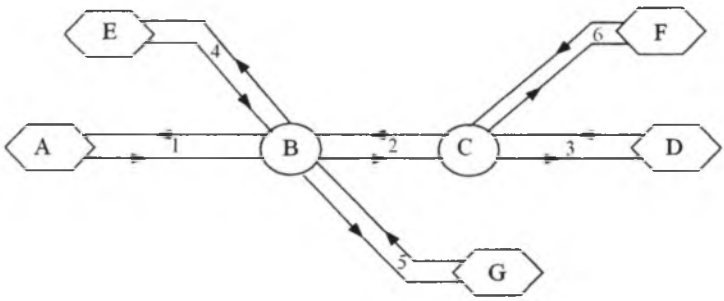
Wyodrębniając ze wzoru (2.3) całkowite wspólne straty ruchowe, otrzymujemy:

$$K = \sum_{t=1}^{T} \sum_{(i,j)\in P} x_{it} \cdot x_{jt} \cdot \min\left(s_i, s_j, \max\left(s_{ij}, s_{ji}\right)\right) \tag{2.5}$$

Koordynacja zamknięć polega na takim ich rozmieszczeniu w okresie remontowym T, aby zminimalizować całkowite straty w ruchu pociągów (2.3) poprzez maksymalizację strat wspólnych (2.5). Wyrażenie (2.5) nazywamy wskaźnikiem koordynacji.

3. KOORDYNACJA Z WYKORZYSTANIEM PROGRAMU WSPOMAGAJĄCEGO

Na rysunku 1 przedstawiono fragment sieci kolejowej składającej się z 7 węzłów oraz 6 szlaków, a w tabeli 1 rozkład potoków ruchu - w kolumnie 6 zestawiono obciążenie poszczególnych szlaków przez zsumowanie natężeń odpowiednich relacji.



Rys. 1. Przykładowy fragment sieci kolejowej składający się z 5 stacji: A, D, E , F i G oraz dwóch posterunków odgałęźnych: B i C
Fig. 1. Scheme of example railway net

Tabela 1

Potoki ruchu

Lp.	Relacja	Szlaki	Obciążenie rozkładowe relacji [pociągi/dobę]	Szlak	Natężenie na szlakach [pociągi/dobę]
1	2	3	4	5	6
1	A-(B-C)->D	1,2,3	**20**	1 (A-B)	40+40+20=**100**
2	A<-(B-C)-D	3,2,1	**20**	2 (B-C)	40+40+50+60=**190**
3	A-(B-C)->F	1,2,6	**20**	3 (C-D)	40+50=**90**
4	A<-(B-C)-F	6,2,1	**20**	4 (E-B)	70+50+60=**180**
5	A-(B)->G	1,5	**10**	5 (B-G)	20+70=**90**
6	A<-(B)-G	5,1	**10**	6 (C-F)	40+60=**100**
7	E-(B)->G	4,5	**35**	-	
8	E<-(B)-G	5,4	**35**	-	
9	E-(B-C)->D	4,2,3	**25**	-	
10	E<-(B-C)-D	3,2,4	**25**	-	
11	E-(B-C)->F	4,2,6	**30**	-	
12	E<-(B-C)-F	6,2,4	**30**	-	
Uwaga: znaki > i < oznaczają zwrot relacji, np. zapis A-(B-C)->D oznacza relację od stacji A do stacji D poprzez posterunki B i C, a zapis: A<-(B-C)-D oznacza relację od stacji D do stacji A poprzez posterunki C i B					

Przykładowy plan napraw zestawiono w tabeli 2. Dane wejściowe do programu koordynującego przechowywane są w plikach tekstowych: plan napraw (rysunek 2a) zestawiony z tabeli 2, dobowe straty ruchowe (rysunek 2b) określone na podstawie wzoru (2.2) oraz macierz związków (rysunek 2c) wyznaczona z tabeli 1.

