

Automatyczne ograniczanie prędkości pociągu – system AOP

Streszczenie. W artykule przedstawiono ogólne zasady bezpiecznego prowadzenia ruchu pociągów, zarówno w zakresie działania urządzeń srk jak i zadań realizowanych przez maszynistę lub urządzenia automatycznego prowadzenia pociągu. Opisane zostały niezbędne informacje, które muszą być przesłane do pociągu oraz kanały transmisyjne zapewniające przekazanie tych informacji.

Abstract. The article presents the general principles of safe train traffic management, both in terms of the operation of railway traffic control devices and tasks performed by the driver or automatic train guidance devices. Necessary information, that has to be sent to the train and the transmission channels ensuring this information, have been described. (**Automatic train protection – ATP system**).

Słowa kluczowe: pociąg, SRK, AOP, kanał transmisyjny

Keywords: train, signaling, ATP, transmission channel

Wprowadzenie

Proces transportowy polega na przemieszczaniu pojazdów z jednych do innych punktów z częstotliwością wynikającą z potrzeb przewozowych. Dla realizacji procesu transportu kolejowego niezbędne są urządzenia stałe (infrastruktura) w tym: tory, rozjazdy i sygnalizatory oraz pociągi. Urządzeniami stałymi w określonym okręgu zarządza dyżurny ruchu za pomocą urządzeń sterowania ruchem. W okręgach tych zgodnie z rozkładem jazdy poruszają się pociągi. Każdy pociąg jest prowadzony (kierowany) przez człowieka (maszynistę). Dla realizacji procesu ruchowego niezbędna jest wymiana informacji między dyżurnym ruchu a maszynistami. Źródłami informacji dla maszynistów są przede wszystkim sygnalizatory umieszczone przy torach. Bezpieczeństwo prowadzonego pociągu polega na ważnym i niezawodnym obserwowaniu przez maszynistę pociągu wskazań sygnałów na semaforach i odpowiednio do odbieranych sygnałów sterowanie układem napędowo - hamulcowym pociągu [1-3].

Wspomaganie lub zastępowanie maszynisty w tych czynnościach odbywa się za pomocą systemów i urządzeń automatycznego ograniczania prędkości AOP (automatic train protection – ATP). Systemy AOP (ATP) stosowane są głównie na liniach kolejowych o dużych i podwyższonych prędkościach, a przede wszystkim na liniach metra [4-7].

Bezpieczeństwo ruchu zapewniane przez urządzenia srk i maszynistę pociągu

Dla zapewnienia bezpieczeństwa ruchu kolejowego jest powszechnie stosowana zasada podziału linii na odstępy nazywane blokowymi. Na określonym odstępie blokowym może znajdować się w tym samym czasie tylko i wyłącznie jeden pociąg, a wjazd na kolejny odstęp blokowy jest możliwy tylko gdy jest on wolny. Granice odstępów

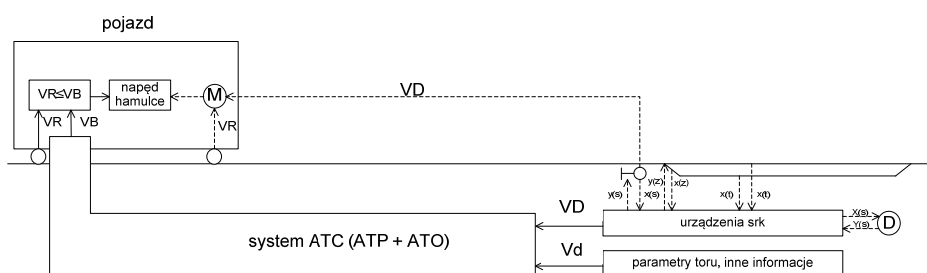
blokowych wyznacza się na podstawie wymaganej zdolności przepustowej. W praktyce długość tych odstępów jest równa odległości między dwoma kolejnymi semaforami, szczególnie na stacji jest to odległość między semaforem wjazdowym a wyjazdowym. Ruchem kolejowym na stacji i wyjazdem na szlak po spełnieniu określonych warunków i w oparciu o rozkład jazdy zarządza dyżurny ruchu za pomocą urządzeń sterowania ruchem kolejowym – srk [8-10].

