

Andrzej TORUŃ¹
Andrzej LEWIŃSKI²

INFORMACJA PRZESTRZENNA W PROCESIE STEROWANIA RUCHEM KOLEJOWYM

W referacie przedstawiono aktualnie wykorzystywane metody lokalizacji pojazdów kolejowych oparte o regułę „stałego odstępu blokowego – SOB” oraz nowe metody lokalizacji pojazdów umożliwiające wdrożenie zasady „ruchomego odstępu blokowego – ROB” wykorzystującej informacje pochodzące z systemów nawigacji satelitarnej klasy GNSS (Global Navigation Satellite System).

SPATIAL INFORMATION IN RAILWAY CONTROL PROCESS

This paper outlines the system realization of locomotive management method actual use, based on the “fixed block section - SOB” rule and new method of train localization, based on “changeable block distance - ROB” rule, used information coming from satellite navigation systems – GNSS.

1. WSTĘP - INFORMACJA PRZESTRZENNA I JEJ WYKORZYSTANIE

Proces kontroli i sterowania następstwem pociągów na liniach kolejowych realizowany jest zawsze w oparciu o informację dotyczącą położenia poszczególnych pojazdów kolejowych w nadzorowanym obszarze. Informacje takie przekazywane są w zależności od przeznaczenia z zapewnieniem zasad wymaganego poziomu bezpieczeństwa SIL [4] oraz przy zapewnieniu odpowiedniego czasu przekazania informacji o zmianie położenia pojazdu do urządzeń sterowania ruchem kolejowym. W związku z powyższym informacja o aktualnym miejscu znajdowania się pociągu na szlaku bądź na stacji może być wykorzystywana w różnym celu. W przypadku, gdy traktowana jest jako źródło informacji w systemach zarządzania ruchem kolejowym czy systemach monitorowania pojazdów kolejowych nie musi być ona generowana z najwyższym poziomem ufności SIL-4 [4], ponieważ jej brak nie powoduje powstania sytuacji zagrażającej bezpieczeństwu ruchu. Z technicznego punktu widzenia oznacza to, iż informacja taka może pochodzić z systemów o niższych wymaganiach technicznych z zakresu bezpieczeństwa i dostępności niż wymagania określone dla systemów zależnościowych sterowania ruchem kolejowym.

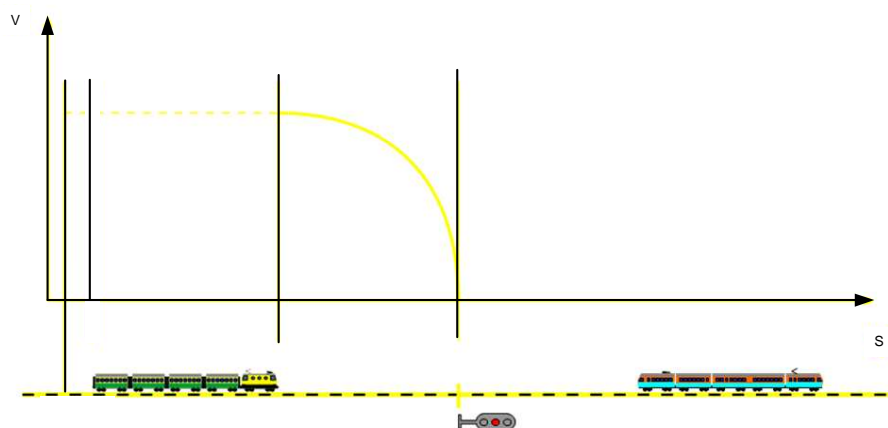
¹ CNTK; Zakład Sterowania Ruchem i Teleinformatyki; 04-275 Warszawa; ul. Chłopickiego 50
Tel. +48 22 47-31-490, Fax: +48 22 47-31-036, E-mail: atorun@cntk.pl

² Politechnika Radomska Wydział Transportu i Elektrotechniki; 26-600 Radom, ul. Malczewskiego 29
Tel. +48 48 361-77-57, Fax: +48 48 361-77-42, E-mail: a.lewinski@pr.radom.pl

