

Ewa KONONOWICZ

## KSZTAŁTOWANIE PRZEPUSTOWOŚCI SIECI KOLEJOWEJ

**Streszczenie.** Treścią artykułu jest metoda wstępnej, technicznej oceny przepustowości węzłów sieci kolejowej według ogólnie ważnych wykresów przepustowości optymalnej jako funkcji parametrów eksploatacyjnych układu. Wykresy powstały na podstawie wielokrotnych, komputerowych obliczeń symulacyjnych dla pięciu typów układów przy zmiennych wartościach parametrów określających ich strukturę drogową i strukturę ruchową.

## RAILWAY SYSTEM CAPACITY FORMATION

**Summary.** The article deals with the method of initial, technical estimation of junctions capacity in the railway system according to the generally important diagrams of the optimal capacity as the function of the exploitation parameters of the network.

The diagrams have been based on the repeated, computer simulational calculations for the five types of networks with the variable capacity values determining their way structure and traffic structure.

## FORMUNG DER VERKEHRSKAPAZITÄT DES EISENBAHNNETZES

**Zusammenfassung.** Dieser Artikel ist über die Methode der technischen Vorprüfung der Verkehrs kapazität der Eisenbahnknotenpunkte nach allgemein wesentlichen Diagrammen der optimalen Verkehrskapazität, als Parameterfunktion der Ausnutzung des Systems. Die Diagramme entstanden auf Grund vielfacher, durch einen Komputter durchgeführten, simulierten Berechnungen für fünf Systemtypen, bei wechselnden Werten der Parameter, die die Strecken - und Verkehrsstruktur charakterisieren.

### 1. WSTĘP

Sieć kolejowa PKP znajduje się obecnie w stanie istotnych przeobrażeń dwójakiego rodzaju. Po pierwsze - projektowany jest układ nowych linii dużych prędkości, nawiązujący do sieci kolei europejskich. Po drugie - równolegle rozpoczyna się proces modernizacji istniejącej sieci kolejowej polegający na dostosowaniu jej do nowych warunków gospodarczych kraju. Zadania transportowe ukształtowały się na innym, często znacznie

niższym poziomie ilościowym i o odmiennej strukturze rodzajowej. Równocześnie pojawiają się oczywiste tendencje osiągnięcia wyższego poziomu jakości ruchu, co przejawia się spełnieniem postulatów zwiększenia prędkości technicznej, drogowej i handlowej pociągów, utrzymania racjonalnej płynności ruchu, zapewnienia bezpieczeństwa i komfortu jazdy zarówno w ruchu pasażerskim, jak i towarowym oraz zapewnienia wysokiej niezawodności działania urządzeń związanych z prowadzeniem ruchu i obsługą pociągów na stacjach.

Spełnienie dwóch pierwszych postulatów uwarunkowane jest takimi czynnikami, jak:

- układy topologiczne węzłów torowych,
- parametry układu geometrycznego dróg kolejowych w planie i profilu,
- rodzaj i stan utrzymania konstrukcji nawierzchni i podtorza oraz
- rodzaj urządzeń sterowania ruchem kolejowym (srk) i łączności - przy założeniu odpowiedniego standardu taboru kolejowego.

Przedmiotem rozważań będzie problem doboru parametrów charakteryzujących warunki eksploatacyjne - w szczególności dotyczące budowy węzłów kolejowych - tak aby zapewniony był oczekiwany (wymagany lub projektowany) poziom ilości i jakości ruchu w modernizowanej sieci kolejowej.

Miernikiem ilościowo-jakościowym, służącym jako techniczna ocena efektywności pracy sieci jest przepustowość. Wyraża się ona liczbą jednostek transportowych (liczba pociągów lub liczba wagonów), którą element sieci kolejowej można obsłużyć w jednostce czasu (doba lub godzina), z określonym prawdopodobieństwem płynności ruchu. Wartość przepustowości jest funkcją parametrów opisujących warunki eksploatacyjne układu kolejowego.