Urządzenia sterowania ruchem kolejowym (rys. 1) spełniają następujące funkcje:

- kontrolują stan niezajętości torów i rozjazdów – $x(t)$, położenie zwrotnic – $x(z)$ i stan semaforów – $x(s)$;
- sprawdzają wymogi bezpieczeństwa ruchu za pomocą określonych układów bezpieczeństwa, w przypadku niespełnienia przyjętych algorytmów przerywają proces zmiany położenia zwrotnic i nastawiania sygnałów na semaforach;
- po stwierdzeniu zgodności z wymogami algorytmów pozwalają dyżurnemu ruchu na przestawianie zwrotnic – sterowanie $y(z)$ i wyświetlanie sygnałów na semaforach – sterowanie $y(s)$.

Podawane warunki są zmienne w czasie i sygnały na semaforach określają prędkość dozwoloną $V_D(t)$. Informacje o parametrach drogi są stałe w czasie a zmienne w drodze i zawarte w dodatku do służbowego rozkładu jazdy i są nazwane prędkością dopuszczalną $V_d(s)$ i często przedstawiane maszyniście za pomocą stałych wskaźników ograniczania prędkości ustawianych przy torze.

Zbiór wszystkich informacji o parametrach zmiennych i dozwolonej prędkości w drodze przedstawiono poglądowo na rysunku 1.



użyte oznaczenia:

M - maszynista
D - dyżurny ruchu

V_D - prędkość dozwoloną
 V_d - prędkość dopuszczalna
VB - prędkość bezpieczna
VR - prędkość rzeczywista

$x(t)$ - stan niezajętości torów i rozjazdów
 $x(z)$ - położenie zwrotnic
 $x(s)$ - stan semaforów

$y(z)$ - sterowanie zwrotnicami
 $y(s)$ - sterowanie semaforami

Rys. 1. Schemat blokowy podstawowego układu urządzenia srk maszynista przy prowadzeniu pociągu

Z przedstawionych rozważań wynika, że urządzenia sterowania ruchem kolejowym srk zapewniają bezpieczeństwo ruchu w urządzeniach stacjonarnych a spełnienie tych warunków potwierdzone jest przez wyświetlanie odpowiednich sygnałów na semaforach. Dalsze bezpieczeństwo ruchu, a ściślej prowadzenie pociągu opiera się na niezawodności człowieka – maszynisty. Podstawowe działania maszynisty zapewniające bezpieczeństwo ruchu (linia przerywana na rysunku 1) polegają na niezawodnej obserwacji:

- sygnałów na semaforze, do którego zbliża się pociąg, semafor wskazuje prędkość dozwoloną;
- wskaźników przy torze, o niektórych ograniczeniach prędkości dopuszczalnej, wszystkie informacje o ograniczeniach prędkości zawarte są w dodatku do służbowego rozkładu jazdy;

Na podstawie tych danych maszynista – M (rys. 1) podejmuje decyzję o prędkości bezpiecznej $VB(s,t)$, z którą może prowadzić pociąg i tak sterować układami napędowo – hamulcowymi aby prędkość rzeczywista pociągu $VR(s,t)$ w każdym punkcie drogi i czasu była nie przekraczała prędkości bezpiecznej $VB(s,t)$. Jest to podstawowy warunek bezpieczeństwa w procesie ruchu kolejowego.

$$(1) \quad VR(s,t) \leq VB(s,t)$$

Spełnienie tego warunku zależy przede wszystkim od bezbłędnej umiejętności prowadzenia obserwacji semaforów i wskaźników i podejmowania decyzji przez maszynistę.

Dla zwiększenia bezpieczeństwa procesu ruchu pociągów w zakresie działalności maszynisty wprowadzono (rysunek 1 linia ciągła) systemy automatycznego sterowania pociągami – ATC (Automatic Train Control), które kontrolują pracę maszynisty i wykluczają przekroczenie prędkości bezpiecznej lub w szerszym zakresie zastępują pracę maszynisty aż do całkowitego prowadzenia pociągu przez automat.

