ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1972

Seria: BUDOWNICTWO z. 29 Nr kol.346

Ewa Kononowicz

KRYTERIUM, NARZĘDZIA I METODY PROJEKTOWANIA UKŁADÓW TOROWYCH NA PRZYKŁADZIE GRUPY ODJAZDOWEJ STACJI ROZRZĄDOWEJ

Wzrost wymagań co do dokładnego i oszczędnego wymiarowania wszelkich konstrukcji stwarza konieczność stosowania coraz to bardziej doskonałych metod obliczeń. Jednocześnie rozwój nauk teoretycznych daje narzędzia w ręce projektantów pozwalając na zaspokojenie tej potrzeby.

Stacje kolejowe w sensie układu torowego są także konstrukcjami inżynierskimi, które należy zwymiarować zarówno pod względem liczby torów jak i ich długości. Początkowo wymiarowane "na wyczucie", doczekały się z czasem - gdy coraz bardziej wzrastało ich obciążenie ruchem - opracowania kolejnych metod obliczeń określających potrzebną liczbę torów na poszczególnych rodzajach stacji lub w specjalistycznych grupach torowych stacji wielogrupowych.

W niniejszej pracy dokonano przeglądu rozwoju metod obliczania potrzebnej liczby torów głównych na przykładzie grupy odjazdowej stacji rozrządowej i poddano je krytycznemu omówieniu.

Wybór na tę właśnie grupę torów padł ze względu na trudności jakie napotykano próbując formułować wzory analityczne na potrzebną liczbę jej torów głównych oraz w zamiarze wyciągnięcia wniosków co do kierunku dalszego postępowania nad opracowaniem dobrej i praktycznej w użyciu metody.

Jedynym i zapewne słusznym kryterium, jakim wszyscy dotychczasowi autorzy kierowali się rozwiązując to zagadnienie, było żądanie ograniczenia do minimum przypadków zatrzymania na grupie kierunkowej składów skompletowanych na tej grupie, przed przedstawieniem ich na grupę odjazdową z powodu braku wolnych torów w tej grupie.

Pod względem zastosowanego sposobu rozwiązania, istniejące metody obliczania potrzebnej liczby torów głównych odjazdowych podzielić można na deterministyczne i probabilistyczne. Przedstawiony przegląd tych metod zestawionych w tablicy 1 odzwierciedla drogę ewolucji jaką przeszły. Rozwój ten polegał po pierwsze - na coraz to bardziej wnikliwym traktowaniu zagadnienia, a po drugie - na wprowadzeniu coraz doskonalszych narzędzi, aż do zastosowania teorii masowej obsługi i wykorzystaniu komputerowych metod symulacyjnych.

Zauważona od początku zmienność od tępów czasowych między momentami przestawiania kolejnych składów, odstępów czasowych między wyjazdami pociągów, a także zmienność czasów zajęcia toru, znajduje swój wyraz w ogólnej postaci wzoru na potrzebną liczbę torów m, do jakiej większość wzorów daje się sprawdzić, a mianowicie:

$$m = \alpha \varrho + \beta ,$$

gdzie:

$\varrho = \frac{t_{zśr}}{i_{śr}}$ - intensywność ruchu

$t_{zśr}$ - średni czas zajęcia toru z wyłączeniem czasu oczekiwania

$i_{śr}$ - średni odstęp czasowy między przestawieniami składów na grupę odjazdową

α - współczynnik uwzględniający nierównomierność ruchu

β - składnik uwzględniający potrzebę zwiększenia potrzebnej liczby torów ze względu na czas oczekiwania.

Parametry α i β zestawiono w 10 kolumnie tablicy 1.

Wartości parametrów muszą spełniać warunki:

$$\alpha \geq 1$$

$$\beta \geq 0$$

Oczywiście przy ruchu równomiernym i bez oczekiwania byłoby $\alpha = 1$ i $\beta = 0$ więc $m = \varrho$ (z zaokrągleniem do najbliższej większej liczby całkowitej).