## 2. METODA OKREŚLANIA PRZEPUSTOWOŚCI

O przepustowości sieci decydują jej elementy, którymi najczęściej są węzły kolejowe.

Podstawą teoretyczną przyjętej metody określenie przepustowości układu węzła kolejowego jest teoria płynności ruchu [2]. Układy traktowane są jako system masowej obsługi z probabilistycznym opisem strumieni zgłoszeń i czasów trwania obsługi.

Przepustowość optymalna definiowana jest jako ta intensywność ruchu  $r_0$ , dla której liczba jednostek ruchowych przechodzących przez układ w sposób płynny jest największa.

Narzędzie obliczeń stanowi probabilistyczna symulacja komputerowa realizowana wg programów opracowanych dla modeli typowych układów torowych. W trakcie symulacji rejestrowane są charakterystyki kolizyjności układu:

- estymatory prawdopodobieństwa zakłócenia płynności ruchu dla poszczególnych dróg przebiegu i średnia wartość dla całego węzła, tzw. prawdopodobieństwo regulacji,
- średnie czasy trwania zakłóceń (regulacji),
- średnie długości kolejek.

Programy obliczeń są częścią informatycznego Systemu Oceny Układów Torowych projektowania i programowania sieci kolejowej (SOUT). Każdy z programów posiada kilka trybów przebiegu obliczeń uruchamianych w zależności od celu, którym może być:

- pojedyncze obliczenie dla określenia wskaźników kolizyjności układu,
- wielokrotne symulacje ze zmienną liczbą pociągów (wszystkich lub wybranych kategorii) dla wyznaczenia optymalnego obciążenia układu,
- wielokrotne symulacje ze zmienną liczbą torów dla wyznaczenia optymalnej wielkości układu torowego.

Korzystając z programu w trybie drugim przeprowadzono wielokrotne obliczenia, czego efektem był zbiór informacji o kształtowaniu się przepustowości optymalnej w zależności od warunków eksploatacyjnych.

### 3. KLASYFIKACJA WĘZŁÓW KOLEJOWYCH I ICH PARAMETRY EKSPLOATACYJNE

Węzły sieci kolejowej realizują różne funkcje z zakresu prowadzenia i obsługi pociągów.

Wyróżnia się dwa zasadnicze ich typy:

- węzły przelotowe potoków ruchu oraz
- węzły generujące i pochłaniające potoki ruchu.

Do węzłów przelotowych, w których krzyżują się, rozplatają i splatają potoki ruchu pociągów, zalicza się posterunki odgałęźne, układy rozplótów torów na podejściach do stacji i głowice stacji. Ich cechą charakterystyczną jest to, że przepustowość w głównej mierze zależy od prędkości poruszających się w układzie jednostek ruchowych - przy racjonalnie ustalonych wartościach pozostałych parametrów.

Węzły generujące i pochłaniające potoki ruchu to grupy przyjazdowe i odjazdowe stacji rozrządowych, ładunkowych i przemysłowych. Dla tych układów o przepustowości stanowiąc czas trwania operacji technologicznych dokonywanych przy obsłudze składów pociągów przyjmowanych i wyprawianych, a także wielkość tych układów mierzona np. liczbą torów głównych.

Parametry opisujące warunki eksploatacji odnieść można do ich struktury torowej i struktury ruchowej, tworzących łącznie układ kolejowy [1.4].

