

0 wybranych metodach obliczania przepustowości sieci kolejowej

Damian Kosicki



mgr inż. Damian Kosicki

Zakład Budowy Mostów i
Dróg Kolejowych, Politechnika
Poznańska

damian.kosicki@put.poznan.pl

Jako jeden z głównych celów modernizacji sieci kolejowej podaje się często zwiększenie jej przepustowości. Wyniki obliczeń przepustowości mogą się jednak znacznie różnić w zależności od przyjętej metodyki, co prowadzi do wielu wątpliwości dotyczących oceny efektywności modernizacji przy użyciu tego kryterium. Do końca ubiegłego wieku na sieci PKP PLK S.A. do oceny przepustowości wykorzystywano metody bazujące na teorii kolejek (znane w Polsce jako metody soutowskie). Obecnie PKP PLK wymaga obliczania wykorzystania zdolności przepustowej w oparciu o metodę kompresji tras pociągów, zdefiniowaną przez kartę UIC 406 [16]. W niniejszym artykule podjęto próbę porównania obu grup metod, wraz ze wskazaniem wątpliwości i niejasności w ich stosowaniu.

Definicje przepustowości sieci kolejowej

Rozważań nad metodami wyznaczania przepustowości sieci kolejowej nie sposób prowadzić bez zwrócenia uwagi na problem jej definicji. B. Gajda w podręczniku [2] definiuje zdolność przepustową linii kolejowej jako „największą liczbę pociągów lub wagonów o ustalonej masie, które można przepuścić przez dany odcinek w ustalonej jednostce czasu”. Uogólniając tą definicję można zapisać, że przepustowość to „największa liczba obiektów, która może przemieścić się przed dany element

sieci transportowej w jednostce czasu” [4]. J. Woch [21] zwraca uwagę, że procesy zachodzące w sytuacjach natężenia ruchu bliskiego przepustowości są silnie i nieliniowo zależne od czynników losowych, w związku z czym wskazuje na potrzebę ich analizowania metodami probabilistycznymi. W rozważaniach nad przepustowością układów torowych wykorzystuje więc teorię masowej obsługi (znaną również jako teoria kolejek), posługując się typową dla niej terminologią. Jako przepustowość praktyczną (czyli miarę optymalnego wykorzystania infrastruktury) definiuje optymalną intensywność ruchu, tj. taką intensywność, przy której największa liczba pociągów przejeżdża przez rozpatrywany element sieci kolejowej płynnie (rys. 1).

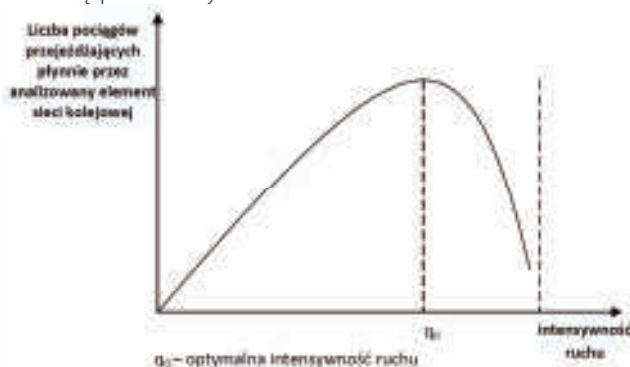
W literaturze anglojęzycznej często pojawia się powołanie na definicję przepustowości, którą podaje H. Krueger [6]: „Przepustowość jest miarą zdolności przejazdu określonej liczby pojazdów po danej linii kolejowej, przy ustalonym rozkładzie jazdy” [tłum. własne]. W artykule [1] autorzy definiują natomiast dwa określenia przepustowości: teoretyczną i praktyczną. Przepustowość teoretyczna ma być maksymalną liczbą pociągów, jakie mogą przejechać przez rozpatrywany element sieci kolejowej w idealnych warunkach, często przy założeniu pełnej jednorodności struktury ruchu. Przepustowość praktyczna jest natomiast maksymalną liczbą pociągów, które mogą przejechać przez badany element sieci kolejowej, ale przy „rozsądnym poziomie niezawodności” (nie podając jednak w definicji tego poziomu). Podobnie definiowana jest zresztą przepustowość w odniesieniu do ruchu drogowego – jako największa liczba obiektów, „którą w określonych warunkach drogowych i ruchowych może przepuścić przekrój drogi” [9]. Zgodnie z

większością definicji przepustowość odnosi się więc do maksymalnej liczby obiektów, będąc jednak zależna od warunków ruchowych, w tym struktury rodzajowej i kierunkowej ruchu.