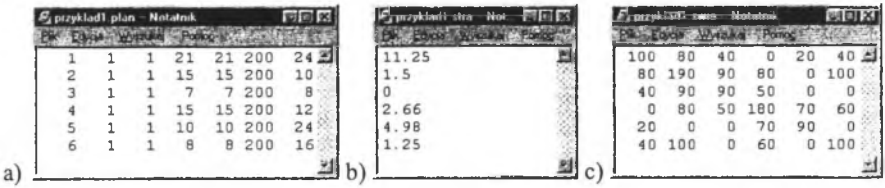
Tabela 2

Plan napraw

Nr naprawy	Dopuszczalny dzień rozpoczęcia naprawy t_{dp}	Dzień rozpoczęcia naprawy t_p	Liczba dni naprawy d	Dzień zakończenia naprawy t_k	Dopuszczalny dzień zakończenia naprawy t_{dk}	Czas trwania naprawy w ciągu doby [godz] b_i
1	*2*	*3*	*4*	*5*	*6*	*7*
1	1	1	21	21	200	24
2	1	1	15	15	200	10
3	1	1	7	7	200	8
4	1	1	15	15	200	12
5	1	1	10	10	200	24
6	1	1	8	8	200	16

Program wspomagający, po wprowadzeniu danych, umożliwia analizę różnych wariantów rozmieszczenia zamknięć w okresie remontowym z uwzględnieniem ograniczeń kolejności i jednoczesność. Poszczególne naprawy przedstawiane są w formie graficznej (wykresy Gantta) jako prostokąty o szerokości proporcjonalnej do czasu trwania (liczba dni poszczególnych napraw) tworząc graficzną prezentację

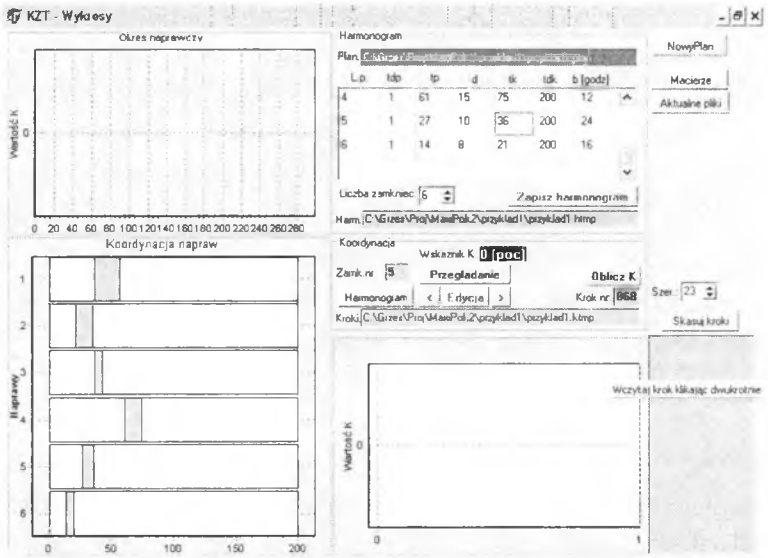
harmonogramu robót. Wartości wskaźnika koordynacji (2.5) dla każdego dnia okresu remontowego tworzy histogram wskazujący na te przedziały, w których rozmieszczanie napraw generuje największe wspólne straty ruchowe (pole histogramu równe jest wartości wskaźnika koordynacji).



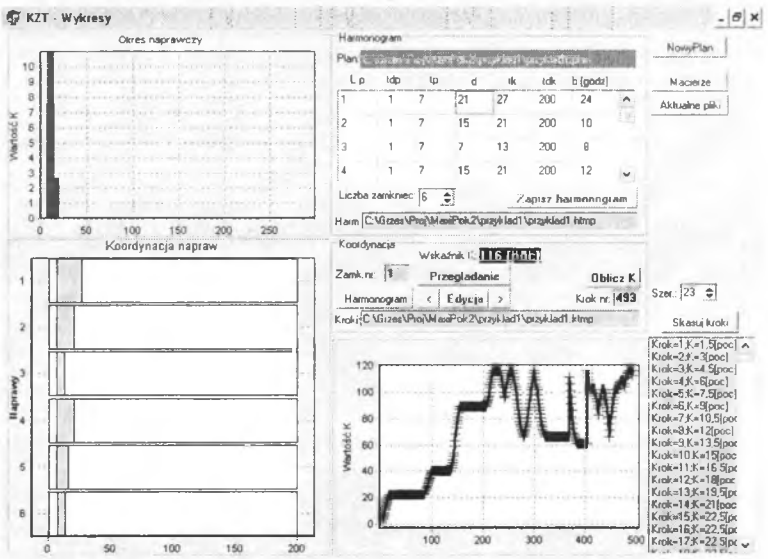
Rys. 2. Pliki wejściowe do programu koordynującego: a) plik z planem napraw, b) plik z dobowymi stratami każdej z napraw, c) plik z macierzą związków ruchowych

