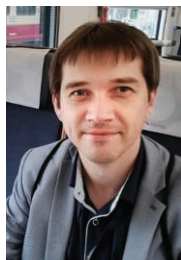


Przykłady analiz ruchowo-eksploatacyjnych wąskich gardeł infrastruktury kolejowej i sposoby ich eliminacji

Examples of traffic and operational analyses of railway infrastructure bottlenecks and ways to eliminate them



Przemysław Brona

Mgr inż.

Instytut Kolejnictwa, Zakład Dróg Kolejowych i Przewozów

pbrona@ikolej.pl
ORCID: 0000-0002-5452-8033

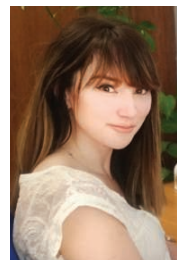


Michalina Chrzanowska

Mgr inż.

Instytut Kolejnictwa, Zakład Dróg Kolejowych i Przewozów

mchrzanowska@ikolej.pl
ORCID: 0009-0008-4891-5193



Marta Rogowska - Jędra

Mgr inż.

Instytut Kolejnictwa, Zakład Dróg Kolejowych i Przewozów

mrogowska@ikolej.pl
ORCID: 0000-0002-1925-4807

Streszczenie: W artykule przedstawiona została identyfikacja elementów infrastruktury kolejowej ograniczających zdolność przepustową odcinków linii kolejowych. Elementy te określane są jako „wąskie gardła” infrastruktury. Analizy „wąskich gardeł” zostały wykonane na podstawie badań symulacyjnych z wykorzystaniem specjalistycznego oprogramowania do symulacji ruchu kolejowego. W artykule przedstawiono również propozycje działań usprawniających, mających na celu poprawę warunków prowadzenia ruchu kolejowego.

Słowa kluczowe: Transport kolejowy; Infrastruktura kolejowa; Modele mikrosymulacyjne

Abstract: The article presents the identification of railway infrastructure elements that limit the capacity of railway line sections. These elements are referred to as infrastructure “bottlenecks”. The analyses of the “bottlenecks” were carried out on the basis of simulation studies using specialized railway traffic simulation software. The article also presents proposed improvement measures aimed at enhancing the conditions for railway traffic operations.

Keywords: Railway transport; Railway infrastructure; Microsimulation models

Wprowadzenie

Podejmowane na przestrzeni ostatnich kilkunastu lat kolejowe inwestycje infrastrukturalne, mają na celu poprawę warunków prowadzenia ruchu kolejowego poprzez podniesienie parametrów eksploatacyjnych linii kolejowych (np. podniesienie prędkości maksymalnej, likwidację występujących ograniczeń prędkości, itp.). Prowadzone są również prace zwiększające dostępność transportu kolejowego, takie jak budowa nowych lub rozbudowa istniejących punktów obsługi podróżnych (stacji i przystanków kolejowych).

Jednym z głównych parametrów określających możliwości prowadzenia ruchu na liniach kolejowych jest zdolność przepustowa i jej wykorzystanie w określonym przedziale czasu (np. w ciągu doby). Na liniach kolejowych występują różne ograniczenia eksploatacyjne, czyli tzw. „wąskie gardła”, które mają wpływ na zdolność przepustową poszczególnych odcinków linii kolejowej,

a tym samym ograniczają możliwości rozszerzenia oferty przewoźników kolejowych. W niniejszym artykule wskazane zostały najważniejsze problemy ograniczające przepustowość linii kolejowych oraz propozycje ich rozwiązań.

Wąskie gardła infrastruktury Definicja wąskich gardeł

„Wąskie gardło” jest elementem lub grupą elementów infrastruktury, ograniczających zdolność przepustową fragmentu sieci (odcinka linii kolejowej, korytarza przewozowego, posterunku ruchu lub węzła kolejowego). Może to być np. rozjazd, głowica stacyjna, tor przy krawędzi peronowej, odstęp lub szlak. „Wąskie gardło” determinuje maksymalną liczbę pociągów, które mogą przejechać przez dany fragment sieci. Na poziomie operacyjnym, „wąskie gardła” powodują m.in. narastanie opóźnień wtórnych w ruchu pociągów oraz mogą doprowadzić do przepełnienia

infrastruktury kolejowej.