Grupa metod	Lp.	Autor Rok	Model grupy odjazdowej	Strumień zgłoszeń	Czas zajęcia toru odjazdowego $T = t_1+t_2+t_3+t_4$				Wzór na potrzebną liczbę torów	Parametry we wzorze	
					Czas przestawienia składu z grupy k na grupę 0	Czas trwania czynności przygotowawczych do odjazdu	Czas wyjazdu pociągu na szlak	Czas oczekiwania			
					t_1	t_2	t_3	t_4	m	α	β
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Metody deterministyczne	1	Bartieniew 1949		Zdeterminowany	Z d e t e r m i n o w a n y				$m = \frac{\Sigma N_i T_i}{1440 \cdot k}$, $k=0,6-0,7$	$\frac{1}{k}$	$\frac{1}{2k}$
	2	Obrazcow 1949							$m = \frac{\Sigma N_i T_i}{1440}$	1	$\frac{t_4}{J_p}$
	3	Zemblinow 1963							$m = \frac{T_{min}}{J_p}$	1	-
	4	Sawczenko 1962							$m = \frac{T}{J_p}$	1	$\frac{1}{2} \cdot \frac{J_c}{J_p}$
	5	Gajda 1966							$m = \frac{T_{min} + J(n-1)}{J_o}$	1	$\frac{J(n-1)}{J_o}$
	6	Teuteberg 1971									
Metody probabilistyczne	7	Voigt 1971	1-fazowy system masowej obsługi z nieograniczoną liczbą kanałów	Rozkład wykładniczy	Stwierdzony - rozkład Erlanga, k = 3 Przyjęty - zdeterminowany				Wykresy	Zależność krzywoliniowa	
	8	Thiele, Potthoff 1972			Stwierdzony rozkład Erlanga, k = 4 Przyjęty zdeterminowany						
	9	Szabalin 1968			Zdeterminowany			Wzór na czas oczekiwania w 1-kanałowym systemie obsł.		1,33	7,0
	10	Węgierski 1971	2-fazowy system masowej obsługi z n. kanałami 1 obsługi	Rozkład Erlanga dla k=2	Zdeterminowany	Rozkład normalny	Zdeterminowany	Wynika z symulacji			

Sama postać wzoru wydaje się być prawidłowa, ale fakt istnienia wielu wariantów oceny parametrów α i β sugeruje konieczność zajęcia się ustaleniem właściwych ich wartości.

Pierwsza grupa metod, nazwana deterministyczną (patrz tablica 1, pozycja 1 do 6), charakteryzuje się przyjęciem zdeterminowanych wartości odstępów czasowych między wyjazdami składów na tory odjazdowe (J_p) oraz odstępów czasowych między wyjazdami pociągów na szlak (J_o). Czasy te obliczane są jako średnie, najczęściej w dobowym okresie pracy, według zależności

$$J_p = J_o = \frac{T}{N} = \frac{1440}{N} \text{ min},$$

albo przyjmowane są jako minimalny odstęp czasu w okresach największego nasilenia ruchu, wtedy z reguły $J_p \neq J_o$. B. Gajda [5] przyjmuje tempo podawania składów odpowiadające tempu rozrządzania uznając to za przypadek najbardziej niekorzystny.

Również wartości czasów zajęcia toru odjazdowego przyjmowane są jako stałe, średnie dla wszystkich odjeżdżających pociągów. Czas zajęcia obejmuje wówczas tylko czas wjazdu, czas czynności techniczno-handlowych przygotowawczych do odjazdu, a nie uwzględnia wszystkich składników czasu oczekiwania.

Metody deterministyczne mają charakter subiektywny, polegający na subiektywnej ocenie sytuacji najbardziej niekorzystnej w pracy grupy odjazdowej, stanowiącej założenia do przyjęcia parametrów α i β wzoru na potrzebną liczbę torów. Projektant staje więc wobec możliwości wyboru wśród różniących się między sobą metod, opracowanych przecież dla jednego kryterium, którym jest zasada zachowania płynności ruchu.