W zakresie struktury torowej znajdują się parametry opisujące:

- układ topologiczny (schemat układu torowego) scharakteryzowany przez:
  - układ połączeń torów w węźle,
  - liczbę dróg przebiegów,
  - liczbę i rodzaj punktów kolizji przebiegów,
  - liczbę torów głównych wiązki torów,
  - liczbę wejść i wyjść z wiązki torów;
- warunki techniczne dróg i wyposażenia układu torowego, które determinują:
  - prędkość poruszania się jednostek ruchowych wynikającą z kształtu drogi w planie i profilu oraz stanu utrzymania,
  - rodzaj urządzeń sterowania ruchem kolejowym, a w szczególności sposób zapowiadania pociągów na szlaku i klasa urządzeń sterowania ruchem w węźle - co ma istotny wpływ na czas następstwa pociągów,
  - rodzaj urządzeń automatyzacji pracy stacji rozrządowej.

Struktura ruchowa opisana jest przez:

- zbiór warunków ruchowych, a w tym:
  - proporcje potoków ruchu rozłożonych na poszczególne drogi przebiegu w węźle,
  - liczbę kategorii pociągów,
  - priorytety wybranych kategorii.
- warunki technologii obsługi jednostek ruchowych w układach węzłów, a mianowicie:
  - czas przejazdu przez rdzeń węzła,
  - czas trwania operacji technologicznych związanych z obsługą pociągów na torach głównych stacji,
  - czas przerw w pracy stacji,
  - liczbę obsługujących brygad roboczych.



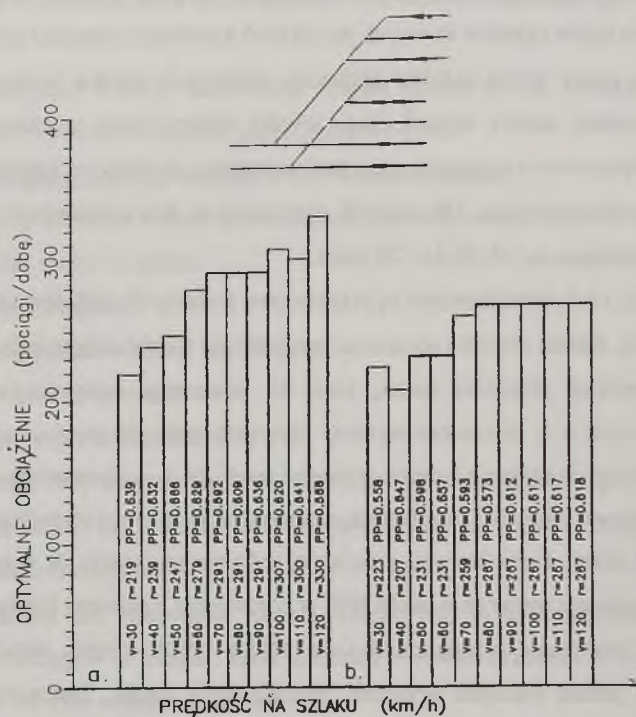
#### 4. WYKRESY PRZEPUSTOWOŚCI

Systematyka parametrów eksploatacyjnych oraz określenie zakresu zmienności i "kroku" zmian pozwoliło na przeprowadzenie wielokrotnych obliczeń przepustowości optymalnej poszczególnych typów układów torowych dla różnych kombinacji wartości tych parametrów. Dla każdego z pięciu typów układów obliczenia przebiegały według planu sporządzonego zgodnie z zasadami analizy czynnikowej. Wyniki obliczeń były podstawą opracowania wykresów przepustowości optymalnej jako funkcji jednego, wybranego, uznanego za istotny - parametru eksploatacyjnego. Dla węzłów przelotowych tym parametrem była prędkość pociągów zmieniająca się od 30 do 120 km/h.