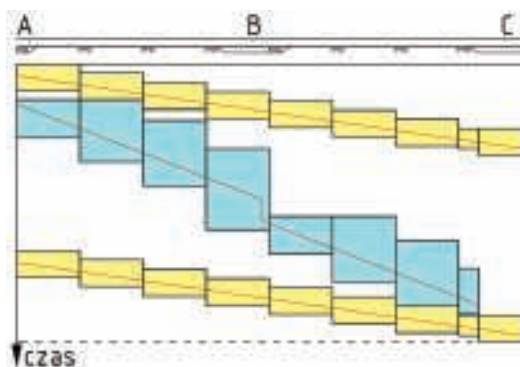
Dostrzegając problemy związane z różnorodnością definicji przepustowości i metod jej obliczeń Międzynarodowy Związek Kolei wprowadził w 2004 roku kartę UIC 406 [16]. Podjęto w niej próbę ujednolicenia definicji przepustowości dla europejskiej sieci kolejowej. Definicja ta jest dosyć zaskakująca: wg autorów „przepustowość jako taka nie istnieje” [16]. Autorzy szybko wyjaśniają jednak, że przepustowość należy rozumieć jako współzależność czterech wielkości: liczby pociągów (number of trains), średniej prędkości (average speed), niejednorodności struktury ruchu (heterogeneity) i niezawodności rozkładu jazdy (stability). Przepustowość konkretnego odcinka linii kolejowej może być więc użytkowana w różny sposób: np. na prowadzenie ruchu dużej liczby pociągów dalekobieżnych z dużymi prędkościami lub na prowadzenie mieszanego ruchu pasażerskiego i towarowego z mniejszym natężeniem i mniejszymi prędkościami. Maksymalna liczba pociągów, które mogą przejechać przez analizowany odcinek linii kolejowej, odnosi się więc zawsze do ustalonego udziału procentowego pociągów poszczególnej kategorii (struktura obciążenia ruchowego), do ustalonych prędkości pociągów każdej kategorii i założonej wielkości rezerw (buforów czasu) na tłumienie opóźnień.

Ogólny opis metod soutowskich i kompresji tras pociągów

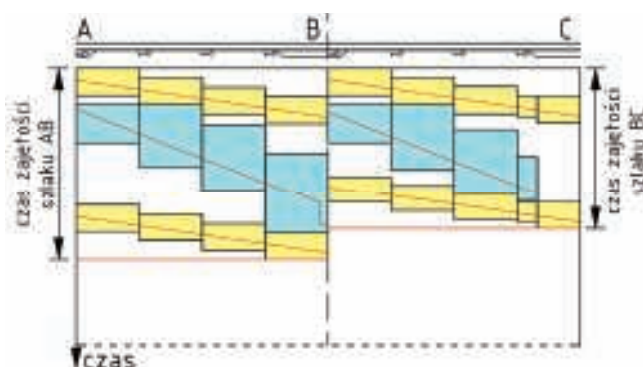
Metody soutowskie są symulacyjnymi metodami probabilistycznymi [21]. Sieć kolejową rozpatruje się jako wiele systemów masowej obsługi, w których klientami są pociągi, a kanałami obsługi – tory stacyjne i szlakowe oraz głowice rozjazdowe. Odstęp czasu pomiędzy zgłoszeniami do obsługi kolejnych pociągów jest sumą minimalnego odstępu, wynikającego z zasad bezpiecznego prowadzenia ruchu pociągów, i zmiennej losowej o rozkładzie wykładniczym. Wskutek ograniczonej możliwości jednoczesnej obsługi wielu pociągów dochodzi do sytuacji kolizyjnych – określając charakterystyki kolizyjności układu można wyznaczać prawdopodobieństwo regula-



1. Zależność płynności od intensywności ruchu wg [16]



2. Przykładowy wykres ruchu pociągów na odcinku AC; zakreślane pola oznaczają czas zajętości danego odcinka, na który składają się: czas przygotowania drogi przebiegu, czas jazdy pociągu na długości drogi widoczności semafora, czas dojazdu czoła pociągu do początku analizowanego odcinka, czas jazdy pociągu po odcinku do momentu zjazdu ostatniej osi pociągu i czas rozwiązania drogi przebiegu



3. Wykres ruchu pociągów dla linii pokazanej na rys. 2 po przeprowadzeniu kompresji na szlakach AB i BC

cji $p(r)$, czyli „planowego wydłużenia postoju lub czasu jazdy” [21], który w praktyce pojawia się w trakcie konstrukcji rozkładu jazdy. Stąd łatwo dla założonej intensywności ruchu r wyznaczyć oczekiwaną liczbę pociągów, które będą przejeżdżać przez rozpatrywany element sieci kolejowej w sposób płynny:

$$F(r) = (1 - p(r)) \cdot r$$

Jako przepustowość praktyczną podaje się taką intensywność ruchu, przy której funkcja $F(r)$ osiąga wartość maksymalną (rys. 1).