Druga grupa metod - metody probabilistyczne - (patrz tablica 1, poz. 7-10), różni się zasadniczo od poprzedniej opisaniem zmienności wartości elementów procesu obsługi za pomocą odpowiedniego rozkładu prawdopodobieństwa. Przez czas trwania obsługi rozumie się przy tym czas zajęcia toru z wyłączeniem czasu oczekiwania.

Uwzględnienie powiązań między elementami znajduje swój wyraz w zbudowaniu modelu matematycznego pracy grupy odjazdowej w stopniu dostatecznie dokładnym oddającego stan rzeczywisty.

Zamiast zdeterminowanego interwału między momentami podawania składów, J_p, występuje tutaj strumień zgłoszeń. Opisany jest on zą pomocą rozkładu Erlanga z parametrem k = 2 [10] lub za pomocą rozkładu wykładniczego odstępu czasowego między zgłoszeniami [7], [8], [9]: słuszność tych przyjęć stwierdzano na podstawie obserwacji.

Struktura czasu trwania obsługi opisana jest w dalszej części artykułu.

W grupie metod deterministycznych wynik - potrzebną liczbę torów m otrzymuje się przez podstawienie odpowiednio wyznaczonych wartości czasów do gotowych wzorów. W grupie metod probabilistycznych brak jest na razie prostych wzorów analitycznych, wartość m odczytuje się z wykresów, które skonstruowano na podstawie wyników symulacji pracy grupy, przy założonym modelu jej pracy. Dotychczas używane modele są jednak zbyt uproszczone aby się można było nimi zadowolić [7], [8], [9]. W przypadku zaś najbardziej złożonego i równocześnie najbardziej dokładnego modelu [10] wynik uzyskuje się indywidualnie drogą symulacji. Wykresów ogólnie ważnych jeszcze nie opracowano.

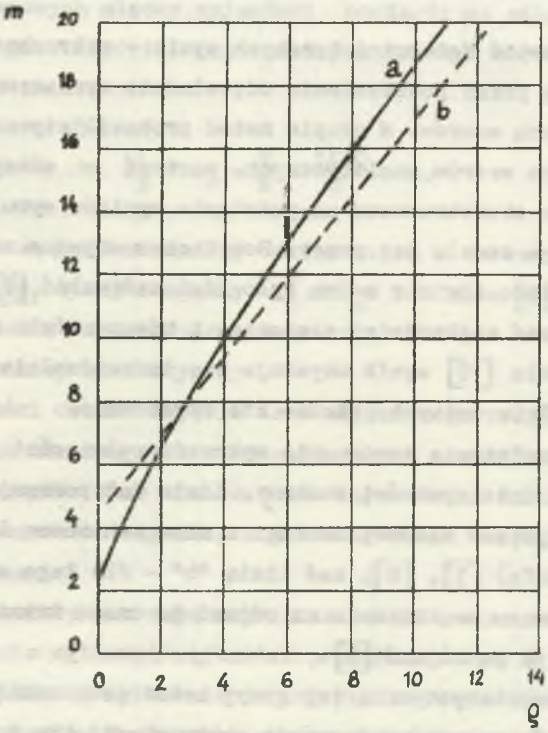
Rys. 1 przedstawia porównanie wykresów zależności potrzebnej liczby torów m od intensywności ruchu ϱ. Linia "a" pokazuje tę zależność dla 1-fazowego systemu masowej obsługi z nieograniczoną liczbą kanałów (tzw model Potthoffa) [7], [8], zaś linią "b" - dla tego samego modelu z włączeniem czasu oczekiwania na odjazd do czasu trwania obsługi - czasu oczekiwania na odjazd [9].

Cechą charakterystyczną tej grupy metod jest umożliwienie akceptowania wyniku z pełną świadomością następstw, jakie to za sobą pociągnie. Daje to znajomość prawdopodobieństwa, nazwanego "ryzykiem statystycznym" i oznaczonego symbolem ε, z jakim przyjęta liczba torów będzie wystarczająca tj. nie spowoduje zakłóceń w przestawianiu składów na tory odjazdowe.

