



Politechnika
Śląska

DYSCYPLINA NAUKOWA
INŻYNIERIA LĄDOWA,
GEODEZJA I TRANSPORT

ROZPRAWA DOKTORSKA

mgr inż. Maciej Irlik

Wpływ raportowania pozycji pociągu na przepustowość linii kolejowej

Impact of the train position reporting
on railway line capacity

Promotor
dr hab. inż. Piotr Folęga, prof. Politechniki Śląskiej

Promotor pomocniczy
dr inż. Szymon Surma

Gliwice 2023

Streszczenie

Cyfryzacja, wodór, ATO (Automatic Train Operation) i ETCS (Europejski System Sterowania Pociągami) to główne kierunki rozwoju transportu kolejowego w najbliższych latach. Zwiększenie udziału transportu kolejowego w systemie transportowym to nie tylko wymóg związany z transformacją gospodarki w kierunku rozwiązań ekologicznych, ale również widoczny trend zapotrzebowania na transport kolejowy w Europie i na świecie. Koszty i czas wdrażania nowoczesnych systemów sterowania i kierowania ruchem kolejowym powodują potrzebę weryfikacji założeń projektowych i ich wpływu na sprawność działania procesu eksploatacyjnego, w tym na zdolność przepustową. Ponadto, wraz ze zwiększającym się zapotrzebowaniem na usługi przewozowe z wykorzystaniem transportu kolejowego, istotnym staje się zagadnienie zapewnienia niezawodności prowadzenia ruchu i możliwości zwiększania zdolności przepustowej poprzez proces sterowania i kierowania ruchem kolejowym. Zagadnienie to stało się możliwe do realizacji w momencie wprowadzenia w systemach sterowania ruchem kolejowym rozwiązań opartych na bezprzewodowej wymianie danych między pokładowymi i przytorowymi urządzeniami sterowania ruchem kolejowym. Rozwiązania umożliwiające osiąganie zdolności przepustowej adekwatnych do systemów metra na liniach głównych kolei szybkiej są już stosowane na niektórych fragmentach sieci kolejowej na świecie.

W Europie, w tym Polsce, systemy i zasady sterowania ruchem kolejowym z powodów historycznych są specyficzne dla danego Zarządcy Infrastruktury. Dodatkowo istnieje silnie mieszany ruch pojazdów kolejowych - różnego typu, o różnych charakterystykach jazdy i wyposażenia pokładowego w zakresie sterowania. Z tego też względu, wprowadzanie rozwiązań w systemach sterowania ruchem kolejowym w Polsce i w Europie, które mają zwiększać zdolność przepustową wymaga szczegółowych analiz.

W rozprawie zaproponowano wykorzystanie autorskiego oprogramowania symulacyjnego zbudowanego w środowisku MATLAB&Simulink, bazującego na dwóch opracowanych modelach jazdy pociągu. Pierwszy model jazdy pociągu bazuje na procesie sterowania pociągami przez maszynistę na podstawie wskazań sygnalizacji przytorowej. Drugi model bazuje na procesie sterowania pociągami z wykorzystaniem sygnalizacji kabinowej i nadzór nad jazdą pociągu przez system ETCS. Oprogramowanie symulacyjne umożliwia parametryzację zarówno parametrów pociągów użytych w symulacji, jak i parametrów układu torowego i rozmieszczenia przytorowych urządzeń sterowania ruchem kolejowym. Istotną funkcjonalnością odróżniającą zaproponowane modele jazdy pociągów od innych rozwiązań komercyjnych jest możliwość uwzględnienia rzeczywistych charakterystyk jazdy pociągów (charakterystyki przyspieszania i hamowania) uzyskanych z pomiarów oraz charakterystyki hamowania ETCS.

W pracy zaproponowano sposób oszacowania maksymalnej zdolności przepustowej szlaku w oparciu o kontrolowane wyprawianie kolejnych pociągów na szlak. Przy rzeczywistych

charakterystykach jazdy pociągów, kolejne pociągi są wyprawiane z predykcyjnie określonym opóźnieniem, w celu wyeliminowania konieczności hamowania i ponownego przyspieszania pociągu w wyniku interakcji z pociągiem poprzedzającym.

W zakresie rozwiązań w systemach sterowania ruchem kolejowym związanych ze zwiększeniem zdolności przepustowej, zaproponowano koncepcję dodatkowego podziału klasycznych odstępów na szlaku z wykorzystaniem wirtualnych odstępów. Wirtualne odstępy przyjmują stany niezajętości na podstawie raportowanej pozycji przez pociąg w systemie ETCS, bez potrzeby stosowania dodatkowych fizycznych systemów stwierdzania nie zajętości, np. liczników osi.