Założenia do analiz ruchowo-eksploatacyjnych z wykorzystaniem modeli mikrosymulacyjnych

„Wąskie gardła” zostały zidentyfikowane z wykorzystaniem programu do symulacji ruchowych RailSys. Program ten składa się z trzech głównych modułów:

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

W module infrastruktura wprowadzane są dane dotyczące danej linii i/lub sieci kolejowej. Odzworowywany jest jej układ torowy obejmujący tory szlakowe, tory główne zasadnicze oraz tory główne dodatkowe na posterunkach ruchu. W programie wprowadzane są m.in. dane dotyczące profilu podłużnego i poprzecznego linii, elektryfikacji, prędkości maksymalnych i lokalnych ograniczeń prędkości, sygnalizacji, rozjazdów, peronów oraz wszystkich in-

Tab. 1. Kategorie „wąskich gardeł”

Nr kategorii	Opis „wąskiego gardła”
1	Niewystarczająca ilość torów szlakowych występująca na danym szlaku/odcinku linii
2	Niewystarczająca ilość torów głównych dodatkowych oraz torów przyperonowych występujących na stacjach
3	Ograniczenia oraz mała prędkość maksymalna występująca na szlaku
4	Mała prędkość pociągu przy jeździe na tor zwrrotny, wynikająca z typu zastosowanego rozjazdu
5	Układ rozjazdów na głowicach rozjazdowych uniemożliwiający jednoczesny wjazd i wyjazd pociągów we wszystkich kierunkach
6	Zastosowany rodzaj urządzeń sterowania ruchem kolejowym mający wpływ na czas nastawiania i zwalniania przebiegów, a tym samym czasu ich zajętości
7	Duże odległości pomiędzy dwoma sąsiadującymi posterunkami zapowiadawczymi utrudniające krzyżowanie, wyprzedzanie oraz wyprawianie pociągów
8	Przekroczone wartości graniczne wykorzystania przepustowości zgodnie z kartą UIC406 [1] w dobie, bądź godzinach szczytu

Źródło: opracowanie własne autorów

nych danych niezbędnych do prawidłowego odwzorowania stanu obecnego lub nowoprojektowanej infrastruktury. Generowane są również przebiegi na szlakach oraz posterunkach ruchu.

Po utworzeniu modelu infrastruktury można przejść do kolejnego modułu, który umożliwia konstrukcję rozkładu jazdy oraz późniejsze symulacje ruchu na jego podstawie. W celu stworzenia rozkładu jazdy niezbędne jest uprzednie wprowadzenie danych dotyczących taboru wraz z ich charakterystykami trakcyjnymi. Mając je wprowadzone, można przejść do wyznaczania tras poszczególnych pociągów. Następnie wprowadzany jest rozkład jazdy, czyli godziny przyjazdu oraz odjazdu z poszczególnych posterunków ruchu oraz czasy postoju na nich. Na podstawie wprowadzonych danych program automatycznie generuje wykres ruchu pociągów. Wykres ten może posiadać konflikty wynikające z przejazdu pociągów.

Zgodność wykresu ze stanem istniejącym jest uzależniona od dokładności wprowadzonych wcześniej do modelu danych. Im dokładniejsze będą dane, tym dokładniejszy i bardziej zbliżony do rzeczywistego będzie rozkład jazdy. Umożliwia to łatwiejsze zlokalizowanie tzw. wąskich gardeł i miejsc kolizyjnych, a co za tym idzie, zaproponowanie zmian mających na celu usprawnienie

ruchu na linii czy odcinku.

W drugiej części modułu możliwa jest analiza danych z przeprowadzonych symulacji. Program umożliwia obliczenie przepustowości dla danych linii, przeprowadzenie symulacji opóźnień, a także ich prezentację w formie diagramów, tabel oraz widoku sieci.