Na rys. 4.1. i 4.2. przedstawione są przykładowe wykresy dla układów torowych głowic stacyjnych [1.3]. Każdej wartości obciążenia optymalnego w dobie odpowiada jemu właściwe prawdopodobieństwo płynności ruchu, która to informacja zapisana jest również na wykresach. Na rys. 4.1. zestawiono wykresy przepustowości dla głowic stacyjnych linii 2-torowej różniących się układem 4 torów głównych stacji. Są to - odpowiednio - układ liniowy i układ kierunkowy. Wartości pozostałych parametrów są w obu przypadkach takie same. Przepustowość układu kierunkowego, jako mniej kolizyjnego, ustaliła się w zakresie dużych prędkości na poziomie wyższym o około 10% w porównaniu z układem liniowym. Rys. 4.2. to zestawienie wykresów przepustowości dla dwóch takich samych układów torowych różniących się jednak rodzajem urządzeń zabezpieczenia węzła. Zastosowanie urządzeń przekaźnikowych w porównaniu z urządzeniami mechanicznymi powoduje wzrost przepustowości rzędu 25%, także w zakresie dużych prędkości.

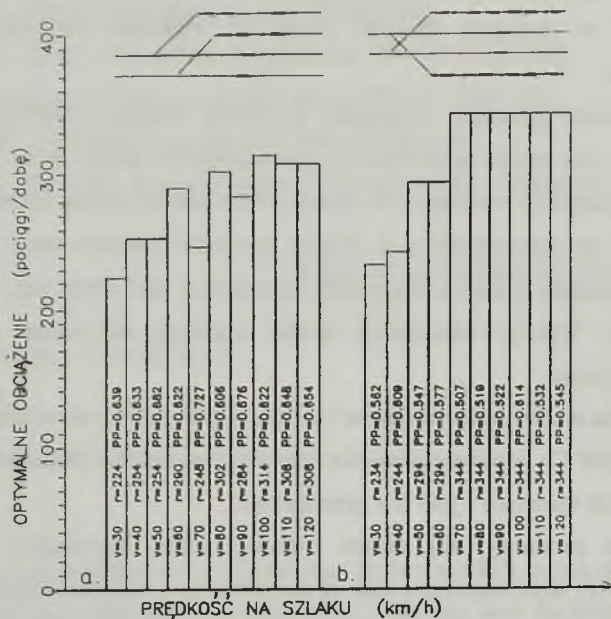
Podobnie można zestawiać i porównywać przepustowości układów pod względem zmian wybranego parametru, np. liczby torów, liczby odstępów szlakowych i ich długości lub struktury rodzajowej obciążenia i priorytetów.

Zaobserwowaną cechą charakterystyczną jest zróżnicowana "wrażliwość" przepustowości optymalnej na zmiany wartości jednego parametru w zależności od typu układu i poziomu pozostałych parametrów.



Rys.1. Zależność obciążenia optymalnego od prędkości na szlaku dla różnych urządzeń zabezpieczenia wężła  
 a. zob. wężła - urządzenia przekładnikowe  
 zap. na szlaku - blokada półsamoczynna  
 liczba odstępów - 2  
 długość jednego odstepu - 2000 m  
 prędkość na stacji - 40 km/h

Fig.1. Dependence of optimum load on speed achievable in the track system for various installations securing traffic



Rys.2. Zależność obciążenia optymalnego od prędkości na szlaku dla różnych układów torowych  
 a. zob. węzła - urządzenia przekątnikowe  
 zap. na szlaku - blokada półsamoczynna  
 liczba odstępów - 2  
 długość jednego odstepu - 2000 m  
 prędkość na stacji - 40 km/h

Fig.2. Dependence of optimum load on speed achievable in the track system for various track systems

## 5. PODSUMOWANIE

W cyklu prac [1.1], [1.2.], [1.3.] wykonano ponad 1000 obliczeń symulacyjnych, co było podstawą sporządzenia około 120 wykresów przedstawiających zależność przepustowości optymalnej (zwanej też intensywnością) pięciu typów układów węzłów kolejowych dla różnych kombinacji parametrów eksploatacyjnych. Nie wyczerpuje to wszystkich możliwych układów, ale w zbadanym obszarze mieści się większość przypadków praktycznie występujących.

