

ANALIZA WPLYWU PARAMETRÓW ROZJAZDÓW NA PRZEPUSTOWOŚĆ WĘZŁÓW TOROWYCH I LINII KOLEJOWYCH DUŻYCH PRĘDKOŚCI NA PODSTAWIE BADAŃ SYMULACYJNYCH¹

Przemysław Brona

mgr inż., Instytut Kolejnictwa, ul. Chłopickiego 50, 04-275 Warszawa, e-mail: pbrona@ikolej.pl

Marta Rogowska-Jędra

mgr inż., Instytut Kolejnictwa, ul. Chłopickiego 50, 04-275 Warszawa, e-mail: mrogowska@ikolej.pl

Streszczenie. W artykule przedstawiona została analiza wpływu układów torowych na posterunkach ruchu, w tym w szczególności doboru parametrów rozjazdów na przepustowość linii kolejowych oraz węzłów torowych. Analizy te zostały wykonane na podstawie badań symulacyjnych z wykorzystaniem specjalistycznego oprogramowania do symulacji ruchowych.

Słowa kluczowe: transport kolejowy, linie dużych prędkości, infrastruktura kolejowa

1. Wstęp

Rozmieszczenie, funkcja oraz kształt układów torowych na posterunkach ruchu na liniach kolejowych dużych prędkości zależy od wielu czynników technicznych oraz zakładanej organizacji ruchu.

W projektowaniu układów torowych stacji i posterunków ruchu (modernizowanych lub nowych) istotnym zagadnieniem jest właściwy dobór rozjazdów oraz ich rozmieszczenie w głowicy rozjazdowej. Przyjmuje się, że dobór typów rozjazdów zależy od prędkości maksymalnej pociągów poruszających po danym torze [1]. Jednak w większości przypadków mamy do czynienia z ruchem mieszanym na liniach kolejowych, a tym samym z różnymi prędkościami maksymalnymi poszczególnych kategorii pociągów. Dotyczy to również linii dużych prędkości, na których struktura ruchu (liczba pociągów poszczególnych kategorii) jest zróżnicowana.

Dla prognozowanego obciążenia ruchem pociągów istotne jest sprawdzenie możliwości ułożenia rozkładu jazdy według przyjętych założeń (np. kursowanie pociągów według cyklicznego rozkładu jazdy). W tym celu wykonywane są m.in. badania symulacyjne pozwalające na stwierdzenie, czy dla zakładanego poziomu obciążenia wykorzystanie zdolności przepustowej poszczególnych elementów infrastruktury nie przekroczy wartości granicznych.

1 Wkład procentowy poszczególnych autorów: Brona P.: 50%, Rogowska-Jędra M.: 50%

W niniejszym artykule przedstawiono wpływ doboru różnych typów rozjazdów w połączeniach torowych na wybranym posterunku ruchu (stacji pośredniej) na zdolność przepustową odcinka linii kolejowej w zależności od prędkości maksymalnej.

2. Metoda badania – wykorzystane oprogramowanie

Badania wpływu układów torowych na posterunkach ruchu na przepustowość linii wykonane zostały z wykorzystaniem programu do symulacji ruchowych Rail-Sys. Program ten składa się z trzech głównych modułów [2]:

- 1) infrastruktura,
- 2) rozkład jazdy i symulacja,
- 3) oceny, analizy.

W module Infrastruktura wprowadza się oraz zarządza informacjami dotyczącymi infrastruktury, takimi jak tory (ich ilość, układ torowy), sygnalizacja (lokalizacja semaforów, tarcz, rodzaj sygnalizacji), rozjazdy (lokalizacja, typ, promień), perony (lokalizacja, długość, wskaźniki zatrzymania), a także pozostałe istotne elementy dotyczące infrastruktury, takie jak prędkość zarówno liniowa jak i na przebiegach, ograniczenia prędkości, drogi ochronne, przebiegi itp. Dodatkowo można wprowadzić systemy zabezpieczania ruchu kolejowego, takie jak ETCS poziomów 1 i 2. Wprowadzona infrastruktura może być zarządzana w różnych wariantach wewnątrz jednego projektu, dzięki czemu można obserwować jak zmiany wprowadzone w poszczególnych wariantach wpływają na ruch pociągów.

Gdy układ torowy jest gotowy, przechodzi się do kolejnego modułu, w którym wprowadza się rozkład jazdy oraz symuluje przejazd pociągów. Jest to najbardziej rozbudowany z modułów i składa się z dwóch części.