Identyfikacja „wąskich gardeł” infrastruktury

W ramach identyfikacji „wąskich gardeł” dla linii kolejowych, korytarza lub większego wycinka sieci kolejowej rozpatrywane były odcinki, na długości których natężenie ruchu pociągów było stałe. Przeprowadzona analiza linii kolejowych z wykorzystaniem modeli mikrosymulacyjnych pozwoliła na wyróżnienie kategorii problemów, które zostały przedstawione w tabeli 1.

Propozycje eliminacji „wąskich gardeł” infrastruktury

Przedstawione powyżej „wąskie gardła” mogą zostać zlikwidowane poprzez zastosowanie rozwiązań, które w opracowaniach przedstawiają W. Wyrzykowski w „Ruchu kolejowym” [2] oraz B. Gajda w „Technice ruchu kolejowego cz. 2” [3]. Wymieniają następujące metody na powiększenie zdolności przepustowej linii kolejowej: zwiększenie prędkości jazdy pociągów, skracanie długości szlaków, zmiana systemów sterowania ruchem kolejowym, prowadzenie ruchu pociągów według wykresu pakietowego, budowa drugiego toru na odcinku jednotorowym, budowa dodatkowych torów szlakowych na odcinkach dwutorowych.

Metody te zostały podzielone na dwie grupy pod kątem generowanych przez nie kosztów. Pierwszą z nich są rozwiązania niskonakładowe, które podczas wdrażania nie ingerują w sposób znaczący w istniejącą infrastrukturę kolejową. Do tego typu rozwiązań należą między innymi: drobne zmiany w głowicach stacyjnych (zmiana typów rozjazdów umożliwiających jazdę ze zwiększoną prędkością), budowa dodatkowych torów stacyjnych, modernizacja urządzeń sterowania ruchem kolejowym (zabudowa blokad wielodostępowych, optymalizacja rozmieszczenia semaforów

na szlakach) oraz budowa mijanek i długich mijanek. Druga grupa rozwiązań dotyczy ulepszeń wymagających większego nakładu finansowego oraz działań wpływających w wysokim stopniu na istniejącą infrastrukturę kolejową. Przykładami rozwiązań należących do tej grupy są między innymi: dobudowa toru szlakowego, przebudowa średniej i dużej stacji czy budowa bezkolizyjnych połączeń torów.

Dla zdefiniowanych powyżej „wąskich gardeł” zlokalizowanych na wybranych liniach kolejowych przeprowadzone zostały analizy z wykorzystaniem modeli mikrosymulacyjnych w programie RailSys. Ogólne zasady opracowania modeli mikrosymulacyjnych opisane zostały m.in. w artykułach [4] i [5].

W modelach tych analizy przeprowadzane są głównie w skali mikro tj. dla wybranych elementów infrastruktury. Do tych analiz można zaliczyć m.in. badanie zdolności przepustowej i jej wykorzystania dla poszczególnych szlaków lub odcinków funkcjonalnych według zakładanej struktury ruchu pociągów w przyjętym rozkładzie jazdy.

Istotą przeprowadzonych analiz było znalezienie rozwiązania należącego do pierwszej grupy rozwiązań (tj. rozwiązań niskonakładowych) w celu przedstawienia, jak w nieznacznym stopniu, zmieniając infrastrukturę, można poprawić warunki ruchowe na linii.

Każde z „wąskich gardeł” zostało opisane pod kątem występującego problemu oraz uzyskanego efektu po wprowadzeniu ulepszeń infrastrukturalnych. Na rysunkach w artykule przedstawiono schemat analizowanych elementów infrastruktury oraz fragmenty wykresów ruchu z blokami zajętości tych elementów przez poszczególne pociągi.

Niewystarczająca liczba torów głównych dodatkowych oraz przyperonowych na stacjach

Niewystarczająca liczba torów głównych dodatkowych oraz często idąca za tym niewystarczająca liczba krawędzi przyperonowych do obsługi pociągów pasażerskich negatywnie wpływa na płynność ruchu i powoduje powstawanie „wąskich gardeł”. Znacznie ogranicza to, a często wręcz uniemożliwia, wyprzedzanie się pociągów czy rozpo-

czynianie/kończenie biegu na danej stacji. Dla usprawnienia obsługi pociągów niezbędna jest rozbudowa stacji o tor główny dodatkowy, przy którym pociągi będą mogły kończyć i rozpoczynać bieg (patrz rysunek 1) zwalniając jednocześnie tor główny dodatkowy, który można w pełni wykorzystać do wyprzedzania pociągów.