W przypadku, gdy informacja o położeniu pojazdu jest podstawą do podejmowania decyzji mających wpływ na bezpieczeństwo ruchu (np. w procesie: ułożenia i nastawienia drogi przebiegu, wykluczenia przebiegów sprzecznych, wydania maszyniście zezwolenia na jazdę), z technicznego punktu widzenia systemu stwierdzania „niezajętości” toru muszą spełniać najwyższe wymagania bezpieczeństwa poziomu integracji SIL-4 określone normą PN-EN 50129[4] związanej z bezpieczeństwem oraz szereg dodatkowych norm branży kolejowej tj.:

- PN-EN 50159 - 1:2002 (U) Zastosowania kolejowe. Łączność, sygnalizacja i systemy sterowania. Część 1 Łączność systemów bezpiecznych w układach zamkniętych,
- PN-EN 50159 - 2:2002 (U) Zastosowania kolejowe. Łączność, sygnalizacja i systemy sterowania. Część 2 Łączność systemów bezpiecznych w układach otwartych,
- Norma PN-EN 50125-3:2002 (U) Zastosowania kolejowe. Warunki środowiskowe stawiane urządzeniom. Część 3: Wyposażenie dla sygnalizacji i telekomunikacji.
- Norma PN-EN 50126:2002 (U) Zastosowania kolejowe. Specyfikowanie i wykazywanie Nieuszkodzalności, Gotowości, Obsługiwalności i Bezpieczeństwa (RAMS). Część 1: Wymagania podstawowe i procesy ogólnego przeznaczenia
- Norma PN-EN 50128:2002 (U) Zastosowania kolejowe. Łączność, sygnalizacja i systemy sterowania. Oprogramowanie dla kolejowych systemów sterowania i zabezpieczenia.

Widać za tym, iż parametry funkcjonalno - eksploatacyjne systemów lokalizacji pojazdów kolejowych oparte były o zasady wynikające z aktualnych potrzeb kolei oraz możliwości technicznych zapewniającym wdrożenie określonych metod lokalizacji. Początkowo stosowane były proste formy lokalizacji pojazdów wykorzystujące człowieka jako element systemu stwierdzania obecności pojazdu w obszarze. W późniejszym okresie zaczęto stosować metody sterowania ruchem eliminujące w procesie „czynnik ludzki” oraz dające możliwość zwiększenia bezpieczeństwa na szlakach oraz przepustowości linii kolejowej – wdrożone zostały metody lokalizacji pojazdów wykorzystujące zasady blokady liniowej opartej o regułę „stałego odstępu blokowego SOB – patrz Rys. 1), które umożliwiały określenie położenia pociągu z dokładnością do szlaku między stacjami (blokady jednodostępowa), czy lokalizacji z dokładnością do odstępu blokowego szlaku (blokady wieloodstępowa o określonej stawności). W zależności od przyjętych założeń projektowych metoda lokalizacji oparta o zasadę SOB umożliwia stwierdzenie obecności pociągu na szlaku o długości (kilku do kilkunastu kilometrów – dla blokady międzystacyjnej jednodostępowej do odcinka szlaku o długości lub z dokładnością do około 1300 – 1500 m (w zależności od stawności blokady wieloodstępowej i maksymalnej prędkości pociągów na szlaku).



Rys. 1. Metoda regulacji następstwa pojazdów oparta o zasadę SOB

Metoda regulacji następstwa oparta o zasadę SOB zakłada w uproszczeniu podział szlaku na określone odcinki (odstęp blokowy) o długości wynikającej m.in. z parametrów drogi hamowania pojazdów. Pojazd zajmując odcinek (po wjechaniu pierwszą osią za semafor przekazujący informację o aktualnym stanie odcinka izolowanego – „zajęty”) generując informację o swoim położeniu. Informacja ta jest przekazywana do sygnalizatorów poprzedzających (wstecz) informując pojazd jadący z tyłu o liczbie wolnych odstępów blokowych, a tym samym przekazując informacje o dozwolonej prędkości jazdy (odpowiednie obrazy sygnałowe na semaforach dostosowane do stawności blokady liniowej).