Opracowane oprogramowanie symulacyjne, zaproponowana metodyka badania zdolności przepustowej oraz koncepcja dodatkowego podziału odstępów z wykorzystaniem wirtualnych odstępów zostały zastosowane oraz zweryfikowane na przykładowym szlaku Psary-Góra Włodowska linii kolejowej nr 4 (CMK – Centralna Magistrała Kolejowa). Wykonano badania symulacyjne na trzech konfiguracjach szlaku, z wykorzystaniem dodatkowego podziału każdego z odstępów na trzy i dwa odstępy wirtualne. W ramach badań symulacyjnych wykorzystano dane rzeczywiste, uzyskane z wykonanych pomiarów w zakresie charakterystyk hamowania i przyspieszania rzeczywistych pociągów.

Otrzymane wyniki przeprowadzonych badań symulacyjnych, dotyczące wyznaczenia maksymalnej zdolności przepustowej dla wybranego szlaku, potwierdziły jej zwiększenie w przypadku wykorzystania dodatkowego podziału w oparciu o wirtualne odstępy. Potwierdzono także możliwość zastosowania oprogramowania symulacyjnego i zaproponowanego sposobu oceny zdolności przepustowej w zakresie prowadzenia prac projektowych systemów sterowania i kierowania ruchem kolejowym.

Abstract

Digitalization, hydrogen traction, ATO (Automatic Train Operation) and ETCS (European Train Control System) are the main directions of rail transport development in the coming years. The transformation of the economy towards eco-friendly solutions, as well as the growing demand for rail transport both in Europe and worldwide increase the overall share of railway transport in the transportation system. The costs and time of implementing modern train control and management systems necessitate the verification of design assumptions for the operational performance and capacity. Moreover, due to the growing demand for transport services provided by rail operators, the possibility of increasing the capacity through an appropriate process of controlling and managing rail traffic has gained in significance. This possibility opened up when solutions based on wireless data exchange between the on-board and the trackside train control devices were introduced in train control systems. Solutions that enable the capacity of metro systems to be achieved in mainline high-speed lines have already been in use in some parts of the worldwide railway network.

In Europe, including Poland, mainly for historical reasons train control systems and signalling principles are specific for a given country unlike the construction of a closed line or a railway network, with dedicated rolling stock. Additionally, there is a highly mixed traffic movement of rail vehicles - of various types, with different characteristics of acceleration and braking and on-board control equipment. For these reasons, the implementation of solutions in train control systems in Poland and in Europe, which are to increase the capacity, requires detailed analysis.

The paper proposes to use a proprietary simulation software built in the MATLAB&Simulink environment. The simulation software is based on two developed models of train controlling. The first model is based on the train control process performed by the driver based on the trackside signalling signal aspects. The second model is based on the process of train control with the use of cab signalling and safety supervision of the train running by the ETCS system. The simulation software enables a wide range of parameterization, both in terms of the parameters of trains used in the simulation, as well as the parameters of the trackside control system and the layout of trackside train control equipment. An important functionality that distinguishes the proposed train run models from other commercial solutions is the ability to include the real train running characteristics (acceleration and braking characteristics) acquired through measurements, as well as the ETCS braking characteristics.

The paper proposes a way of estimating the maximum capacity of the railway line segment based on the controlled departures of subsequent trains from the station. Consecutive trains depart from the station with a predicted delay based on the known train running characteristics. This is to eliminate an unintentional braking and re-accelerating the train due to interaction with the preceding train.

In terms of train control systems solutions related to increasing the traffic capacity, the concept of additional division of classic blocks on a segment of a railway line using of virtual blocks has been proposed. Virtual blocks assume the non-occupied status based on the position reported by the ETCS onboard system installed on the train. This solution allows not to use additional conventional trackside train detection devices (i.e., wheel detectors of the axle counter system).

The developed simulation software, the proposed methodology of capacity assessment and the concept of using virtual blocks were applied and verified on Psary-Góra Włodowska railway line segment of the railway line no. 4 (Central Rail Line, pl. Centralna Magistrala Kolejowa CMK). As a part of the simulation research, the actual data acquired through executed measurements of the braking performance and acceleration of real trains was used.

The results of the simulation research carried out concerning the capacity determination for the selected line segment confirmed the increase in capacity in the case of using an additional division of classic blocks based on virtual blocks when running trains under the supervision of the ETCS system. Furthermore, the possibility of using simulation software and the proposed way of capacity assessment for the purpose of research and development design solutions in the railway train control and management systems was confirmed.