Mała prędkość pociągu przy jeździe na tor zwrotny, wynikająca z typu zastosowanego rozjazdu

Na przepustowość linii kolejowych oraz węzłów torowych największy wpływ ma czas zajętości poszczególnych elementów infrastruktury (odcinków blokowych). W związku z tym typ zastosowanego rozjazdu na posterunkach ruchu (stacjach) w miejscu połączeń torów głównych zasadniczych z torami głównymi dodatkowymi również ma wpływ na zdolność przepustową.

Analizy [5] pokazały, że w przypadku, gdy prędkość jazdy na rozjazdach jest znacząco mniejsza niż na linii czas zajętości kolejnych elementów infrastruktury wzrasta, co z kolei przekłada się na zwiększenie wykorzystania zdolności przepustowej, natomiast zastosowanie rozjazdów o korzystniejszych parametrach technicznych (większa prędkość jazdy na tor zwrotny) umożliwiającach szybszy wjazd i wyjazd pociągu na tory główne dodatkowe powoduje krótszy czas zajętości, a tym samym wzrost zdolności przepustowej.

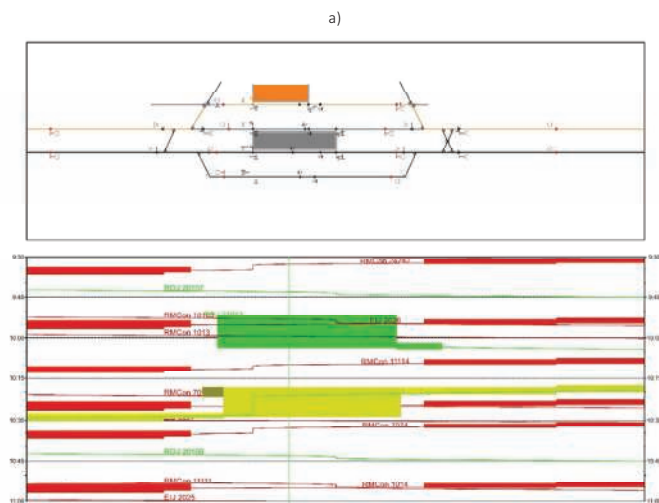
Zmiana rodzaju urządzeń sterowania ruchem kolejowym

Linie kolejowe wyposażone w przestarzałe urządzenia sterowania ruchem typu mechanicznego (lub czasami nawet kluczowe) charakteryzują się długimi czasami zajętości szlaków oraz wymuszają wydłużone postoje na sta-

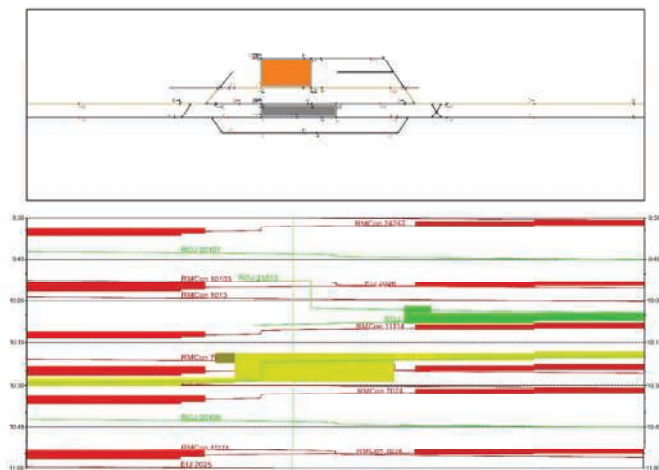
cjach podczas krzyżowania pociągów. Utrudnia to konstrukcję rozkładu jazdy przy dużym obciążeniu ruchowym linii. W analizowanym przykładzie warunki infrastrukturalne uniemożliwiały wytrasowanie zadanej liczby pociągów. Wymiana urządzeń sterowania ruchem kolejowych na stacjach na urządzenia przekątnikowe pozwoliła zmniejszyć czasy zajętości poszczególnych szlaków. Dzięki temu możliwe było cykliczne wytrasowanie pociągów oraz zwiększenie ich liczby zgodnie z założoną ofertą przewozową. Zmniejszyły się również czasy postojów pociągów na stacjach.