W każdej metodzie ważne jest prawidłowe ustalenie czasu zajęcia toru, który jest sumą następujących składników:

- czas przestawienia składu z grupy kierunkowej na odjazdową wraz z przygotowaniem drogi przebiegu, oznaczony jako t_1,

- czas trwania czynności techniczno-handlowych przygotowawczych do odjazdu - t_2,
- czas wyjazdu pociągu i rozwiązania drogi przebiegu - t_3,
- czas oczekiwań - t_4.



Rys. 1. Wykres potrzebnej liczby torów m w zależności od intensywności ruchu ϱ dla poziomu ryzyka statystycznego $\delta = 0,01$

Sposób uwzględnienia tych czasów w poszczególnych metodach przedstawiony jest także w tablicy 1.

Suma trzech pierwszych składników $T_{min} = t_1 + t_2 = t_3$ stanowi w modelu czas trwania obsługi i jest minimalnym czasem zajęcia toru. Daje się ona stosunkowo prosto wyznaczyć: W metodach deterministrycznych jako średnia ważona dla wszystkich rodzajów pociągów; w metodach probabilistycznych daje się opisać odpowiednim rozkładem prawdopodobieństwa

oraz jego miarami położenia (wartość oczekiwana) i zmienności (wariancja).

Czasy t_1 i t_3 można potraktować jako stałe, nie różniące się w sposób zasadniczy dla różnych rodzajów pociągów towarowych i ich długości. Natomiast czas t_2 wykazuje dużą zmienność. Badania wykazały istnienie korelacji z liczbą wagonów w składzie, która może być uważana za podlegającą rozkładowi normalnemu. Można więc również przyjąć hipotezę o normalnym rozkładzie czasu trwania czynności przygotowawczych do odjazdu.

W. Voigt badał rozkład całkowitego czasu trwania zajęcia toru odjazdowego na jednej z niemieckich stacji rozrządowych. Obserwacje wykazały, że podlega on z dostateczną zgodnością podprzypadkowemu rozkładowi Erlanga z parametrem k = 3. Podobne badania przeprowadzili G. Potthoff i H. Thiele i stwierdzili występowanie rozkładu Erlanga z parametrem k = 4. Jednak w budowanych przez siebie modelach pracy grup odjazdowych przyjmowali zdeterminowany czas zajęcia toru $t_{zór}$ i strumień zgłoszeń z wykładniczym rozkładem odstępów czasowych między wjazdami, uznając takie przybliżenie za zadowalające. Taki sam model zbudował N.Szabalin traktując jednak w odmienny sposób czas zajęcia toru. Czas obsługi przyjęty został jako zdeterminowany, a czas oczekiwania obliczony z wzoru z teorii masowej obsługi dla modelu jednokanałowego systemu obsługi z oczekiwaniem.

Czas oczekiwania jest uwzględniany przez autorów bardzo różnie i nie zawsze właściwie. Wydaje się być najbardziej dyskusyjnym składnikiem czasu obsługi.

Rzeczywiste możliwe składniki czasu opóźnień przedstawiają się następująco:

1. Czas oczekiwania na rozpoczęcie obsługi,
2. Czas oczekiwania na lokomotywę pociągową.
3. Czas oczekiwania na brakujące sygnały końcowe.
4. Czas oczekiwania na planową godzinę wyjazdu.
5. Czas oczekiwania na wolny wyjazd na szlak.

Większość cytowanych autorów, ze wszystkich wymienionych składników uwzględnia jedynie dwa ostatnie, oczywiście alternatywnie, w zależno-

ści od przyjętej zasady wyprawiania pociągów. Jest to teoretycznie poprawne lecz niezgodne ze stanem rzeczywistym.

Ci nieliczni autorzy, którzy rozpatrując czas zajęcia toru uwzględniają wszystkie możliwe składniki czasu oczekiwania są w zgodzie z sytuacją rzeczywistą mającą miejsce na torach grupy odjazdowej, ale należy się zastanowić czy tak być powinno.