Procedura wyznaczania stopnia wykorzystania zdolności przepustowej, opisana w karcie UIC 406 [16], polega na przeprowadzaniu iteracyjnego procesu „kompresji” rozkładu jazdy i uzupełnianiu go o dodatkowe pociągi. Najłatwiej jest ją przedstawić odnosząc się do graficznej reprezentacji rozkładu jazdy pociągów, czyli wykresu ruchu (rys. 2). Analizę rozpoczyna się od istniejącego rozkładu jazdy. W pierwszym kroku w procesie kompresji trasy pociągów na wykresie ruchu na poszczególnych szlakach zbliża się do siebie w taki sposób, jakby pociągi miały kursować w minimalnych odstępach czasu, uwzględniających zasady bezpiecznego prowadzenia ruchu pociągów (rys. 3). W drugim kroku porównuje

się procentowy udział czasu zajętości badanego szlaku po przeprowadzonej kompresji z wartościami granicznymi (tabela 1). Jeżeli osiąga on lub przekracza wartość graniczną, to uznaje się, że szlak jest przeciążony i nie ma możliwości wytrasowania dodatkowych pociągów (a w przypadku przekroczenia wartości granicznej oznacza to nawet, że już przy założonym obciążeniu ruchowym nie jest zapewniony odpowiedni poziom niezawodności rozkładu jazdy) – w tej sytuacji obliczenia kończą się na drugim kroku. Jeżeli jednak czas zajęcia badanego odcinka nie przekracza wartości granicznej, to szlak posiada niewykorzystane rezerwy zdolności przepustowej – ustalenie, czy są one wystarczające do wytrasowania dodatkowych pociągów wymaga dalszej analizy. W trzecim kroku powraca się do oryginalnego rozkładu jazdy (sprzed procedury kompresji) i podejmuje się próbę wytrasowania dodatkowych pociągów. Następnie na uzupełnionym wykresie ruchu ponownie przeprowadza się procedurę kompresji, czyli krok pierwszy. Czynności te powtarza się aż do momentu, gdy czas zajętości szlaku osiągnie wartość graniczną, lub nie będzie już możliwości wytrasowania dodatkowych pociągów. Należy zwrócić uwagę, że opis metody zawarty

w karcie UIC 406 jest bardzo ogólnikowy, a praktyczne jej zastosowanie wymagało uszczegółowienia. Implementacje metody w poszczególnych krajach różnią się między sobą, co jest pewną sprzecznością z samą ideą karty UIC 406, której celem miało być ujednolicenie metod oceny przepustowości.

Podział sieci kolejowej do badania przepustowości

Dla celów badania zdolności przepustowej sieć kolejową dzieli się ją na odcinki lub obszary, dla których odrębnie przeprowadza się obliczenia. Jest to zabieg niezbędny z powodów praktycznych, ale może on powodować zawyżenie obliczonych wartości przepustowości, wskutek pominięcia niektórych zależności występujących w całej sieci [8, 15].

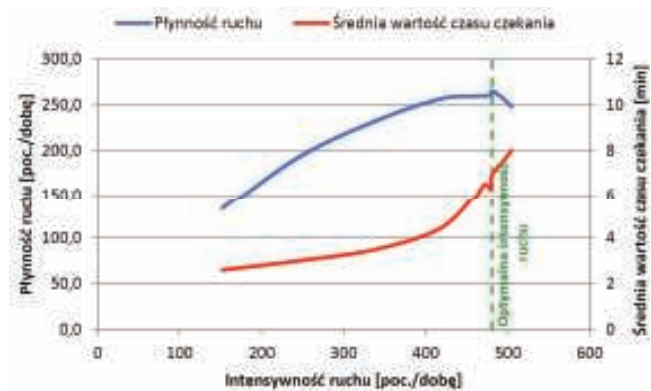
W metodach soutowskich sieć kolejową dzieli się na niezależne tzw. „soutowskie węzły torowe”, którymi są posterunki odgałęźne i główce stacyjne [19]. Symulacje przeprowadza się jednak nie tylko dla samego węzła soutowskiego, ale dla węzła soutowskiego wraz z jego otoczeniem, tj. przyległymi torami (stacyjnymi i/lub szlakowymi). Symulacje mogą być prowadzone nawet dla bardzo skomplikowanych układów stacyjnych, takich jak stacja Poznań Główny [5], Leszno [14], czy stacja Katowice Osobowa [17]. Modele układów torowych stosowane podczas symulacji uwzględniają długości odcinków, rodzaj urządzeń srk, długości dróg przebiegu i opis wszystkich punktów kolizji.