W praktyce metoda ta stosowana jest z powodzeniem współcześnie z wykorzystaniem różnych środków technicznych zapewniających bezpieczne przekazywanie informacji o położeniu pojazdu do systemów sterowania ruchem kolejowym. W przypadku kolei polskich - PKP PLK S.A. standardowo, w celu stwierdzenia zajętości lub niezajętości odcinka toru szlakowego, a tym samym określeniu położenia pojazdu kolejowego wykorzystywane są różnego rodzaju systemy kontroli niezajętości tj. bezzłączowe obwody torowe, liczniki osi czy wyeksploatowane i awaryjne urządzenia typu EON lub klasyczne (50Hz) obwody torowe, natomiast następstwo pojazdów na szlaku regulowane jest z wykorzystaniem systemów działających w oparciu o zasadę SOB tj. półsamoczynne blokady liniowe (najczęściej wykonane w technice przekaźnikowej lub elektroniczne jednodostępowe), samoczynne blokady liniowe trzy i cztero-stawne (wykonane w technice przekaźnikowej lub komputerowej).

W takim przypadku pojedyncza informacja o położeniu pociągu określana z dokładnością ~1300 – 1500 lub więcej metrów skutecznie ogranicza możliwości nadzoru ciągłego nad ruchem pojazdu i stanowi istotną barierę w rozwoju systemów sterowania ruchem kolejowym zmierzających wprowadzenia metody sterowania opartej o regułę „ruchomego odstępu blokowego - ROB” (przedstawionej w p. 2 przedmiotowego referatu).

Tym samym wyklucza wprowadzenie i dostosowanie systemów sterowania do rosnących wymagań rynku kolejowego związanych z oczekiwaniami użytkowników tj.

zwiększenie prędkości, czy podniesienie jakości serwisu poprzez dostęp do informacji o pociągu. Wdrażanie zaawansowanych metod sterowania wymaga w tym przypadku uzupełnienia informacji o położeniu pociągu o dodatkowe przekazywane w sposób automatyczny na bieżąco informacje tj. numer pociągu, czy parametry ruchowe. Nowoczesne systemy monitorowania i lokalizowania pociągów umożliwiają dynamiczne (w czasie rzeczywistym) zarządzanie ruchem kolejowym rozwiązywanie konfliktów ruchowych, śledzenie przesyłek itp., wszystkie te aplikacje zbudowane są w oparciu o 2 bazowe informacje tj. położenie i numer pociągu, pozostałe dane wynikają z zapisów w odpowiednich bazach danych i opierają się na informacjach pochodzących z aplikacji telematycznych.

W referacie przedstawiona zostanie propozycja realizacji metody sterowania opartej o zasadę ROB wykorzystującą jako źródło informacji dane pochodzące z bezprzewodowych systemów wymiany danych eksploatowanych powszechnie w innych dziedzinach transportu a opartych o technologię nawigacji satelitarnej GNSS.

2. METODA STEROWANIA OPARTA O ZASADĘ ROB

W odróżnieniu od metody sterowania ruchem kolejowym wykorzystującej regułę „stałego odstępu blokowego”, metoda „ruchomego odstępu blokowego” bazuje na wirtualnym zmiennym odstępie blokowym, którego granice nie są określone w sposób stały (stałe punkty odniesienia o określonym kilometrażu szlaku) lecz zmieniają się w sposób dynamiczny w zależności od aktualnej sytuacji ruchowej.

„Ruchomy odstęp blokowy” w praktyce podlega aktualizacji w sposób ciągły, jego długość jest zmienna w czasie i stanowi pochodną informacji o położeniu końca pociągu bezpośrednio poprzedzającego skład dla którego generowane jest zezwolenie na jazdę (informacja zawierająca dane określające maksymalną prędkość i odległość do miejsca stanowiącego koniec zezwolenia na jazdę).