W systemie ATC można wyróżnić dwie grupy urządzeń realizujących określone funkcje:

- systemy ATP (Automatic Train Protection) – automatyczne ograniczanie prędkości (AOP),
- systemy ATO (Automatic Train Operation) – automatyczna jazda pociągu (AJP),

które automatycznie w części lub w całości zastępują działania człowieka.

System ATP obejmuje urządzenia infrastruktury w których wypracowana jest prędkość bezpieczna, kanał transmisyjny między urządzeniami przytorowymi a pojazdem oraz urządzenia pojazdowe systemu ATP, które realizują bezpieczną jazdę i spełniają warunek 1. System ATP spełnia również funkcję precyzyjnego zatrzymania pociągu przy peronie i wyklucza możliwość zatrzymania

pociągu tak aby skrajne drzwi pociągu znajdowały się poza peronem.

Informacje przesyłane w systemach AOP (ATP)

Podstawową informacją, którą system ATP musi przekazać do pojazdu jest prędkość bezpieczna VB , która musi uwzględniać:

- sytuację ruchową w formie prędkości dozwolonej, wskazywana przez semafor, zmieniająca się w czasie, oznaczana dalej $VD(t)$,
- parametry toru i nawierzchni, reprezentowane przez prędkość dopuszczalną, zmieniającą się w drodze jazdy, oznaczaną dalej $Vd(s)$.

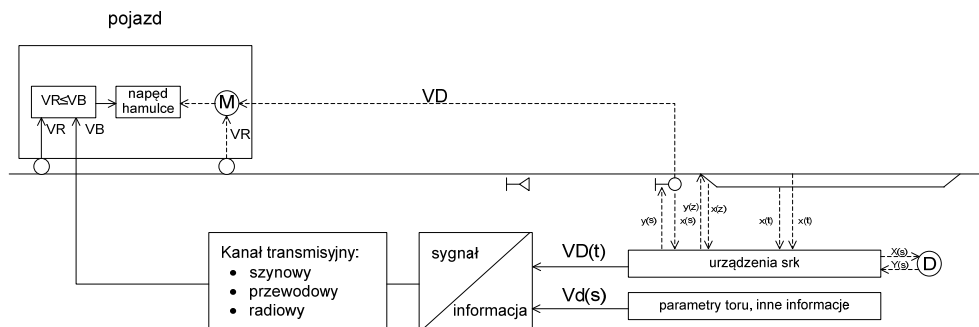
Informacja ta (w formie sygnału elektrycznego) $VB(s,t)$ jest przeznaczona tylko i wyłącznie dla pierwszego pociągu, który wjechał na odstęp blokowy, gdy ten był niezajęty. Spełnienie tego warunku można zrealizować przez wprowadzenie dodatkowego sygnału oznaczonego P, który wysyłany jest z nadajnika, gdy odstęp blokowy jest niezajęty. Sygnał P może zatem odbierać tylko i wyłącznie pociąg, który jako pierwszy wjechał na odstęp blokowy.

Dla zapewnienia, że oba sygnały pochodzą z tego samego źródła (nadajnika) wprowadzono dodatkowo nazwę odstępu blokowego np. a, b, ... lub 1, 2, Pełne oznaczenie sygnału jest następujące VB_aP_a lub VB_1P_1 itd. Sygnały te są wysyłane do pociągu naprzemiennie P_a (odstęp „a” niezajęty) VB_a (gdy odstęp blokowy „a” jest zajęty) itd. Pociąg zostaje aktywowany, gdy wjeżdżając na odstęp blokowy odbierze najpierw sygnał P a po upływie założonego czasu (np. wykrycie wjazdu przez obwód torowy) a potem otrzyma z nadajnika sygnał $VB(s,t)$.