Pierwszą częścią jest rozkład jazdy, gdzie tworzy się rozkład jazdy pociągów na analizowanej linii. Aby tego dokonać należy wprowadzić dane dotyczące taboru wykorzystywanego na danej linii. Dane te są bardzo szczegółowe i dotyczą maksymalnej prędkości, długości, masy, ilości osi, rodzaj napędu, określenie rodzaju taboru (lokomotywa albo zespół trakcyjny). Oprócz podstawowych danych, należy wprowadzić dokładniejsze, dotyczące charakterystyki trakcyjnej. Dla poszczególnych prędkości wprowadzana jest siła przyspieszająca i na tej podstawie program generuje wykres funkcji $F(v)$.

Kolejnym krokiem pracy w tym programie jest wyznaczenie tras poszczególnych pociągów. Po wybraniu taboru i trasy, wprowadza się rozkład jazdy, czyli godziny przyjazdu oraz odjazdu z poszczególnych stacji oraz czas postoju na nich.

Na podstawie wprowadzonych danych program automatycznie generuje wykres ruchu pociągów. Na tej podstawie wykrywa konflikty wynikające z przejazdu pociągów. Przy zmianie drogi program natychmiast przelicza czasy przejazdu i generuje nowe, uwzględniając wprowadzone dane dotyczące taboru oraz infrastruktury, dlatego im dokładniejsze będą dane wprowadzone przez użytkownika,

tym dokładniejszy i bardziej zbliżony do rzeczywistego będzie rozkład jazdy oraz łatwiejsze będzie zlokalizowanie tzw. wąskich gardeł i miejsc kolizyjnych, a co za tym idzie zaproponowanie zmian mających na celu usprawnienie ruchu na linii czy odcinku.

Ostatnim modulem wykorzystywanym w programie RailSys jest moduł do oceny danych z wykonanych symulacji. Moduł ten umożliwia statystyczną ocenę różnych typów opóźnień w formie diagramów, tabel oraz widoku sieci. Oprócz modułu statystycznego, możliwe jest również wykonanie obliczeń zdolności przepustowych i ich wykorzystania dla zdefiniowanych odcinków linii lub pojedynczych szlaków.

3. Założenia dotyczące badanej infrastruktury kolejowej (moduł infrastruktura)

Do badania wpływu układów torowych na posterunkach ruchu na przepustowość węzłów torowych, odwzorowany został fragment linii kolejowej pomiędzy dwiema stacjami węzłowymi (stacja A i stacja C) oraz jedną stacją pośrednią (stacja B), umożliwiającą wyprzedzanie pociągów. Dla poszczególnych stacji zostały przyjęte następujące założenia:

- * stacja A – stacja węzłowa, na której schodzą się dwie linie kolejowe: linia dwutorowa o $v_{\max} = 250/200/160$ km/h (zależnie od wariantu) oraz linia jednotorowa $v_{\max} = 100$ km/h. Na stacji znajdują się dwa tory główne zasadnicze (GZ), stanowiące przedłużenie torów szlakowych oraz dwa tory główne dodatkowe (GD), przy których znajdują się dwa perony jednokrawędziowe.
- * stacja B – stacja pośrednia z dwoma torami GZ i dwoma torami GD wraz z peronami jednokrawędziowymi o długości 200 m.
- * stacja C – stacja węzłowa, przez którą przechodzi linia dwutorowa o $v_{\max} = 250/200/160$ km/h (zależnie od wariantu) oraz odchodzi linia jednotorowa $v_{\max} = 100$ km/h. Na stacji znajdują się dwa tory główne zasadnicze (GZ), stanowiące przedłużenie torów szlakowych oraz 4 tory główne dodatkowe GD (po dwa tory w każdym z kierunków) z peronami wyspowymi o długości 200 m pomiędzy torami GD.

Odwzorowany fragment linii dwutorowej podzielono na dwa szlaki odpowiednio o długości około 25 km (szlak A-B) i 30 km (szlak B-C). Dla tych szlaków przyjęto prędkość maksymalną $v_{\max} = 250$ km/h w wariantcie podstawowym (wariant W1) oraz prędkości 200 km/h (wariant W2) i 160 km/h (wariant W3).