Przedstawienie sposobów podziału sieci kolejowej w metodzie kompresji tras pociągów jest znacznie trudniejsze, ponieważ jest ono przedmiotem dyskusji. I tak na przykład autorzy artykułu [8] opisującego implementację metody UIC 406 na sieci kolei duńskich stwierdzają, że dla uzyskania rzetelnych wyników należałoby przeprowadzać kompresję tras pociągów dla całej linii kolejowej, a jej podział do analiz na coraz mniejsze odcinki może sugerować istnienie większych rezerw przepustowości niż występują w rzeczywistości. Z kolei autorzy artykułu [11] posługując się przykładem linii jednotorowej dowodzą, że bezwzględnie konieczny jest podział na odcinki na wszystkich stacjach, mijankach i posterunkach odgałęźnych, aby uniknąć paradoksu polegającego na tym, że na odcinku o poziomie wykorzystania zdolności przepustowej 100% istnieć będzie możliwość wytrasowania dodatkowych pociągów.

Pierwszą argumentację (autorów artykułu [8]) można zobrazować na prostym, poglądowym przykładzie przedstawionym

na rysunku 2. Pomiędzy stacjami A i C kursują szybkie pociągi dalekobieżne i wolniejsze pociągi aglomeracyjne. Jeżeli rozważymy możliwość przeprowadzenia kompresji tras pociągów zgodnie z kartą UIC 406 [16] dla odcinka AC, to oczywiście w analizowanym przedziale czasu wykorzystanie zdolności przepustowej wynosi 100% (brak możliwości przeprowadzenia kompresji). Jeżeli jednak odrębnie rozważymy wykorzystanie zdolności przepustowej szlaków AB i BC (rys. 3) to okaże się, że oba szlaki posiadają rezerwy zdolności przepustowej. Dlatego pełna procedura opisana w karcie UIC 406 zakłada, że po przeprowadzeniu kompresji należy podjąć próbę wytrasowania dodatkowych pociągów, ale uwzględniając już dłuższe odcinki niż pojedyncze szlaki. Taki zabieg doprowadzi do wniosków, że na odcinkach AB i BC występują wprawdzie rezerwy zdolności przepustowej, ale nie są one możliwe do wykorzystania (bez strat płynności ruchu pociągów). Wynika stąd wnioski, że procentowy czas zajęcia infrastruktury, nie jest parametrem miarodajnym, a dopiero zestawienie tego parametru wraz z możliwą liczbą nowych tras pociągów przedstawia rzetelnie obraz sytuacji. Jednak to właśnie parametr procentowego czasu zajęcia infrastruktury jest, według karty UIC 406, wyznacznikiem stopnia niezawodności rozkładu jazdy tj. jego odporności na rozprzestrzenianie zakłóceń ruchu. Powyższy przykład wskazuje, że wg metody UIC 406 na szlakach AB i BC, rozpatrywanych oddzielnie, występuje duża („wysoka”) stabilność rozkładu jazdy (rys. 3), podczas gdy na rysunku 2 widzimy, że jakiegokolwiek odstępstwo od rozkładu jazdy skutkować będzie opóźnieniem kolejnego pociągu.

Autor artykułu [10] zauważają, że często o przepustowości linii kolejowych decydują stacje (podobnie w sieci drogowej o przepustowości często decydują skrzyżowania [3,13]). Karta UIC 406, choć w podsumowaniu stwierdza, że zawiera metodę obliczania przepustowości linii i posterunków ruchu, to do posterunków ruchu właściwie się nie odwołuje, a przedstawia tylko metodę obliczania przepustowości szlaków. Oczywiście założeniem karty było stworzenie łatwej w wykorzystaniu metody, ale pominięcie elementu często decydującego o przepustowości całych linii poważnie ogranicza zakres jej zastosowań. Dlatego też w literaturze można znaleźć propozycje rozszerzenia metody o obliczenia dla stacji (np. [7,10]). Autorzy są jednak zgodni – dotychczas opracowane rozszerzenia metoda kompresji tras pociągów mogą być stosowane tylko do bardzo prostych układów stacyjnych.



4. Przykładowy wykres zależności płynności ruchu i średniej wartości czasu czekania od intensywności ruchu, uzyskany w wyniku symulacji przeprowadzonej w programie SOUTWIN dla głowicy dużej stacji węzłowej

Modelowanie ruchu pociągów

W metodach soutowskich parametrami wejściowymi symulacji jest opis obciążenia ruchowego, przy czym podaje się strukturę ilościową i jakościową tego obciążenia, a także przydział torów, ale nie zakłada się kursowania pociągów wg wcześniej zdefiniowanego rozkładu jazdy. Pozwala to na określenie maksymalnej liczby pociągów jeszcze przed rozpoczęciem właściwego procesu konstrukcji rozkładu jazdy. Znając strukturę obciążenia ruchowego symuluje się pojawianie pociągów przed semaforem wjazdowym na soutowski węzeł torowy (w teorii kolejek: zgłoszenie do obsługi) w odstępach czasu będącymi sumą [19]:

$$Y = C + X$$

gdzie:

C – minimalny odstęp czasu pomiędzy dwoma kolejnymi pociągami (wynikający z długości odstępów, prędkości pociągów i urządzeń srk),

X – zmienna losowa o rozkładzie wykładniczym.