Działanie systemu AOP (ATP) przebiega zatem następująco. Pociąg wjeżdża na odstęp blokowy, jeżeli odstęp blokowy jest niezajęty pociąg odbiera sygnał P_a , który oznacza że pociąg jest pierwszym na danym odstępie blokowym. Zajęcie odstępu blokowego wykrywają urządzenia srk i w nadajniku następuje przełączenie z założenia w czasie t_p , pociąg zaczyna odbierać sygnał podstawowy $VB_a(s,t)$. Jeżeli warunek czasu t_p nie zostanie spełniony pociąg nie zostanie aktywowany na tym odstępie blokowym i rozpoczyna ograniczanie prędkości $VR(s,t)$ aż do zatrzymania.

Układ nadajnika ATP przedstawiony na rysunku 2 musi realizować następujące zadania:

- Wyznaczyć prędkość bezpieczną $VB(s,t)$, która może przyjmować wiele wartości, sygnał P (pociąg wjechał na wolny odstęp blokowy) oraz nadać obu informacjom nazwę (modyfikacje) odstępu blokowego, do którego należą oba sygnały np. $VB_a(s,t)$ oraz P_a (indeks a oznacza adres – modyfikację odstępu blokowego).



Rys. 2 Schemat blokowy docelowego układu urządzenia srk – urządzenia ATP przy bezpiecznym prowadzeniu pociągu

- Przyporządkować wyznaczonym informacją $VB(s,t)$ i P sygnał cyfrowy w postaci cyfrowej o założonym odstępnie Hamminga. Sygnał cyfrowy w nadajniku powinien być przetwarzany w minimum dwóch kanałach, aby wykryć zakłócenia lub niezgodności i przerwać transmisję nieprawidłowego sygnału. Dla zwiększenia dostępności pracy nadajnika można stosować większą liczbę kanałów, aby przy zakłóceniach w jednym lub więcej kanałach wybrać zgodną większość i sygnał zakodowany przekazać do dalszego przetwarzania, a nie jak przy dwóch kanałach przejść do stanu bezpiecznego.

W urządzeniach pojazdowych (rys. 2) po odebraniu sygnału z kanału transmisyjnego następuje dalsza obróbka sygnału:

- wzmocnienie i filtracja sygnału,
- demodulacja otrzymanego sygnału na cyfrowy, który jest obrabiany w wielokanałowym (tak jak w nadajniku) odbiorniku i przetwarzany w komparatorze bezpiecznym lub przez głosowanie większościowe do układu zamieniającego sygnał cyfrowy na informację $VBa(s,t)$ i Pa .

System AOP (ATP) w pojeździe pomierzoną prędkość rzeczywistą $VR(s,t)$ zmienną w drodze i czasie porównuje z prędkością bezpieczną $VB(s,t)$. Przy wartości prędkości rzeczywistej VR zbliżonej do wartości prędkości bezpiecznej VB następuje najpierw odłączenie napędu a następnie załączenie hamowania służbowego. Jeżeli wartość prędkości rzeczywistej pociągu VR przekracza wartość prędkości bezpiecznej VB , system AOP (ATP) łączy hamowanie nagłe.

W systemie ATP transmisja podstawowej informacji o prędkości bezpiecznej jest jednokierunkowa, z toru do pojazdu, jest przesyłana głównie za pomocą kanału przewodowego lub radiowego. W kanale transmisyjnym szynowym można przesłać małą liczbę informacji dlatego obecnie jego zastosowania są ograniczone i występują głównie w starszych rozwiązaniach. Informacja pomocnicza, również o lokalizacji pociągu, jest przekazywana z pojazdu do toru za pomocą obwodu przewodowego, obwodu torowego lub liczników osi przez wykrycie wjazdu pociągu na obwód torowy jeżeli w czasie wjazdu pociągu obwód torowy był wolny. W transmisji radiowej można wykorzystywać obwód torowy lub krótkie obwody przewodowe na końcach obwodu torowego.

Systemy AOP z transmisją kanałem przewodowym stwarzają wiele możliwości zastosowań, głównie ze względu na dużą szybkość transmisji, możliwość rozbudowy systemu i inne funkcje wykorzystywane do prowadzenia pociągu przy różnych drogach hamowania.