Fig. 2. Data files for coordination software: a) work schedule, b) estimated timetable loss, c) traffic relation matrix

Analiza różnych wariantów koordynacji polega na zmianie dnia rozpoczęcia oraz dnia zakończenia poszczególnych zamknięć. Dla każdej zmiany – kroku pracy programu – wyznaczany jest nowy wskaźnik koordynacji, rysowany jest nowy harmonogram, oraz zapamiętywane jest aktualne rozmieszczenie zamknięć w okresie naprawczym. Kolejne kroki zmierzają do ustalenia harmonogramu optymalnego. Proces poszukiwania maksimum K (2.5) – kolejne kroki – można obserwować na wykresie w prawej dolnej część okna programu, a poszczególne ustawienia zamknięć zapamiętywać w postaci historii procesu. Na rysunku 3a pokazano rozmieszczenie zamknięć w sposób całkowicie nieskoordynowany. Wskaźnik koordynacji (2.5) dla takiego rozmieszczenia wynosi $K=0$ pociągów, a całkowite straty ruchowe w sieci (2.3) $S=358.45$ pociągów. Analizując kolejne kroki pracy programu i obserwując kolejne wartość wskaźnika koordynacji otrzymuje się harmonogram optymalny, dla którego wskaźnik osiąga wartość $K=116$ pociągów, a całkowite straty ruchowe wynoszą $S=358.45-116=242.45$ pociągów.



a)



b)

Rys. 3. Program koordynujący: a) harmonogram zamknięć nie skoordynowanych, b) harmonogram zamknięć skoordynowanych

Fig. 3. Coordination software: a) schedule of uncoordinated tracks closures, b) schedule of coordinated tracks closures

4. PODSUMOWANIE

Sieć kolejowa byłej Śląskiej DOKP, pomimo obecnej trudnej sytuacji ekonomicznej PKP, jest nadal siecią gęstą, w której występowanie zamknięć torowych i ich koordynacja pod względem wspólnych strat ruchowych jest złożonym procesem planistyczno-optymalizacyjnym. Z uwagi na to niezbędne się stało opracowanie aplikacji komputerowej wspomagającej ten proces. Przedstawiony program wspomaga pracę koordynatora zamknięć i może być użyteczny przy testowaniu i weryfikacji algorytmów rozwiązujących zadanie koordynacji przy użyciu różnych metod optymalizacyjnych.

Literatura

1. Woch J.: Narzędzia analizy efektywności i optymalizacji sieci kolejowej (System Oceny Układów Torowych SOUT – opis podstawowego oprogramowania). Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2001.
2. Woch J., Heinrich L., Baron K.: Temat nr 3144/16. Metody i narzędzia informatyczne planowania i organizacji zamknięć torowych - prace naukowo-badawcze i rozwojowe COBiRTK. Katowice 1984.
3. Karoń G.: Koordynacja zamknięć torowych. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej Nr kol. 1562 seria TRANSPORT z. 44, ss. 195-202, Gliwice 2002.
4. Karoń G., Aplikacja wspomagająca proces koordynacji zamknięć torowych. Systemy transportowe – teoria i praktyka, I Konferencja Naukowo-Techniczna, 10 września 2003, ZN Politechniki Śląskiej Nr kol. 1571 seria TRANSPORT z. 46, Katowice 2003.

Recenzent:Dr hab. Tomasz Ambroziak, prof. Politechniki Warszawskiej

Abstract

The computer software for aid coordination of railway tracks closures has been presented in the article. Software application has been presented on numeric example.This software was programmed in Department of Traffic Engineering, Faculty Transport and it is use to test algorithms of closure coordination.

Praca wykonana w ramach badań własnych BW