Dla zbadania wpływu doboru parametrów rozjazdów na przepustowość węzłów torowych na stacji zastosowano 3 typy rozjazdów na każdej z odwzorowanych stacji umożliwiających wjazd na tory główne dodatkowe (GD) z różnymi prędkościami. Są to następujące typy rozjazdów:

- * rozjazd zwyczajny Rz – 500 – 1:12 (prędkość na tor zwrotny 60 km/h),

- * rozjazd zwyczajny Rz – 760 – 1:14 (prędkość na tor zwrotny 80 km/h),
- * rozjazd zwyczajny Rz – 1200 – 1:18,5 (prędkość na tor zwrotny 100 km/h),
- * rozjazd zwyczajny Rz – 2500 – 1:26,5 (prędkość na tor zwrotny 130 km/h).

4. Zakładana oferta przewozowa (moduł rozkład jazdy)

Dla każdego z wariantów, przyjęta została wspólna oferta przewozowa, opracowana dla wariantu bazowego (podstawowego) i zastosowana w pozostałych wariantach.

Przyjęto następującą ofertę przewozową:

- * pociągi dalekobieżne, obsługiwane taborem o prędkości maksymalnej $v_{\max} = 250$ km/h (ezt ED250), jadące przez analizowany fragment linii kolejowej bez zatrzymania na stacjach pośrednich,
- * pociągi regionalne przyspieszone, obsługiwane taborem o prędkości maksymalnej $v_{\max} = 160$ km/h (ezt 45WE „Impuls”), zatrzymujące się na stacjach pośrednich,
- * pociągi towarowe kursujące z prędkością maksymalną $v_{\max} = 120$ km/h bez postojów na stacjach pośrednich.

Dla wyżej wymienionych kategorii pociągów przyjęto następującą częstotliwość kursowania:

- * pociągi dalekobieżne kursujące co 1 godz. z zagęszczeniem w godzinach szczytu (6-10 i 14-18) do 0,5 godz,
- * pociągi regionalne kursujące co 0,5 godz, z zagęszczeniem w godzinach szczytu (6-10 i 14-18) do 15 min (w zależności od stopnia wykorzystania zdolności przepustowej),
- * pociągi towarowe kursujące poza godzinami szczytu co 1 godz.

Tabela 1. Kategorie pociągów w ofercie przewozowej

		dalekobieżne	regionalne	towarowe
Tabor		ED250	45WE	X4EC
Liczba pociągów [par/dobę]		26	42	8
Częstotliwość [h]	godziny szczytu	0,5	0,25	----
	poza godzinami szczytu	1,0	1,0	1,0

Źródło: opracowanie własne na podstawie przyjętych założeń

Zagęszczenie liczby pociągów w godzinach szczytu miało na celu uzyskanie wykorzystania zdolności przepustowej do wartości granicznej 60% w skali doby (wg karty UIC 406) w wariantcie bazowym.

5. Warianty

Zdefiniowane warianty różniły się między sobą prędkością maksymalną na torach szlakowych i torach głównych zasadniczych. Dodatkowo, w ramach każdego z wariantów wyszczególniono warianty uzupełniające, rozróżniające prędkości jazdy na tor zwrotny. Szczegółowe zestawienie wariantów prezentuje poniższa tabela.

Tabela 2. Badane warianty infrastrukturalne

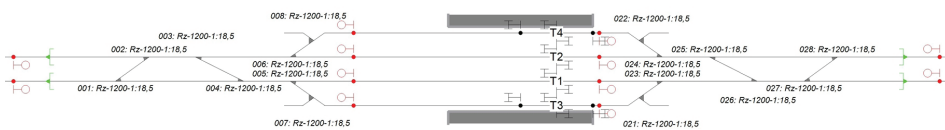
Wariant	Prędkość maksymalna na linii [km/h]	Prędkość na kierunek zwrotny [km/h]
W1	250	100
W1_1		130
W1_2		80
W1_3		60
W2	200	100
W2_1		130
W2_2		80
W2_3		60
W3	160	100
W3_1		130
W3_2		80
W3_3		60

Źródło: opracowanie własne na podstawie przyjętych założeń

Dla wariantu bazowego W1 oraz wariantów uzupełniających W1_1, W1_2, W1_3 założono prędkość maksymalną na torach szlakowych i torach głównych zasadniczych $v_{\max} = 250$ km/h. Dla wariantu bazowego W2 oraz wariantów uzupełniających W2_1, W2_2, W2_3 założono prędkość maksymalną na torach szlakowych i torach głównych zasadniczych $v_{\max} = 200$ km/h. Natomiast dla wariantu bazowego W3 oraz wariantów uzupełniających W3_1, W3_2, W3_3 założono prędkość maksymalną na torach szlakowych i torach głównych zasadniczych $v_{\max} = 160$ km/h.