Obwody przewodowe zastosowane w terenie otwartym są narażone na uszkodzenia lub kradzieże itp. Dlatego wiele państw, w tym Polska, nie przewidują budowy systemów ATP z kanałem przewodowym w terenie otwartym. Natomiast w terenie zamkniętym, np. metro, możliwość prowadzenia i rozwoju takich systemów ATP zwiększają się.

System ATP z kanałem transmisyjnym radiowym punktowym jest stosowany głównie na liniach w terenie otwartym. Podstawowa informacja o prędkości bezpiecznej VB jest przekazywana z centrum sterowania (praktycznie urządzenia u dyżurnego ruchu) do pociągu. Informacja pomocnicza, o lokalizacji pociągu, przekazywana jest w punkcie na początku każdego odstępu blokowego. Systemy ATP z kanałem transmisyjnym radiowym są stosowane głównie na terenach otwartych.

Kanały transmisyjne systemów automatycznego ograniczania prędkości AOP (ATP)

Przekazywanie informacji w relacji tor – pojazd – tor realizowane jest w sposób punktowy lub ciągły.

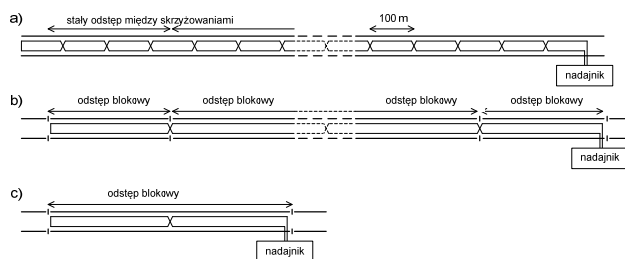
Podstawową cechą systemu transmisyjnego jest aktualność przekazywanej informacji. W transmisji:

- punktowej informacji są aktualne tylko i wyłącznie w punkcie przekazywania
- ciągłej przekazywana informacja jest uaktualniana na bieżąco.

Transmisja punktowa odbywa się za pomocą tzw. elektromagnesów (rozwiązania starsze), balis oraz krótkich pętli przewodowych. Obecnie punktowe przekazywanie informacji stosuje się jako pomocnicze dla określania granic odstępów blokowych (np. w transmisji radiowej) i obwodem szynowym np. na krótkich odcinkach TGV. Elektromagnes torowe transmisji punktowej są rozmieszczone tylko na początku obwodu torowego. W elektromagnesach (rezonatorach punktowych) są stosowane trzy częstotliwości rezonansowe 500 Hz, 1000 Hz i 2000 Hz.

Transmisja ciągła odbywa się za pomocą obwodów szynowych (starsze rozwiązanie), pętli przewodowych (kablowych) oraz radia. Kanały transmisji ciągłej przewodowej i szynowej są ściśle związane z torem kolejowym.

Kanał szynowy wykorzystuje szyny przymocowane do podkładów i oddzielone elektrycznie od odcinków szyn w sąsiednich obwodach. Obwód szynowy jednocześnie jest obwodem torowym, który służy do kontroli zajęcia torów. Obwodem szynowym (torowym) informacje przekazywane są tylko w relacji tor – pojazd. Szynowy obwód transmisyjny charakteryzuje się dużym tłumieniem sygnału i dlatego maksymalna częstotliwość sygnału nośnego jest ograniczona do około 2,5 kHz.



Rys. 3 Konfiguracje przewodowego kanału transmisyjnego

Przewodowy obwód transmisyjny składa się z dwóch przewodów ułożonych wzdłuż toru (przykład na rysunku 3) i może być równy jednemu odstępowi blokowemu lub większej liczbie odstępów. Najbardziej ogólnym w sensie zastosowań przypadku konfiguracja obwodu przewodowego jest krzyżowana ze stałą odległością np. co 100 m (rys. 3a). Po linii wyposażonej w taki obwód ze stałymi odległościami pomiędzy skrzyżowaniami mogą jeździć pociągi o różnych parametrach technicznych (prędkość, droga hamowania itp.). Każdy pociąg odbiera z toru stałe punkty (skrzyżowania przewodów), na podstawie parametrów układu torowego i sytuacji ruchowej wypracowuje prędkość bezpieczną $VB(s,t)$. W obwodzie przewodowym częstotliwość sygnału nośnego jest rzędu kilkudziesięciu kHz.