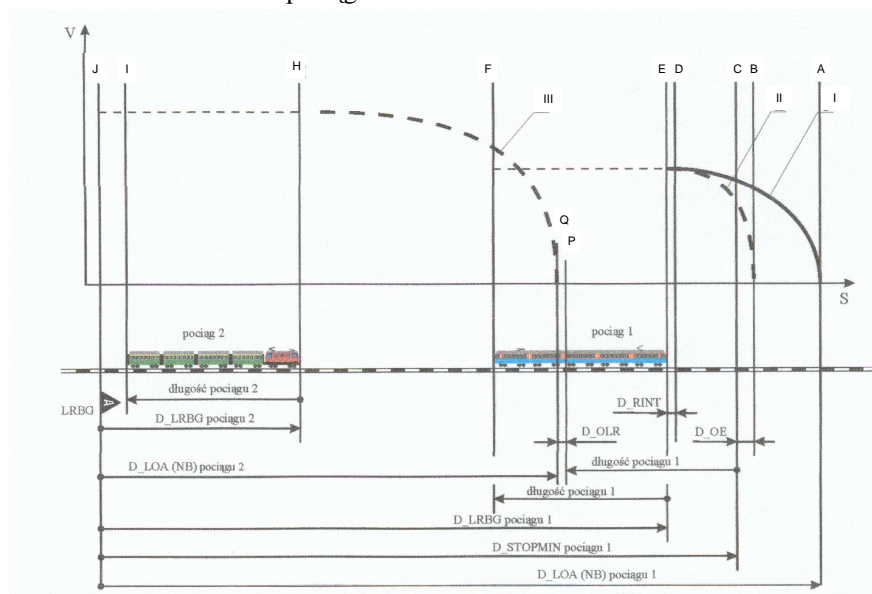
Rozpatrując zezwolenie na jazdę generowane może ono być z uwzględnieniem prowadzenia ruchu opartego o regułę:

- bezwzględnego ruchomego odstępu blokowego, gdy pociąg jadący jako drugi otrzymuje zezwolenie na jazdę do miejsca bliższego niż wynika to z ostatniego raportu o położeniu pociągu poprzedzającego. Wynika to z przyjęcia założenia, o możliwości zatrzymania się pociągu poprzedzającego natychmiast po wysłaniu raportu o położeniu końca pociągu (w tzw. „czasie zerowym”), np. na skutek nagłego zdarzenia. W takim przypadku zezwolenie na jazdę musi uwzględniać pełną drogę hamowania pojazdu drugiego oraz dodatkowo drogę ochronną.
- względnego ruchomego odstępu blokowego, gdy pociąg jadący jako drugi otrzymuje zezwolenie na jazdę do miejsca bliższego niż położenie jakie zdąży osiągnąć koniec pociągu poprzedzającego po wysłaniu ostatniego raportu o położeniu końca pociągu w przypadku wdrożenia przez ten pojazd hamowania tak gwałtownego jak to jest fizycznie możliwe (niezerowy czas zatrzymania). W takim przypadku odległość pomiędzy obydwoma pojazdami jest krótsza niż szacowana droga hamowania pojazdu jadącego jako drugi. Przy realizacji następstwa opartego o tę zasadę znaczenie ma w tym przypadku czas reakcji (zwłoka w przekazaniu

informacji o położeniu końca pociągu poprzedzającego). Zasada ta została przedstawiona na Rys. 2.[6], gdzie:

- pociąg 1 pociąg poprzedzający jadący jako pierwszy,
- pociąg 2 pociąg jadący jako drugi odbierający zezwolenie na jazdę zależne od położenia końca pociągu 1,
- LRBG w systemie ETCS oznacza grupę balis względem której pociąg podaje swoje położenie (w modelu ogólnym przyjmujemy to miejsce odniesienia do raportu o położeniu),
- V współrzędna osi prędkości,
- S współrzędna osi drogi,
- I krzywa zezwolenia na jazdę pociągu 1,
- II krzywa hamowania pociągu 1 dla przypadku, gdy po wysłaniu raportu o położeniu końca pociągu rozpoczął on nagłe hamowanie zakończone zatrzymaniem w punkcie B ,
- III zezwolenie na jazdę i krzywa hamowania pociągu 2 wynikająca z zasady względnego ruchomego odstępu blokowego,
- Punkt A koniec zezwolenia na jazdę dla pociągu poprzedzającego 1,
- Punkt B wyliczone, przewidywane położenie pociągu 2 w przypadku jazdy zgodnie z krzywą hamowania II – tj. po wdrożeniu hamowania (najbardziej wydajnego) natychmiast po wysłaniu raportu o położeniu końca pociągu (ostatni raport),
- Punkt C teoretyczny punkt zatrzymania końca pociągu 1 uwzględniający błędy pomiaru drogi (odometr pokładowy),
- Punkt D teoretyczne położenie pociągu 1 w momencie gdy nastąpił zanik informacji o położeniu pociągu po odebraniu ostatniego raportu,
- Punkt E ostatnie raportowane (odebrane) położenie czoła pociągu 1,
- Punkt F ostatnie raportowane (odebrane) położenie końca pociągu 1,
- Punkt H ostatnie raportowane (odebrane) położenie czoła pociągu 2,
- Punkt I ostatnie raportowane (odebrane) położenie końca pociągu 2,
- Punkt J lokalizacja punktu odniesienia (w ETCS grupa balis),
- Punkt P teoretyczne przewidywane bezpieczne położenie, co do którego istnieje gwarancja, iż pociąg 1 minie to miejsce po wdrożeniu hamowania nagłego po wysłaniu i odebraniu przez centrum nadzoru ruchu ostatniego raportu o położeniu pociągu 1,
- Punkt Q teoretyczne przewidywane bezpieczne położenie wynikające z uwzględnienia wyliczonego punktu P oraz współczynników drogi ochronnej uwzględnianych przy obliczaniu krzywych hamowania – zezwolenia na jazdę pociągu 2,
- D_LRBG odległość przejechana przez czoło pociągu po przejechaniu nad ostatnim stałym punktem odniesienia (w ETCS grupą balis),
- D_LOA odległość w kierunku właściwym jazdy od ostatniego punktu odniesienia do końca wyliczonego zezwolenia na jazdę,
- D_OLA droga ochronna dla wydanego zezwolenia na jazdę,
- D_RINT dystans przejechany przez pociąg 1 pomiędzy kolejnymi raportami o położeniu,

- $D_STOPMIN$ najkrótsza wyliczona odległość niezbędna do zatrzymania pociągu 1 skorygowana o współczynnik błędu pomiaru drogi (błąd odometru),
- D_OE kalkulowany dystans wynikający z błędu pomiaru drogi
- Długość pociągu parametr umożliwiający skorygowanie położenia początku i końca pociągu



Rys. 2. Metoda regulacji następstwa pojazdów oparta o zasadę względnego ROB [6]

3. REALIZACJA METODY ROB Z WYKORZYSTANIEM „WIRUALNEJ BALISY”

W standardowych aplikacjach związanych z wdrożeniem modelu sterowania ruchem kolejowym opartego na regule ROB stosowane są rozwiązania techniczne wykorzystujące stałe punkty odniesienia instalowane w infrastrukturze kolejowej.

Dobrym przykładem ilustrującym ten kierunek prac w skali Unii Europejskiej jest proces wdrażania systemu ERTMS (ang. European Railway Traffic Management System), w którym zgodnie z ideą nastąpiła integracja różnych systemów sterowania ruchem kolejowym stosujących różne typy transmisji (zarówno kablowej jak i bezprzewodowej). Integracja taka ma na celu osiągnięcie szeroko rozumianej interoperacyjności oraz poprawę warunków sterowania, wydajności i efektywności systemu transportowego poprzez przystosowanie urządzeń i systemów do realizacji zasady „ruchomego odstępu blokowego” opartego o wykorzystanie informacji o położeniu pociągu z balis zlokalizowanych w torze.

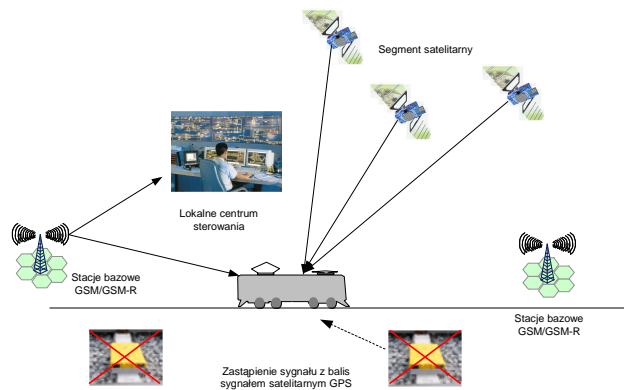
W modelu ROB z „wirtualną balisą” informacje pochodzące z balis (dane o położeniu i pojawieniu się pociągu w określonym miejscu) są generowane w oparciu o informację

przestrzenią pochodzącą w systemów satelitarnych GNSS. Lokalizacja pociągu w oparciu o GNSS praktycznie nie potrzebuje żadnego wyposażenia torowego i dlatego jest bardzo korzystnym z punktu widzenia utrzymania. Przez ponad 20 lat technologia GNSS była rozwijana w wielu różnych aplikacjach związanych z koleją. Odbiornik GNSS stał się bardzo mały i tani. Dlatego też lokalizacja pociągu w oparciu o GNSS w chwili obecnej może być tańsza od systemów lokalizacji wykorzystywanych obecnie przez kolej.