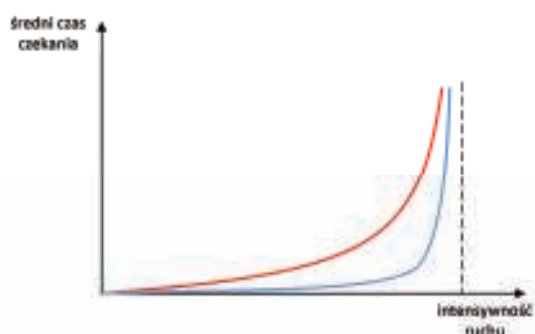
Losowość odstępu czasu pomiędzy kolejnymi pociągami wyraża rozkładową nierównomierność ruchu (Węgierski i Woch wykazali, że dla poprawności charakterystyk probabilistycznych potoków ruchu wystarczy analiza tylko rozkładowej nierównomierności ruchu, z pominięciem rzeczywistej nierównomierności, ponieważ badania ruchu planowanego i rzeczywistego dają ten sam obraz statystyczny [20]). Założenie o losowości odstępu czasu pomiędzy pociągami, udowodnione dla sieci gęstych, może budzić już wiele wątpliwości w sieciach rzadkich, zwłaszcza przy przewadze ruchu pasażerskiego i obecnej tendencji do ich regularyzacji poprzez takowanie rozkładu jazdy.

W metodzie kompresji tras pociągów korzysta się z aktualnego rozkładu jazdy pociągów. Następnstwo pociągów przy pierwszej procedurze kompresji jest zgod-

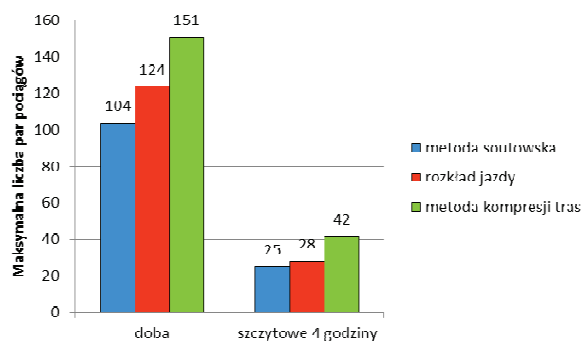
ne z aktualnie rozkładem jazdy, a o sposobie wytrasowania dodatkowych pociągów (i wyborze tych pociągów) decyduje przeprowadzający obliczenia. Przy zautomatyzowaniu obliczeń dodatkowe pociągi mogą być wybierane np. losowo spośród występujących w istniejącym rozkładzie jazdy lub adekwatnie do spodziewanego wzrostu popytu na przewozy określonej kategorii. W przypadku wykorzystania metody kompresji tras do porównywania przepustowości układów torowych w różnych wariantach modernizacji założenie konkretnego rozkładu jazdy prowadzi do pewnego niebezpieczeństwa. Może nie być wówczas jasne, czy większa zdolność przepustowa danego wariantu wynika z charakterystyki układu torowego, czy jest skutkiem założonego wariantu rozkładu jazdy.

Rezultaty obliczeń

W metodach soutowskich jako wynik obliczeń wyznaczana jest optymalna intensywność ruchu (nazywana również przepustowością praktyczną), uznawana za miarę optymalnego wykorzystania infrastruktury. Można dyskutować o tym, czy postulat planowanej (inaczej: rozkładowej) płynności ruchu, wyrażony poszukiwaniem ekstremum funkcji $F(r)$ zawsze jest postulatem słusznym. W wyniku symulacji otrzymujemy jednak nie tylko wartość optymalnej intensywności ruchu, ale także charakterystyki jakości ruchu wyrażone wartością czasu czekania, czyli „wydłużonego ponad potrzebę czasu przejazdu, określonego Rozkładem Jazdy Pociągów” [18]. Czas czekania wynika z kolizji pomiędzy kolejnymi trasami pociągów, jakie powstają podczas tworzenia rozkładu jazdy. Na przykład czasem czekania jest wydłużony czas postoju pociągu regionalnego na stacji, na której jest on wyprzedzany przez szybszy pociąg dalekobieżny. Przykładowe wyniki symulacji soutowskich przedstawio-