W aspekcie ruchu kolejowego ważna jest długość kanału transmisyjnego w stosunku do obwodu blokowego, która wynika z żądanej zdolności przepustowej linii kolejowej, a w szczególności linii metra. Obwód przewodowy jednodostępowy wymaga większej liczby nadajników, ale układy są prostsze i bardziej odporne na przenoszenie usterek z jednego obwodu do drugiego. Obwód transmisyjny przewodowy o długości równej jednemu odstępowi blokowemu (rys. 3c) może być stosowany na

liniach o jednym rodzaju kursujących pociągów o jednakowych prędkościach maksymalnych i jednakowych drogach hamowania. Obwód transmisyjny przewodowy może być stosowany np. na odstępie międzystacyjny (rys. 3b). Obwód przewodowy musi być pośrodku skrzyżowany aby zrekomponować zakłócenia pochodzące od prądów trakcyjnych.

Kanały transmisyjne przewodowe w terenie otwartym są narażone na zniszczenia a nawet kradzieże (a linie kolejowe powszechnie prowadzone są w terenie otwartym). Dlatego niektóre zarządy kolejowe, w tym polski, nie widzą możliwości stosowania kanałów przewodowych i dlatego wprowadzają w terenie otwartym systemy transmisji radiowej, z punktami stałymi w torze dla określania lokalizacji pociągu.

Polski system AOP (ATP) dla linii metra

Polski system SOP dla metra należy do grupy systemów ograniczenia prędkości ATP. Został opracowany dla I linii metra w Warszawie. W systemie SOP zastosowano przewodowy kanał transmisyjny z przewodami ułożonymi wewnątrz toru, wzdłuż jego osi podłużnej. Długość kanału przewodowego jest równa długości odstępów blokowych, która wynika z żądanej zdolności przepustowej metra. Kontrola niezajętości torów jest dokonywana za pomocą obwodów torowych klasycznych, ale mogą być również stosowane obwody bezzłączowe lub liczniki osi.

Do pojazdu są przesyłane dwie informacje, zależne od stanu niezajętości odstępów blokowych. Gdy odstęp blokowy jest niezajęty, przekazywany jest do pojazdu trakcyjnego sygnał P, oznaczający, że odstęp blokowy jest wolny. Pojazd po odebraniu sygnału P, powinien z tego samego kanału transmisyjnego odebrać sygnał o prędkości bezpiecznej VB(s,t). Jeżeli po założonej drodze pojazd nie otrzyma sygnału VB(s,t), to sygnał P traci swoją ważność i następuje hamowanie pociągu. Drugą, istotną dla bezpieczeństwa prowadzenia pociągu informacją jest pewność, że oba sygnały P i VB(s,t) pochodzą z tego samego nadajnika. W tym celu wprowadzono dla każdej pary sygnałów P i VB(s,t) dodatkowo adresowanie nadajników np. Pa, VBa oraz Pb i VBb. Oznaczenie kolejnych nadajników a oraz b mogą być stosowane naprzemiennie wzdłuż jazdy pociągu, gdy kanał transmisyjny przewodowy jest równy długości odstępów blokowych.

Ogólna koncepcja systemu SOP oraz układów urządzeń i modeli laboratoryjnych została opracowana w Politechnice Łódzkiej w Instytucie Elektroenergetyki. Prototypy i modele terenowe wykonał ZWUS Katowice (obecnie Alstom), który został producentem urządzeń.

System SOP obok podstawowych funkcji automatycznego ograniczania prędkości, może spełniać również dodatkowe funkcje zastępujące pracę maszynisty, np. zatrzymywanie pociągu metra przy peronie, automatyczne zawracanie pociągu na torach postojowych stacji końcowych.

Systemy typu SOP są eksploatowane na I i II linii metra w Warszawie oraz na dwóch liniach metra w Pradze [11-12].