Dobrze zorganizowany proces technologiczny pracy na grupie odjazdowej powinien gwarantować zupełne wyeliminowanie składników czasu oczekiwania wymienionych w punktach 2 i 3, a ograniczenie do minimum składnika pierwszego. Czas oczekiwania na rozpoczęcie obsługi można by uwzględnić budując (w specjalny sposób) model pracy grupy odjazdowej, traktując brygady rewidentów jako dodatkowe kanały obsługi. Warunkiem rozpoczęcia obsługi byłoby zwolnienie się co najmniej jednej z nich. Przy takich założeniach czas oczekiwania na rozpoczęcie obsługi wyniknie z symulacji pracy brygad.

Następnym istotnym składnikiem czasu oczekiwania, którego nie da się uniknąć jest czas oczekiwania na wyjazd.

Przyjęta zasada wyprawiania pociągów i warunki na szlaku niewątpliwie mają duży wpływ na jego wielkość.

Przy założeniu ścisłego przestrzegania rozkładu jazdy, pociąg musi być przygotowany do odjazdu wcześniej, ale w momencie odjazdu ma "wolną drogę" przewidzianą właśnie rozkładem jazdy. Rozkład takiego czasu oczekiwania nie był jeszcze nigdy badany, gdyż zasada ta rzadko ma miejsce w praktyce, przynajmniej na PKP. Znany jest natomiast proces wyjścia, jak wykazały badania [10], charakteryzuje go rozkład Erlanga z parametrem $k = 2$. Czas oczekiwania wyniknie więc z różnicy między linią kończenia obsługi a linią wyjścia - gdyby to przedstawić wykreślnie.

O wiele wcześciej pociągi wyprawiane są systemem operatywnym. W praktyce grupa odjazdowa ma zawsze kilka "wyjść", których liczba zazwyczaj nie przekracza pięciu. Znane jest bezwarunkowe prawdopodobieństwo, że skład będzie mógł wyjechać w dowolnym momencie na dany szlak zastając go wolnym, z uwzględnieniem przelotowości szlaku [10]. Różni się ono jednak od prawdopodobieństwa wyprawienia pociągu natychmiast po ukoń-

czeniu czynności przygotowawczych do odjazdu. To ostatnie tak istotne dla naszych potrzeb prawdopodobnie nie jest jeszcze zbadane. Nie jest również znany rozkład prawdopodobieństwa czasu oczekiwania, udaje się go ustalić z przeprowadzonej symulacji pracy grupy odjazdowej.

N. Szabalin [9] w sposób prawidłowy podszedł do zagadnienia, starając się sformułować wzór na czas oczekiwania (tablica 1 poz.9 kol. 9), lecz podejście jego jest zbyt uproszczone. Zastosował on mianowicie wzór z teorii masowej obsługi dla obsługi jednokanałowej z oczekiwaniem co na ogół nie jest w zgodzie z rzeczywistą sytuacją.

W grupie wzorów deterministycznych czas oczekiwania na odjazd potraktowany został jako średnia z dwóch możliwych, skrajnych sytuacji tzn. albo $t_{ocz} = 0$, albo $t_{ocz} = J_o$, więc $t_4 = \frac{J_o}{2}$.

Przy pakietowym wyprawianiu pociągu na szlak czas oczekiwania ostatniego (lub pierwszego) pociągu w paczce wynosi $J(n-1)$, gdzie $J = J_p - J_o$, zaś n oznacza liczbę pociągów w paczce [5], [6].

P. Gajda [5] pisze, że liczba torów grupy odjazdowej zależy między innymi od przyjętego zapasu czasu na przewidywane zakłócenia ruchu. Jest to spostrzeżenie bardzo trafne, lecz trudne do uwzględnienia, szczególnie w formułowanych wzorach analitycznych.