5. Kształt zależności średniego czasu czekania od intensywności ruchu dla układów o małej kolizyjności (kolor niebieski) i dla układów o dużej kolizyjności (kolor czerwony) przy tej samej przepustowości [16]



6. Porównanie wyników obliczeń przepustowości szlaku Poznań Wschód – Poznań Główny różnymi metodami

no na rysunku 4. Informacje uzyskane z symulacji soutowskich pozwalają świadomie przyjmować obciążenie infrastruktury kolejowej ruchem pociągów, ze znajomością średnich czasów czekania, jakie powstaną przy tworzeniu rozkładu jazdy. Z drugiej strony im więcej regulacji podczas tworzenia rozkładu jazdy, tym większe prawdopodobieństwo występowania zakłóceń wtórnych [21]. Należy jednak zwrócić uwagę, że założenie losowości zgłoszeń pociągów do obsługi może powodować uzyskiwanie zbyt pesymistycznych wyników. Będzie to tym bardziej widoczne im większa będzie rozkładowa równomierność ruchu (np. ruch taktowany) [17].

W wyniku metody kompresji tras pociągów podaje się procentowy udział czasu zajętości infrastruktury i możliwą liczbę dodatkowych tras pociągów. Metoda ta nie odnosi się bezpośrednio do planowanych strat czasu (np. wynikających ze wspomnianego wcześniej wydłużonego czasu postoju wyprzedzanego pociągu regionalnego). Wprawdzie straty czasu wpływają na zmniejszenie średniej prędkości handlowej pociągów, ale prędkość pociągów zawarta w definicji przepustowości w karcie UIC 406 zazwyczaj jest rozumiana jako średnia prędkość przejazdu pomiędzy poszczególnymi posterunkami ruchu, mająca wpływ na czas zajętości szlaku i na minimalne odstępy pomiędzy kolejnymi pociągami. W rezultacie dopuszczenie wyprzedzania wolniejszych pociągów oznaczać będzie

zmniejszenie poziomu wykorzystania zdolności przepustowej i będzie postrzegane jedynie jako „poprawa sytuacji”. Oczywiście ta „poprawa” okupiona jest spadkiem jakości ruchu, o czym jednak wynik obliczeń wg tej metody nie wspomina. Jest to naturalną konsekwencją faktu, że metoda kompresji tras pociągów ma być prostą metodą deterministyczną, konsekwentnie unikającą opisu probabilistycznego.

Wróćmy jeszcze raz do definicji przepustowości wg karty UIC 406 jako współzależności liczby pociągów, prędkości, niejednorodności struktury ruchu i niezawodności rozkładu jazdy. Autorzy karty UIC 406 proponują, aby przyjmować nie przekroczenie granicznych wartości czasów zajęcia infrastruktury jako gwarancję zapewnienia zadowalającej niezawodności rozkładu jazdy. Przyznają jednak, że wyznaczenie tych granicznych wartości, do którego należy prowadzić procedurę trasowania dodatkowych pociągów sprawia wiele trudności. Podają jedynie wartości zalecane, ustalone na podstawie „dotychczasowych doświadczeń europejskich zarządców infrastruktury” (tabela 1) [16]. Sytuację komplikuje fakt, że sieci kolejowe różnych krajów europejskich charakteryzują się różną punktualnością przewozów (co potwierdza analiza raportu [12]), a stąd właściwie dla różnych krajów powinno się odrębnie analizować niezbędne bufor czasu na tłumienie zakłóceń ruchu. Przyjęcie za wyznacznik stopnia niezawodności rozkładu jazdy procentowych czasów zajęcia infrastruktury wskazanych w tabeli 1 nie znajduje również uzasadnienia, jeżeli przyjrzymy się zależności czasu czekania od intensywności ruchu (rysunek 5). Na kształt wykresu tej zależności ma wpływ kolizyjność układu torowego. Kolorem czerwonym przedstawiono na wykresie typowy kształt zależności dla układów o dużej kolizyjności (np. główne stacyjne), a kolorem niebieskim – układy o małej kolizyjności (np. odstępy szlakowe). Przy tej samej intensywności ruchu (inaczej: przy tym samym procentowym udziale czasu zajętości infrastruktury)

wartości czasu czekania zależą będą od kolizyjności ruchu w rozpatrywanym układzie. Zróznicowanie wartości granicznych może zwiększyć wiarygodność wyników obliczeń. Jest to zgodne z zapisami karty UIC 406, która pozostawia dużą swobodę w przyjmowaniu granicznych poziomów zajętości infrastruktury, zachęcając jednocześnie do prowadzenia szerszych badań i analiz w celu wypracowania wartości uwzględniających indywidualne, krajowe wymagania.