Podsumowanie

W artykule podjęto próbę uogólnionego opisu systemu automatycznego ograniczania prędkości pociągu, a w

szczegółowości problemów bezpiecznego prowadzenia ruchu kolejowego, z podkreśleniem roli maszynisty. W skład systemów ATP wchodzi system AOP (ATP), który przede wszystkim decyduje o bezpieczeństwie ruchu, kontrolując maszynistę w wykonywanych przez niego czynnościach i zastępując go w sytuacji zagrożenia.

Omówiono informację o sygnałach niezbędnych dla bezpiecznego ograniczania prędkości tj. prędkość bezpieczną VB(s,t) i sygnał P aktywujący pociąg po wjechaniu na niezajęty odstęp blokowy. Przedstawiono kanały transmisyjne, w szczególności zastosowanie kanału przewodowego, obejmującego jeden odstęp blokowy lub więcej odstępów, ze szczególnym zastosowaniem w warunkach metra.

Artykuł poświęcony jest pamięci profesora Henryka Karbowiaka, który włożył znaczny wkład w rozwój systemów ATP. Był szefem zespołu, który opracował pierwszy polski system ATP – system SOP.

Autorzy: dr hab. inż. Sławomir Barański, Politechnika Łódzka, Wydział Elektrotechniki, Elektroniki, Instytut Elektroenergetyki, ul. B. Stefanowskiego 18/22, 90-924 Łódź, e-mail: slawomir.baranski@p.lodz.pl; dr inż. Piotr Błaszczuk, Politechnika Łódzka, Wydział Elektrotechniki, Elektroniki, Instytut Elektroenergetyki, ul. B. Stefanowskiego 18/22, 90-924 Łódź, e-mail: piotr.blaszczyk@p.lodz.pl.

LITERATURA

- [1] Barański S., Karbowiak H.: Development trends for automatic train protection systems, *Archives of Transport* nr 1-2/2013.
- [2] Barański S., Karbowiak H.: Teoria i aplikacje systemów bezpiecznego prowadzenia pociągu, Wydawnictwo Politechniki Łódzkiej, Łódź 2016.
- [3] Bergiel K., Karbowiak H.: Automatyzacja prowadzenia pociągu, Wydawnictwo EMI PRESS Łódź 2005.
- [4] Bergiel K., Karbowiak H.: Data transmission in automatic train protection systems with transmitting antenna covering many block sections, *Archives of Transport* nr 3/2006.
- [5] Dyduch J., Pawlik M.: Systemy automatycznej jazdy pociągu. Wydawnictwo Politechniki Radomskiej, Radom 2002.
- [6] Guilleux B.: La signalisation des lignes nouvelles, evolution vers la TVM 430. *Revue Generale des Chemins de fer* nr 10/1991.
- [7] Karbowiak H.: Kanały przekazywania informacji w systemach automatycznego ograniczania prędkości ATP, *Telekomunikacja i Sterowanie Ruchem* 2/2009, Wydawnictwo EMIPRESS Łódź 2009.
- [8] Karbowiak H., Barański S.: Bezpieczeństwo ruchu w transporcie, Monografie Politechniki Łódzkiej, Łódź 2011.
- [9] Karbowiak H., Barański S., Bergiel K.: Polskie systemy SOP bezpiecznego prowadzenia pociągu na liniach metra, *Technika Transportu Szynowego* 1-2/2014.
- [10] Karbowiak H., Barański S., Kubik S.: Systemy automatycznego ograniczania prędkości – AOP (ATP) w metrze warszawskim i dla linii A metra Praga, Materiały Międzynarodowej konferencji Naukowej „Transport XXI wieku”, Politechnika Warszawska Wydział Transportu, Warszawa 2001.
- [11] Karbowiak H., Zajączkowski J.: 150 lat metra światowego i 18 lat metra w Warszawie, *Transport miejski i regionalny* nr 1-2/2013
- [12] Pawlik M.: Europejski system zarządzania ruchem kolejowym, Kolejowa Oficyna Wydawnicza, Warszawa 2015.