Uwzględnione parametry zestawiono w dwóch tablicach oddzielnie dla węzłów przelotowych i dla węzłów generujących i pochłaniających potoki ruchu - ze względu na odmienny ich charakter wynikający ze zróżnicowania funkcji obsługi ruchu kolejowego.

Tablice te są przewodnikiem w zbiorze wykresów przepustowości, który stanowi praktyczne narzędzie pomocne w procesie modernizacji sieci kolejowej - na etapie prac koncepcyjnych. Wykresy umożliwiają szybkie uzyskanie odpowiedzi na następujące, podstawowe pytania:

- jakiego rzędu możliwości przepustowe ma dany układ torowy o określonych parametrach eksploatacyjnych? Co pozwala na ustalenie rezerw przepustowości (dodatnich gdy układ jest niedociążony lub ujemnych - jeśli jest przeciążony),

- jak dobrać parametry, aby zadania ruchowe układu odpowiadały przepustowości optymalnej? Przy czym zazwyczaj daje się określić więcej niż jeden zestaw parametrów.

Uzyskuje się w ten sposób pierwszą, techniczną ocenę co do rodzaju i zakresu działań zmierzających do racjonalnego wykorzystania układu. Przez racjonalne wykorzystanie rozumie się sytuację, w której obciążenie układu odpowiada jego przepustowości optymalnej. Podejmowane działania modernizacyjne mogą być inwestycyjne - gdy np. wymagana jest zmiana klasy urządzeń srk, układu torowego lub nawierzchni, albo organizacyjne - jeśli można skorygować strukturę ruchu, priorytety bądź organizację obsługi pociągów na stacji.

Ta wstępna ocena odbywa się w warunkach pewnych uproszczeń i nie zwalnia projektanta od przeprowadzenia szczegółowych obliczeń przepustowości z uwzględnieniem wszystkich istotnych warunków, często także w kilku wariantach. Jednak jest już określony obszar, z którego należy dobrać parametry, aby uzyskać efekt racjonalnego wykorzystania układu.

Należy podkreślić, iż zaprezentowany tok postępowania dotyczy technicznego aspektu problemu, lecz stanowi to podstawę oceny ekonomicznej, co w sumie uzasadnić powinno ostateczne podjęcie decyzji o przyjęciu rozwiązań projektowych.



## LITERATURA

- [1] Kononowicz E.: Analiza zależności przepustowości układów torowych od parametrów techniczno-ekonomicznych dróg kolejowych.

Temat wykonany w ramach prac BK i BW na Politechnice Śl.

1.1. Etap I. Posterunki odgałęźne. BW-951/RB-3/91.

1.2. Etap II. Grupy przyjazdowa i odjazdowa. BW-737/9/RB-3/92.

1.3. Etap III. Rozploty torów i głowice stacji. BK-637/5/RB-3/93.

1.4. Etap IV. Systematyka parametrów. BK-11/5/RB-3/94.

- [2] Woch J.: Podstawy inżynierii ruchu kolejowego. WKŁ, Warszawa 1983.

Recenzent: Doc.dr hab.inż. Wiesław Szumierz

Wpłynęło do Redakcji 31.05.1995 r.

**Abstract**

The process of modernization of Polish State Railways (PKP) system demands prompt and correct technical assessments of track system. On this basis decisions can be made pertaining to changes in operating conditions of track systems, junctions, level of speed, grade of installations securing traffic, as well as organization and structure of traffic. Such an assessment is possible from graphs generated for five types of tracks which show the dependence of traffic capacity on parameters describing above mentioned requirements.

The theoretical basis used for approaching the problem is the theory of smooth traffic. The tool used for computing the traffic capacity was a probabilistic computer simulation of system models treated as systems of mass transit.

The graphs permit conclusions as to the following questions:

- what is the traffic capacity of a given track system; this permits determination of reserves (positive or negative),
- how to choose operation parameters such that traffic tasks be performed on the level of optimum capacity.