Porównanie przykładowych wyników obliczeń

Dla zilustrowania istotnego znaczenia przyjętej metody dla wyników obliczeń na rysunku 6 przedstawiono rezultaty przykładowej analizy przepustowości dla szlaku Poznań Wschód – Poznań Główny. Obliczenia wykonano dla doby i 4 godzin szczytowych, dla rozkładu jazdy 2014/2015 następującymi metodami:

- soutowską – symulacje przeprowadzone w programie SOUTWIN dla obszaru obejmującego północną głównicę stacji Poznań Główny i zachodnią głównicę stacji Poznań Wschód wraz z przyległymi torami szlakowymi i stacyjnymi,
- kompresji tras pociągów – obliczenia przeprowadzone przez PKP PLK S.A. za pomocą stosowanej przez Zarządcę Infrastruktury aplikacji,
- konstrukcji rozkładu jazdy pociągów – z wykorzystaniem modelu mikrosymulacyjnego zbudowanego w programie OpenTrack, obejmującego szlak Poznań Wschód – Poznań Główny wraz z granicznymi stacjami.

Ostatnia z metod oddaje praktyczne możliwości wytrasowania maksymalnej liczby pociągów na tym szlaku poprzez stworzenie rozkładu jazdy, uwzględniającego wszystkie ograniczenia przepustowości na stacjach stycznych do szlaku. Ponieważ na analizowanym odcinku występuje wyłącznie ruch pasażerski, wyniki wszystkich obliczeń dla doby zredukowano, uwzględnia-

Tab. 1. Zalecane graniczne, procentowe wartości czasu zajęcia infrastruktury wg karty UIC 406 [2]

Typ linii	Graniczna wartość czasu zajęcia infrastruktury	
	W godzinie szczytowej	W dobie
Dedykowana dla podmiejskiego ruchu pasażerskiego	85%	70%
Dedykowana dla pociągów dużych prędkości	75%	60%
Linie o ruchu mieszanym	75%	60%

jąc 4-godzinną przerwę w ruchu (rezerwa może być również uwzględniana niezależnie od charakteru ruchu – dla zapewnienia możliwości prowadzenia prac utrzymaniowych).

Należy zwrócić uwagę przede wszystkim na bardzo duże różnice pomiędzy wynikami uzyskanymi w obliczeniach soutowskich i metodą kompresji tras pociągów. Różnice sięgają nawet 40%. Praktyczne możliwości wytrasowania maksymalnej liczby pociągów zawierają się w przedziale ograniczonym od dołu przez wyniki metody soutowskiej i od góry przez wyniki metody kompresji tras. W dobie wartości praktyczne zawierają się w środku tego przedziału, przy czym należy pamiętać, że zredukowano wyniki obliczeń przepustowości obiema metodami uwzględniając 4-godzinną przerwę w ruchu. W 4 godzinach szczytowych wyniki metody soutowskiej są bliskie wartościom praktycznym, podczas gdy metoda kompresji tras pociągów daje wartość aż o 50% wyższą.

Wnioski

- Metody soutowskie jako symulacyjne metody probabilistyczne pozwalają na ocenę spodziewanych czasów czekania, jakie pojawią się podczas konstrukcji rozkładu jazdy, a także w eksploatacji. Metoda kompresji tras pociągów jest metodą deterministyczną, bazującą na aktualnym rozkładzie jazdy pociągów, w związku z czym rozkładowe czasy czekania nie są w obliczeniach uwzględniane, a właściwy poziom niezawodności rozkładu jazdy ma zapewnić nie przekroczenie granicznych wartości czasu zajęcia infrastruktury, co jest dużym uproszczeniem.
- Metody soutowskie wymagają szczegółowego modelowania układów torowych posterunków ruchu z uwzględnieniem poszczególnych rozjazdów. Metoda kompresji tras pociągów jest prostą metodą pozwalającą na wyznaczanie stopnia wykorzystania zdolności przepustowej szlaków, rozszerzenie metody w stosunku do zapisów karty UIC 406 pozwala na obliczenia również dla mijanek i najprostszych układów stacyjnych. Uwzględniając opisane rozszerzenie, dokładność metody UIC 406 dla większych głowic stacyjnych jest i tak mniejsza niż wzory opracowane dla polskich kolei w latach 60-tych XX wieku.
- Zakres zastosowań metod soutowskich obejmuje przede wszystkim sieci gęste, w których o przepustowości decyduje kolizyjność układów toro-

wych. Regularyzacja ruchu, a także dopuszczenie pewnych strat w płynności ruchu pozwala w praktyce osiągnąć wyższe wartości niż wynikające z obliczeń tą metodą. Zakres zastosowań metody kompresji tras pociągów obejmuje przede wszystkim sieci rzadkie, w których o przepustowości decydują szlaki. Nie uwzględnienie w obliczeniach posterunków ruchu niesie niebezpieczeństwo znacznego przeszacowania zdolności przepustowej.