Duże odległości pomiędzy dwoma sąsiadującymi posterunkami zapowiadawczymi utrudniające krzyżowanie, wyprzedzanie oraz wyprawianie pociągów

Mijanki



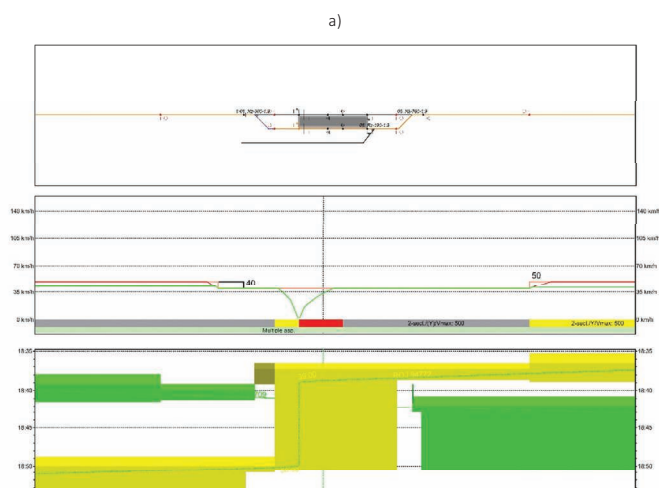
b)



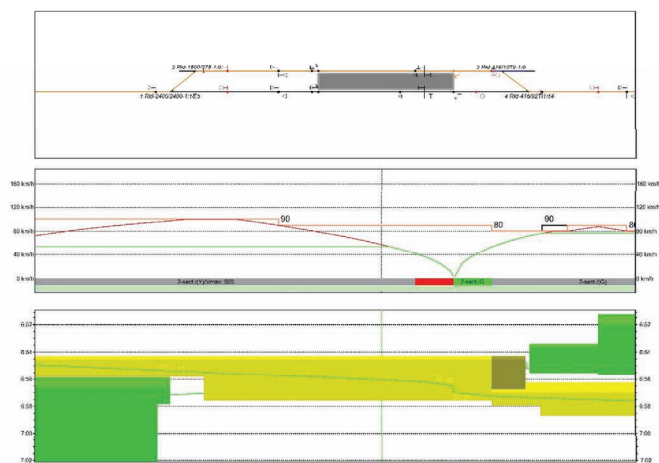
1. Bloki zajętości na linii kolejowej

a) przed wprowadzeniem ulepszenia infrastrukturalnego
b) po dobudowie torów głównych dodatkowych.

Źródło: opracowanie własne z wykorzystaniem oprogramowania RailSys



b)



2. Bloki zajętości na linii kolejowej

a) przed wprowadzeniem ulepszenia infrastrukturalnego
b) po zmianie typów rozjazdów.

Źródło: opracowanie własne z wykorzystaniem oprogramowania RailSys

Dla linii kolejowych jednotorowych, posiadających duże odległości pomiędzy stacjami, najprostszym sposobem na zwiększenie przepustowości linii jest przekształcenie jednego bądź więcej przystanków osobowych na mijanki (Rysunek 4). Rozwiązanie to należy do kategorii niskonakładowych. Pozwala na dogęszczenie rozkładu jazdy poprzez krzyżowania pociągów na nowo utworzonej mijance, jednocześnie rozdzielając jeden długi czas zajętości szlaku dwa krótsze.