Z przeprowadzonych rozważań wynika, że dalsze próby znalezienia formuły na potrzebną liczbę torów odjazdowych powinny pójść w kierunku rozwoju metod probabilistycznych, przez udoskonalenie modelu matematycznego pracy tej grupy. Strumień zgłoszeń i proces obsługi wydają się być rozpoznane w stopniu wystarczającym.

Trudność dopasowania modelu do rzeczywistych warunków pracy grupy odjazdowej tkwi we właściwym uwzględnieniu owego "zapasu czasu". Sformułowanie wzorów na prawdopodobieństwo oczekiwania pozwoli na poprawne uwzględnienie tego czasu w modelu matematycznym grupy pracy odjazdowej. Wyniki symulacji przeprowadzonej dla tak zbudowanego modelu pozwolą prawdopodobnie na wyciągnięcie szerszych wniosków i sporządzenie ogólnie ważnych wykresów zależności potrzebnej liczby torów od intensywności ruchu ϱ.

LITERATURA

1. Bartieniew P. - Stacje i węzły kolejowe. Warszawa 1952.
2. Obrazcow W. - Stacje i węzły. Moskwa 1949.
3. Zemblinow S.W., Strakowski J.J. - Stacje i węzły. Moskwa 1963.
4. Sawczenko, Zemblinow S.W., Strakowski - Stacje i węzły.Moskwa 1962
5. Gajda B. - Stacje rozrządowe. Warszawa 1966.
6. Teuteberg. Die Leistungsfählkeit der Rangierbahnhöfe, ETR nr 4,1971
7. Voigt W. - Die Grösse der Ausfahrgruppe. Deutsche Eisenbahntechnik nr 11, 1971
8. Thiele H., Potthoff - Die Zahl der Ausfahrgruppe. Deutsche Eisenbahntechnik, nr 1, 1972.
9. Szabalin N. - Primjenjenije teorji massowowo obsłużiwanija dla razczota ustrojstw stancji. Moskwa 1968.
10. Węgierski J. - Metody probabilistyczne projektowania transportu szynowego. Warszawa 1971.

CRITÈRES, MOYENS ET METHODES D'ÉTUDES DE PROJETS DE SYSTÈMES DE VOIES SUR L'EXEMPLE D'UN FAISCEAU DE DÉPART D'UNE GARE DE TRIAGE

R é s u m é

Cet article est une revue du développement des méthodes analytiques pour l'estimation du nombre de voies principales nécessaires sur l'exemple d'un faisceau de départ d'une gare de triage ainsi qu'une discussion critique sur ces méthodes.

En general les methodes se divisent en: methodes déterminatives et méthodes probabilitiques. Dans toutes les méthodes présentées pour l'estimation du nombre de voies principales nécessaires on a admis comme critère une limitation au minimum des cas d'arrêt de rames avant leur déplacement du faisceau de triage vers le faisceau de départ.

On a fait l'analyse d'un faisceau de départ, du flux d'appel, du temps de durée de l'occupation de la voie de départ, des formules pour le nombre nécessaire de voies. On présente des conclusions sur le mode

d'elaboration d'une bonne méthode, pratique et utile pour le calcul du nombre necessaire de voies principales d'un faisceau de départ.

КРИТЕРИИ, СРЕДСТВА И МЕТОДЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ПУТЕВЫХ СИСТЕМ НА ПРИМЕРЕ ОТПРАВОЧНОЙ ГРУППЫ СОРТИРОВОЧНОЙ СТАНЦИИ

Р е з ю м е

Статья является обзором развития аналитических методов расчёта необходимого количества главных путей на примере отправочной группы сортировочной станции и одновременно их критическим обсуждением.

В общем, методы были распределены на детерминистические и пробабилистические. В качестве критерия во всех изложенных методах вычисления нужного числа главных путей принято ограничение к минимальному количеству случаи задержки складов до переостановки их из группы направления к отправочной.

Был проведен анализ модели отправочной группы, потока заявлений и продолжительности оккупаемости отправочного пути и формул на потребное количество путей.

Даны предложения относительно направления дальнейших работ по разработке хорошего и практического к употреблению метода расчета потребного количества главных путей отправочной группы.