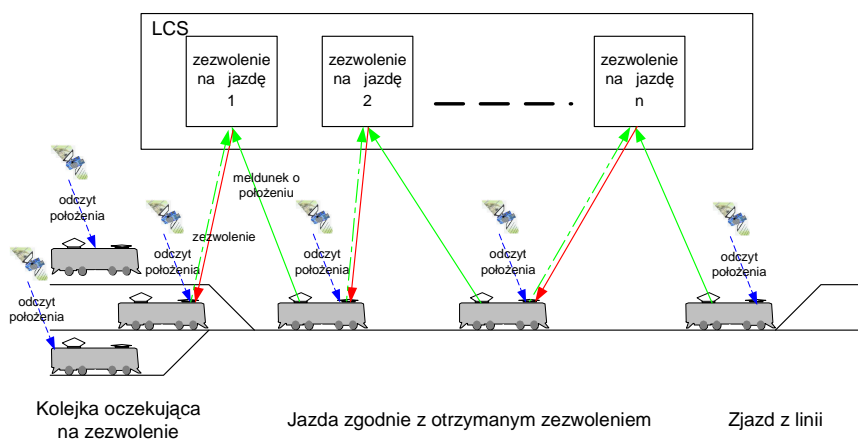
Lokalizacja pociągu w oparciu o GNSS stanowi atrakcyjne uzupełnienie lub całkowite zastąpienie istniejącej technologii. Propozycja takich rozwiązań znalazła się w specyfikacji FRS 3.0 ERTMS Regional. Zgodnie z przyjętymi w systemie ERTMS Regional założeniami w ramach koncepcji „wirtualnej balisy” zasadniczo eliminuje się konieczność instalowania w infrastrukturze standardowych urządzeń kontroli niezajętości torów i rozjazdów tj. obwody torowe czy licznikowe systemy kontroli niezajętości, ale również znacznie obniża się liczbę balis systemu ETCS instalowanych w torze, powoduje to konieczność zastosowania innych technik lokalizacji pojazdu niezbędnych do generowania informacji o położeniu pojazdu przekazywanej do Centrum Sterowania (CS).

Koncepcja „wirtualnej balisy” przedstawiona została na Rys. 3 natomiast Rys. 4. przedstawia model systemu sterowania ruchem kolejowym realizującym zasadę ROB z wykorzystaniem sygnałów GNSS. Zgodnie z przyjętymi założeniami pojazd poruszając się po szlaku odbiera sygnały o swoim położeniu z systemu nawigacji satelitarnej, który na pojeździe jest poddawany korekcie (z wykorzystaniem np. lokalizatora hybrydowego współpracującego z bardzo dokładnym odometrem mierzącym długość przebytej trasy oraz prędkość pojazdu). Następnie dane te są przekazywane do Lokalnego Centrum Sterowania (LCS), gdzie nanoszone są na cyfrową mapę szlaku i na tej podstawie przekazywane są informacje do pojazdu dotyczące zezwolenia na jazdę.

W koncepcji opartej o specyfikację ERTMS Regio standardowe wyposażenie pokładowe zgodne z ERTMS jest uzupełnione o odbiornik sygnału satelitarnego. W przyszłości rozważa się zastąpienie odbiornika satelitarnego i odometru na pojeździe hybrydowym lokalizatorem GNSS który stał by się elementem systemu ETCS integrującym ww. urządzenia. Pozwoliło by to na uniknięcie błędów pomiaru drogi i prędkości przez odometr podczas ruszania/przyspieszania i hamowania. Lokalizator taki swoją funkcjonalnością zastąpić mógłby nie tylko odometr, ale również balisy będące aktualnie punktami odniesienia (kalibracji) dla odometru.