Dynamiczne mijanki

Rozwiązaniem pośrednim pomiędzy budową mijanek na linii jednotorowej a rozbudową linii kolejowej o nowy tor szlakowy na całej jej długości jest budowa tzw. dynamicznych mijanek (Rysunek 5). Mijanka dynamiczna jest odcinkiem dwutorowym na wybranym szlaku linii kolejowej, który umożliwia

krzyżowanie pociągów bez konieczności stosowania wydłużonych postojów pociągów na stacjach. Jest to rozwiązanie wymagające większych nakładów finansowych niż przebudowa przystanku osobowego, ale znacząco mniejsze od przekształcenia całej linii jednotorowej na linię dwutorową. Jest dobrym rozwiązaniem na liniach jednotorowych o dużym obciążeniu ruchowym.

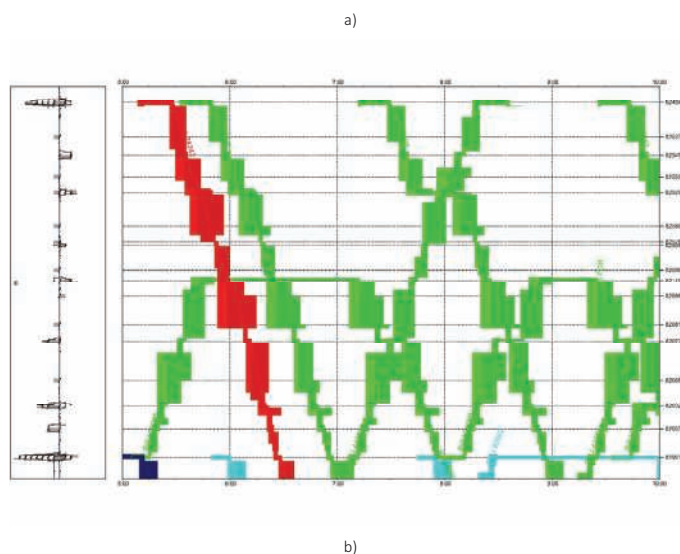
Niewystarczająca liczba torów szlakowych

Długie jednotorowe szlaki powodują przekroczenie dopuszczalnych wartości przepustowości. Badany przykładowy odcinek jest mocno obciążony ruchem pociągów dalekobieżnych oraz regionalnych. Analizy pokazały, że w celu upłynnienia ruchu konieczna jest budowa drugiego toru szlakowego, która co widoczne na Rysunek 6, pozwoliła na zwiększenie przepustowości i elimi-

nację kolizyjności przebiegów na analizowanym odcinku.

Wnioski i podsumowanie

Prowadzenie ruchu pociągów na liniach kolejowych jest ściśle związane z wykorzystaniem zdolności przepustowej poszczególnych elementów infrastruktury (stacje, szlaki i odcinki linii kolejowych). Istotny wpływ na wykorzystanie przepustowości mają m.in. parametry drogi kolejowej (głównie prędkość maksymalna oraz występujące ograniczenia prędkości), liczba torów szlakowych, rodzaj zastosowanych urządzeń sterowania ruchem pociągów a także charakterystyki techniczne pociągów zróżnicowane prędkości maksymalne dla poszczególnych kategorii pociągów. Elementy infrastruktury, w których wykorzystanie przepustowości osiąga wartości graniczne potocznie nazywane są „wąskimi gardłami”.

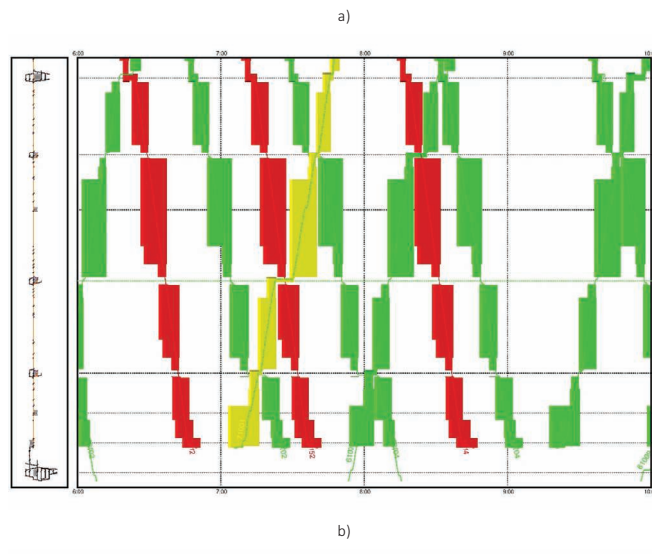


3. Bloki zajętości na linii kolejowej

a) przed wprowadzeniem ulepszenia infrastrukturalnego

b) po zmianie typu urządzeń srk.