W wariantach bazowych W1, W2 oraz W3 dla połączeń torów zastosowane zostały rozjazdy Rz – 1200 – 1:18,5 umożliwiające jazdę na tor zwrotny z prędkością ograniczoną $v = 100$ km/h. Schemat stacji pośredniej B dla tych wariantów przedstawia rysunek 1.

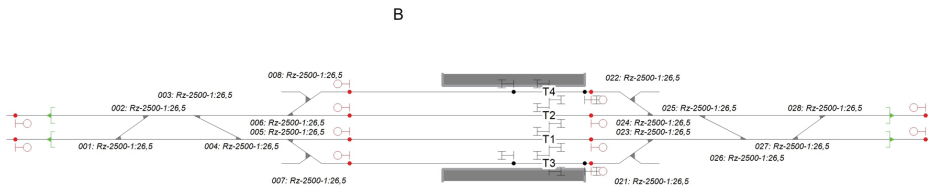
B



Rysunek 1. Schemat stacji pośredniej B w wariantach W1, W2 oraz W3.

Źródło: opracowanie własne

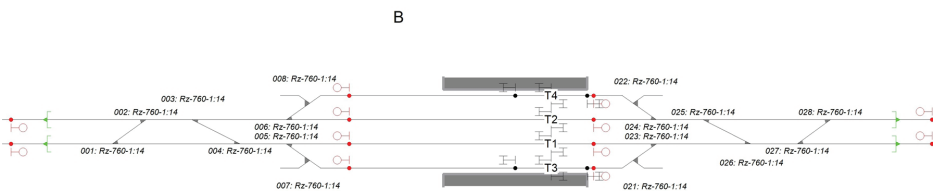
W wariantach uzupełniających W1_1, W2_1 oraz W3_1 dla połączeń torów zastosowane zostały rozjazdy Rz – 2500 – 1:26,5 umożliwiające jazdę na tor zwrotny z prędkością 130 km/h. Schemat stacji pośredniej B dla tych wariantów przedstawia rysunek 2.



Rysunek 2. Schemat stacji pośredniej B w wariantach W1_1, W2_1 oraz W3_1.

Źródło: opracowanie własne

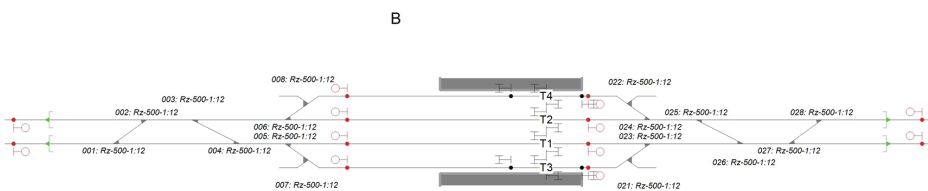
W wariantach uzupełniających W1_2, W2_2 oraz W3_2 dla połączeń torów zastosowane zostały rozjazdy Rz – 760 – 1:14 umożliwiające jazdę na tor zwrotny z prędkością 80 km/h. Schemat stacji pośredniej B dla tych wariantów przedstawia rysunek 3.



Rysunek 3. Schemat stacji pośredniej B w wariantach W1_2, W2_2 oraz W3_2.

Źródło: opracowanie własne

W wariantach uzupełniających W1_3, W2_3 oraz W3_3 dla połączeń torów zastosowane zostały rozjazdy Rz – 500 – 1:12 umożliwiające jazdę na tor zwrotny z prędkością 60 km/h. Schemat stacji pośredniej B dla tych wariantów przedstawia rysunek 4.



Rysunek 4. Schemat stacji pośredniej B w wariantach W1_3, W2_3 oraz W3_3.

Źródło: opracowanie własne

6. Wyniki symulacji oraz wnioski

Dla zdefiniowanych powyżej wariantów infrastrukturalnych oraz dla zakładanej oferty przewozowej na analizowanym fragmencie linii kolejowej, wykonane

zostały obliczenia wykorzystania zdolności przepustowych odcinka pomiędzy stacjami A - C. Obliczenia zostały wykonane z wykorzystaniem modułu do obliczania zdolności przepustowych według zasad określonych w Karcie UIC 406 [3]. Zgodnie z zapisami tej Karty do obliczenia wykorzystania zdolności przepustowej brany jest średni czas zajętości poszczególnych odcinków linii przez kursujące pociągi.