Rys. 3. Koncepcja wykorzystania sygnału GNSS w systemie sterowania ruchem kolejowym



Rys. 4. Model regulacji następstwa pojazdów oparty ROB i „wirtualną balisę”

5. PODSUMOWANIE

Podsumowując należy stwierdzić, iż wprowadzenie do eksploatacji systemów sterowania ruchem kolejowym nowej generacji realizujących zasadę „ruchomego odstępu blokowego” stanowi nową jakość w procesie sterowania dając nowe możliwości w regulacji następstwa pociągów na szlaku. Prace takie prowadzone są w wielu krajach UE, która wspiera i wymusza integrację systemów sterowania opartych o standard ERTMS/ETCS (poziom 2 oparty jest na zasadzie ROB). Jednocześnie widoczne są trendy i kierunki zmierzające do udoskonalenia metod pozycjonowania pojazdów kolejowych z

wykorzystaniem sygnałów pochodzących z systemów GNSS (w Europie głównie z systemu GPS a w przyszłości z systemu GALILEO).

Wykorzystanie prezentowanych technologii w systemach wysokiego poziomu bezpieczeństwa (SIL-4) z założenia wymagających wysokiego stopnia dostępności i dokładności wyznaczania pozycji pojazdu wymaga wprowadzenia dodatkowych elementów pozycjonujących, rozbudowy sieci radiowej, wykorzystania bardzo dokładnych systemów pomiaru drogi (odometrów) czy zastosowania lokalizatorów hybrydowych.

Jednak biorąc pod uwagę niewątpliwe zalety przedstawionych rozwiązań tj. wysoką dostępność, niezawodność działania, oraz w konsekwencji zmniejszenie wyposażenia instalowanego w infrastrukturze kolejowej, co z kolei powoduje redukcję kosztów utrzymania i eksploatacji, należy przyjąć że omawiane systemy będą wdrażane w aplikacjach kolejowych tak jak ma to miejsce w innych dziedzinach transportu (transport samochodowy, morski, lotniczy) wychodząc na przeciw rosnącym oczekiwaniom użytkowników kolei, operatorów i zarządców infrastruktury.

6. BIBLIOGRAFIA

- [1] Białoń A., Toruń A. *GNSS applications for Polish State Railways*, ELTRANS 2007,
- [2] Dyduch J. Pawlik M. *Systemy automatycznej kontroli jazdy pociągu*. Wydawnictwo Politechnika Radomska 2002,
- [3] Lewiński A., Perzyński T., Toruń A. *The modeling of data radiotransmission for ERTMS application*. International Conference TRANSPORT SYSTEMS TELEMATICS, Silesian University of Technology, Katowice-Ustroń 2009.
- [4] Norma PN-EN 50129:2007 *Zastosowania kolejowe. Systemy łączności, przetwarzania danych i sterowania ruchem. Elektroniczne systemy sygnalizacji związane z bezpieczeństwem*.
- [5] Pawlik M., Toruń A. *Informacja przestrzenna w transporcie kolejowym*, PAN 2004,
- [6] Pawlik M.: *Metoda indykacji pojazdów w systemach sterowania ruchem kolejowym*, Rozprawa Doktorska – Politechnika Warszawska Wydział Transportu, Warszawa 2001.
- [7] Szulc W. *Elektroniczne metody monitorowania ruchomych środków transportowych (Electronic Methods of Monitoring Mobile Means of Transport)*, Warsaw Technical University, Transport Department, 2006
- [8] Toruń A. *Cyfrowe bezprzewodowe systemy transmisji danych w zastosowaniach kolejowych*, SEMTRAK 2008
- [9] Toruń A. *Wireless data transmission systems as a source of train localisation information for Signalling and Traffic Management Systems* International Conference TRANSPORT SYSTEMS TELEMATICS, Silesian University of Technology, Katowice-Ustroń 2008.
- [10] Toruń A. *Metody lokalizacji pojazdów kolejowych*, MET, 2007.
- [11] Toruń A. *Nowoczesne systemy informacji przestrzennej w zastosowaniach kolejowych*, WTPW, Warszawa 2005.
- [12] Toruń A. *Śledzenie pociągów z wykorzystaniem TAF i GALILEO*, PKP PLK S.A., 2007