Źródło: opracowanie własne z wykorzystaniem oprogramowania RailSys



4. Bloki zajętości na odcinku linii kolejowej

a) przed wprowadzeniem ulepszenia infrastrukturalnego

b) po wprowadzeniu mijanki.

Źródło: opracowanie własne z wykorzystaniem oprogramowania RailSys

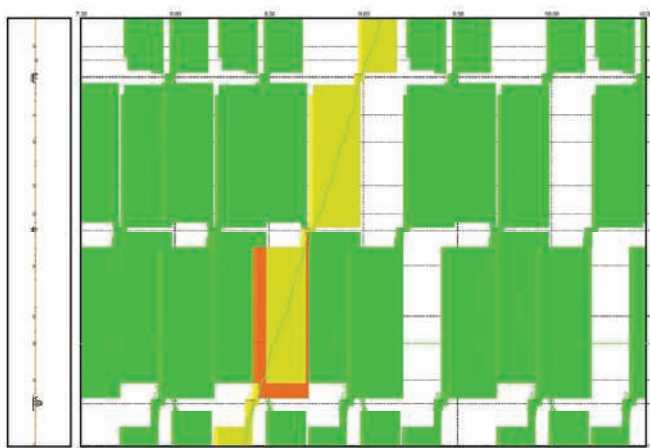
W niniejszym artykule przedstawione zostały propozycje usprawnień eliminujących „wąskie gardła” występujące na wybranych przykładowych odcinkach linii kolejowych. Podczas analiz skupiono się na usprawnieniach, które w ograniczonym stopniu ingerują w istniejącą infrastrukturę kolejową. Są to między innymi: drobne zmiany w głowicach stacyjnych, budowa dodatkowych torów stacyjnych, modernizacja urządzeń sterowania ruchem kolejowym (zabudowa blokad wielodostępowych, optymalizacja rozmieszczenia semaforów na szlakach) oraz budowa mijanek lub dynamicznych mijanek. Analiza „wąskich gardeł” infrastruktury została poprzedzona wykonaniem symulacji ruchowych z wykorzystaniem modeli mikrosymulacyjnych w specjalistycznym oprogramowaniu. Dzięki temu możliwe było sprawdzenie jak likwidacja elementów kolizyjnych i proponowane usprawnienia miały wpływ na poprawę warunków prowadzenia ruchu kolejowego i możliwości zaimplementowania zakładanej oferty przewozowej.

Przedstawione powyżej propozycje działań usprawniających nie wyczerpują w pełni katalogu możliwości eliminacji „wąskich gardeł”. Innymi propozycjami mogą być działania o szerszym zakresie, takie jak np. dobudowa dodatkowych torów szlakowych, budowa nowych linii kolejowych, w tym krótkich odcinków łączących linie kolejowe tzw. łącznic kolejowych, budowa lub przebudowa dużych stacji węzłowych wraz z budową bezkolizyjnych wjazdów i wyjazdów w miejscach głowic rozjazdowych. Działania te wymagają jednak znaczących nakładów inwestycyjnych i dłuższej perspektywy czasowej. ◀