Według karty UIC406 wykorzystanie przepustowości dla odcinka linii kolejowej (liczone w %) oznacza stosunek czasu zajętości danego odcinka linii kolejowej przez wytrasowane pociągi w danym rozkładzie jazdy do przyjętego całkowitego okresu czasu (najczęściej 24 godz.). Ponieważ czasy zajętości danego odcinka linii kolejowej przez poszczególne kategorie pociągów nie są jednakowe, również wykorzystanie przepustowości (%) nie jest wprost stosunkiem liczby pociągów do maksymalnej liczby pociągów możliwych do wytrasowania na danych odcinku.

Wartością graniczną wykorzystania przepustowości w skali doby jest wartość 60%.

W poniższej tabeli zestawiono wykorzystanie zdolności przepustowych dla zdefiniowanych wcześniej wariantów zastosowania różnych typów rozjazdów na połączeniach torów głównych dodatkowych z torami głównymi zasadniczymi.

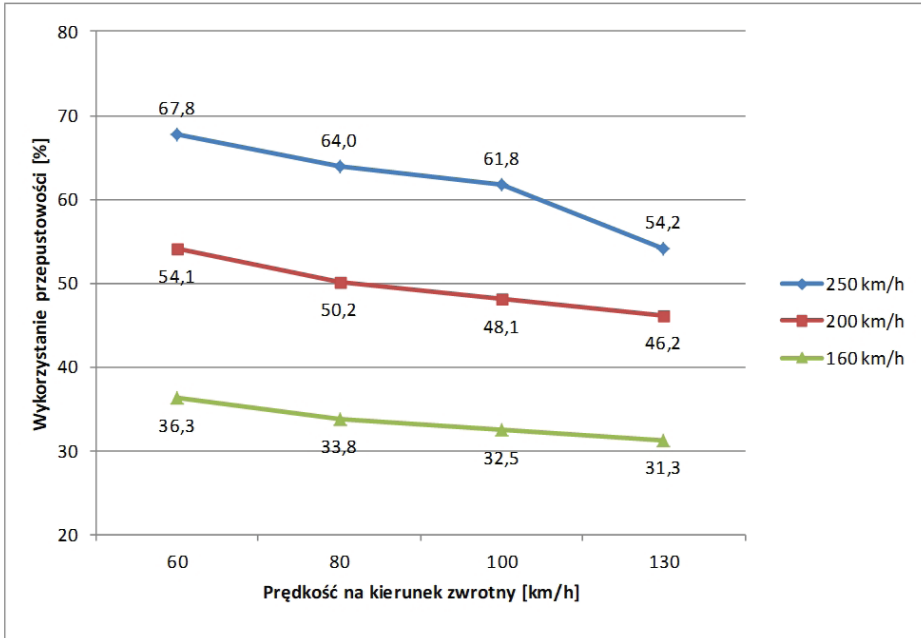
Tabela 3. Wyniki wykorzystania zdolności przepustowej dla wariantów

Wariant	Prędkość maksymalna na linii [km/h]	Prędkość na kierunek zwrotny [km/h]	Wykorzystanie przepustowości [%]
W1	250	100	61,8
W1_1		130	54,2
W1_2		80	64,0
W1_3		60	67,8
W2	200	100	48,1
W2_1		130	46,2
W2_2		80	50,2
W2_3		60	54,1
W3	160	100	32,5
W3_1		130	31,3
W3_2		80	33,8
W3_3		60	36,3

Źródło: opracowanie własne na podstawie przyjętych założeń

Na rysunku 5 przedstawiono również zmiany wartości wykorzystania przepustowości w zależności od prędkości jazdy na rozjazdach na kierunek zwrotny.

Z powyższego zestawienia wykorzystania zdolności przepustowych w poszczególnych wariantach można zauważyć, że wraz ze wzrostem prędkości maksymalnej na linii wykorzystanie przepustowości jest większe. Wynika to przede wszystkim z różnic prędkości i czasów zajętości odcinków i odstępów blokowych przez poszczególne kategorie pociągów. Najmniejsze wartości wykorzystania przepustowości można zauważyć w wariantcie W3_1, gdzie różnice w czasach zajętości szlaków przez poszczególne kategorie pociągów są najmniejsze.