- Na przykładzie analizy przepustowości szlaku Poznań Wschód – Poznań Główny zilustrowano duże możliwe rozbieżności pomiędzy wynikami obu metod. Szczególną uwagę zwraca przeszacowanie o 50% zdolności przepustowej obliczonej metodą kompresji tras dla 4 godzin szczytowych, wynikające z nie uwzględnienia otoczenia analizowanego szlaku.
- Podawanie wyników obliczeń metodą kompresji tras pociągów dla odcinków linii kolejowych wewnątrz węzłów kolejowych i wnioskowanie na tej podstawie o braku problemów z wykorzystaniem zdolności przepustowej jest częstym nieporozumieniem – analizy przepustowości tego typu układów muszą uwzględniać kolizyjność ruchu na posterunkach. ◀

Materiały źródłowe

- [1] Abril, M., Barber, F., Ingoletti, L., Salido, M. A., Tormos, P., Lova, A. An Assessment of Railway Capacity. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, Volume 44, Issue 5, 2008, str. 774-806.
- [2] Gajda B. *Technika ruchu kolejowego. Część 2. Technologia ruchu kolejowego*. WKiŁ, Warszawa 1978.
- [3] Hobbs T. D., Richardson B. D. *Traffic Engineering*. Pergamon Press, Oxford-Londyn, 1967.
- [4] Kaczmarek M., Krych A., Rychlewski J. Multi-objective evaluation of traffic at complex intersections with different control strategies. *Materiały Międzynarodowej Konferencji "Modelling and Management in Transport."* Poznań-Kraków, 12-17 October 1999, tom II str. 17-22.
- [5] Kosicki D., Rychlewski J. Przepustowość stacji kolejowej Poznań Główny. *Materiały IX Konferencji Naukowo-Technicznej "Problemy komunikacyjne miast w warunkach zatłoczenia komunikacyjnego."* Poznań, Rosnówko, 19-21 czerwca 2013, str. 333-344.

- [6] Krueger H. Parametric modelling in rail capacity planing. *Proceedings of the 1999 Winter Simulation Conference*, str. 1194-2000.
- [7] Landex A., Jensen L.W. Measures for track complexity and robustness of operation at stations. *Journal of Rail Transport Planning & Management*, Volume 3, Issue 1-2, 2013, str. 22-35.
- [8] Landex A., Kaas A.H., Schittenhelm B., Schneider-Tilli J. Evaluation of railway capacity. *Proceedings of Trafficdays*, 2006.
- [9] Lane R. *Elementy inżynierii ruchu*. WKiŁ, Warszawa 1971.
- [10] Linder T. Applicability of the analytical UIC Code 406 compression method for evaluating line and station capacity. *Journal of Rail Transport Planning Management*, 1 (1), 2011, str. 49-57.
- [11] Linder T., Pacht J. Recommendations for enhancing UIC Code 406 method to evaluate railroad infrastructure capacity. *Proceeding of the 89th Transport Research Board Annual Meeting*, 2009.
- [12] NEA Transport Research. BOB Railway Case - Benchmarking Passenger Transport in Railways. NEA Transport research and training, Rijswijk 2003.
- [13] Rychlewski J. Dostosowanie dróg do limitów przepustowości wyznaczanych przez skrzyżowania krytyczne. *Materiały X Konferencji Naukowo-Technicznej "Problemy komunikacyjne miast w warunkach zatłoczenia motoryzacyjnego."* SITK, Poznań, Rosnówko 17-19 czerwca 2015, str. 305-320.
- [14] Rychlewski J. Drogi optymalne w sieci kolejowej z zamknięciami torów. *Rozprawa doktorska - maszynopis*. Wydział Budownictwa, Architektury i Inżynierii Środowiska Politechniki Poznańskiej 2001.
- [15] Rychlewski J. Wpływ modernizacji linii kolejowych na ich przepustowość. *TTS Technika Transportu Szybowego*, nr 7-8, 2009, str. 23-27.
- [16] UIC leaflet 406, Capacity. UIC International Union of Railways, France 2004.
- [17] Woch J. Narzędzia analizy efektywności i optymalizacji sieci kolejowej. *Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice* 2007.
- [18] Woch J. Optymalizacja sieci transportowych. *Politechnika Śląska, Katowice* 2002.
- [19] Woch J. *Podstawy inżynierii ruchu kolejowego*. WKiŁ, Warszawa 1983.
- [20] Woch J. *Statystyka procesów transportowych*. Politechnika Śląska, Katowice 2000.
- [21] Woch J. *Teoria potoków ruchu*. Politechnika Śląska, Katowice 2001.