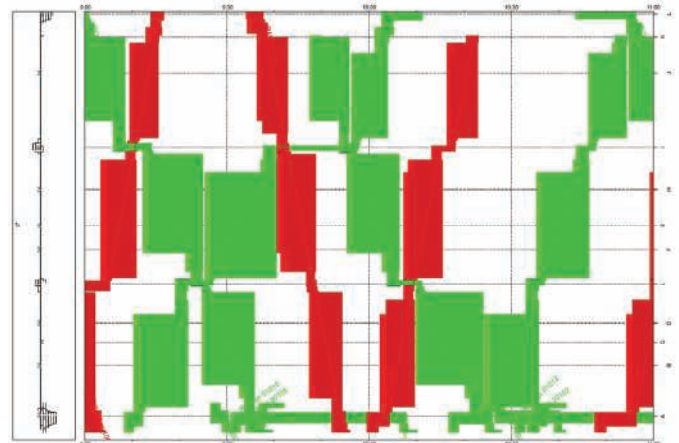
Materiały źródłowe

- [1] UIC Code 406 Capacity, 2nd Edition, International Union of Railways (UIC), Paris June 2013, ISBN 978-2-7461-2159-1

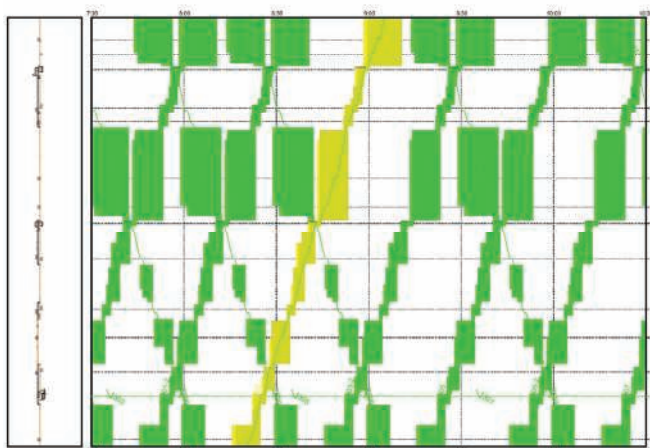
- [2] W. Wyrzykowski „Ruch kolejowy”, Wydawnictwo Komunikacji i Łączności, Warszawa 1966
- [3] B. Gajda „Technika ruchu kolejowego cz.2”, Wydawnictwo Komunikacji i Łączności, Warszawa 1990
- [4] Rogowska M. Badanie przepustowości linii kolejowej przy wykorzystaniu nowoczesnych programów mikrosymulacyjnych. Przegląd Komunikacyjny, 7/2017
- [5] Brona P., Rogowska-Jędra M.: Analiza wpływu parametrów rozjazdów na przepustowość węzłów torowych i linii kolejowych dużych prędkości na podstawie badań symulacyjnych. Zeszyty Naukowo-Techniczne SITK RP Oddział w Krakowie. Seria: Materiały Konferencyjne. Zeszyt 2 (123). Rok 2021



b)



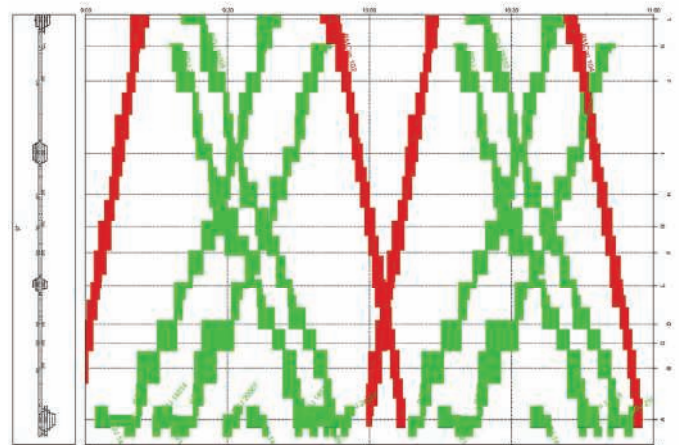
b)



5. Bloki zajętości na linii kolejowej

- a) przed wprowadzeniem ulepszenia infrastrukturalnego
b) po rozbudowie linii z dynamicznymi mijankami.

Źródło: opracowanie własne z wykorzystaniem oprogramowania RailSys



6. Bloki zajętości na linii kolejowej

- a) przed wprowadzeniem ulepszenia infrastrukturalnego
b) po dobudowie drugiego toru szlakowego.

Źródło: opracowanie własne z wykorzystaniem oprogramowania RailSys