Rysunek 5. Wykres zależności wykorzystania przepustowości od prędkości jazdy na kierunek zwrotny

Na zdolność przepustową badanego odcinka linii wpływ ma również zastosowanie różnych typów rozjazdów na połączeniach torów głównych zasadniczych (GZ) z torami głównymi dodatkowymi (GD) na posterunkach ruchu (stacjach).

Dla każdego z wariantów (W1, W2 i W3) zastosowanie rozjazdów o większej prędkości na tor zwrotny pozwoliło na skrócenie czasu zajętości szlaku (szybszy wjazd i wyjazd pociągu na tory główne dodatkowe). Największą różnicę można zauważyć w przypadku wariantu W1_1 gdzie prędkość maksymalna na linii wynosi 250 km/h. Wykorzystanie przepustowości odcinka zmniejszyło się o około 7,6%. W pozostałych wariantach, gdzie prędkość maksymalna na linii wynosiła odpowiednio 200 i 160 km/h zmniejszenie wykorzystania przepustowości w stosunku do wariantu bazowego wyniosło od 1,9 (W2_1) do 1,2 % (W3_1).

Z kolei zastosowanie rozjazdów o gorszych parametrach (mniejsza prędkość wjazdu i wyjazdu na tor główny dodatkowy) spowodowało zwiększenie wykorzystania zdolności przepustowej w stosunku do wariantów bazowych. W przypadku Wariantu W3_3 ($v_{\max} = 160 \text{ km/h}$) różnica wyniosła 3,8%, zaś w wariantach W2_3 i W1_3 ($v_{\max} = 200$ i 250 km/h) wzrost wykorzystania przepustowości wyniósł 6,0%. Widać więc, że wraz ze wzrostem prędkości maksymalnej na linii zastosowanie rozjazdów o niższej prędkości jazdy na tor zwrotny powoduje znaczący wzrost wykorzystania przepustowości.

7. Podsumowanie

Z przeprowadzonych badań symulacyjnych wpływu układów torowych na postępowanie ruchu (w tym w szczególności doboru parametrów rozjazdów) na przepustowość linii kolejowych oraz węzłów torowych można wnioskować, że największy wpływ na wykorzystanie przepustowości ma czas zajętości poszczególnych elementów infrastruktury (linii, szlaków, stacji) przez poszczególne kategorie pociągów. Na czas zajętości największy wpływ ma prędkość maksymalna na linii oraz prędkość jazdy na połączeniach torów głównych zasadniczych z torami głównymi dodatkowymi.

W przypadku gdy prędkość jazdy na rozjazdach jest znacząco mniejsza niż na linii czas zajętości kolejnych elementów infrastruktury wzrasta, co z kolei powoduje zwiększenie wykorzystania zdolności przepustowej. Natomiast zastosowanie rozjazdów o korzystniejszych parametrach technicznych (większa prędkość jazdy na tor zwrotny) powoduje krótszy czas zajętości, a tym samym wzrost zdolności przepustowej.

Na wykorzystanie zdolności przepustowej znaczący wpływ ma również struktura ruchu pociągów, tj. kursowanie pociągów z różnymi prędkościami. W przypadku gdy prędkość pociągów jest znacząco zróżnicowana, wykorzystanie zdolności przepustowej jest większe. Jest to szczególnie widoczne w wynikach symulacji dla wariantu W1, gdzie różnice pomiędzy prędkościami poszczególnych kategorii pociągów są znaczące (250 km/h dla pociągów dalekobieżnych, 160 km/h dla pociągów regionalnych i 120 km/h dla pociągów towarowych). W przypadku gdy prędkości pociągów są do siebie zbliżone (np. w wariantcie W3), wykorzystanie zdolności przepustowej jest stosunkowo niskie.

Bibliografia

- [1] Massel A.: Projektowanie linii kolejowych. Warszawa, Kolejowa Oficyna Wydawnicza, 2010;
- [2] Rogowska M. Badanie przepustowości linii kolejowej przy wykorzystaniu nowoczesnych programów mikrosymulacyjnych. Przegląd Komunikacyjny, 7/2017;
- [3] UIC Code 406 Capacity, 2nd Edition, International Union of Railways (UIC), Paris June 2013, ISBN 978-2-7461-2159-1;

