

Andrzej Toruń
Centrum Naukowo – Techniczne Kolejnictwa
Zakład Sterowania Ruchem i Teleinformatyki

Andrzej Lewiński
Politechnika Radomska
Wydział Transportu i Elektrotechniki

METODA LOKALIZACJI POJAZDÓW W PROCESIE STEROWANIA RUCHEM KOLEJOWYM

Streszczenie: W referacie przedstawiono założenia i ideę procesu sterowania ruchem kolejowym opartego o zasadę ruchomego odstępu blokowego i wykorzystującego jako źródło informacji o położeniu pojazdów kolejowych dane pochodzące z systemów nawigacji satelitarnej. (tzw. zastosowanie „wirtualnej balisy”)

Słowa kluczowe: ERTMS, GPS, ruchomy odstęp blokowy, model Markowa,

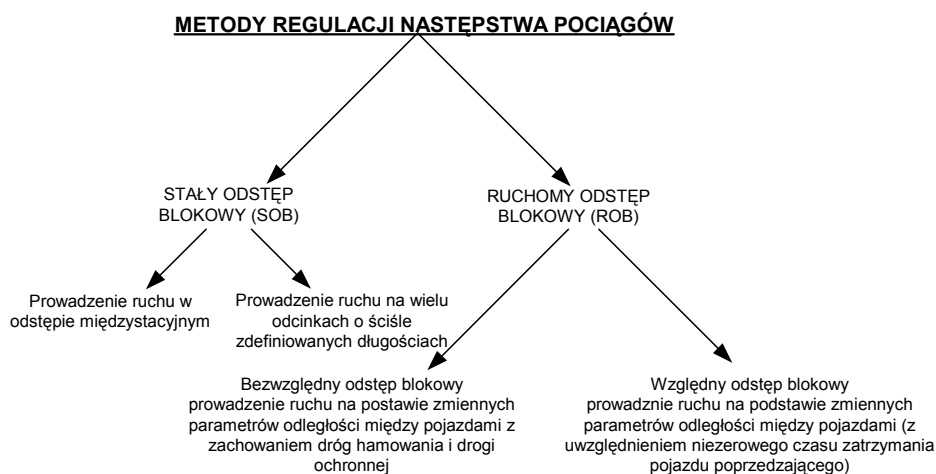
1. WSTĘP - METODY PROWADZENIA RUCHU KOLEJOWEGO

Na każdym etapie rozwoju kolei formy i metody kontroli następstwa pociągów uwarunkowane były od szeregu czynników eksploatacyjnych tj. maksymalna prędkość pociągów, przepustowość linii, charakterystyka pociągu (krzywe hamowania) czy też czynników związanych z zapewnieniem wymaganego poziomu bezpieczeństwa prowadzenia ruchu kolejowego. Aby rozpatrywać sposób prowadzenia i kontroli ruchu pojazdów należy przede wszystkim zdefiniować zasady i możliwości techniczne związane ze sposobem i skutecznością lokalizacji pociągów w obszarze sterowania.

Początkowo wystarczające były proste formy lokalizacji pojazdów wykorzystujące człowieka jako element systemu stwierdzania obecności pojazdu w obszarze (jazda na „berło”). W późniejszym okresie zaczęto stosować zautomatyzowane metody sterowania ruchem eliminujące w procesie „czynnik ludzki” oraz dające możliwość zwiększenia bezpieczeństwa na szlakach oraz zwiększenia przepustowości linii kolejowej.

Współcześnie do nadzoru i kontroli ruchu pojazdów wykorzystywane środki techniczne zapewniające zrealizowanie jednej z metod regulacji następstwa pociągów opartej o zasadę

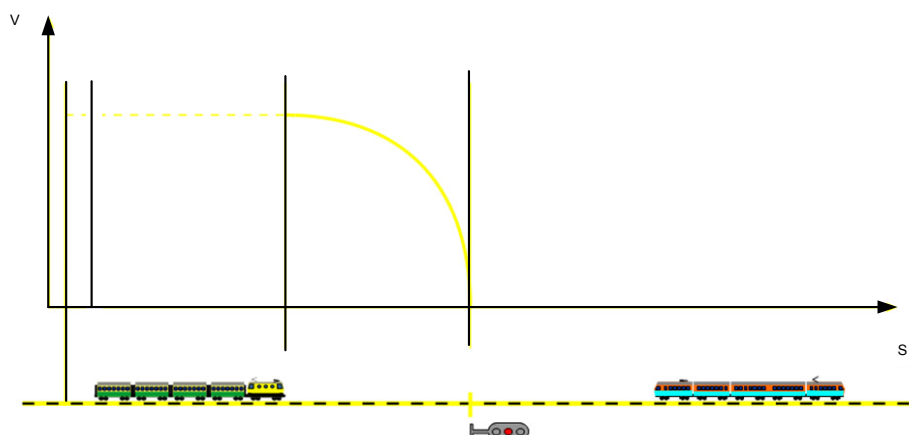
stałego lub ruchomego odstępu blokowego. Podział współcześnie stosowanych metod przedstawiony jest na Rys 1.



Rys. 1 Podział stosowanych współcześnie metod regulacji następstwa pociągów

1.1. Metoda regulacji następstwa oparta o zasadę stałego odstępu blokowego

Metoda regulacji następstwa pociągów oparta o zasadę stałego odstępu blokowego – SOB, jest powszechnie stosowana w różnych zarządkach kolei jak również na sieci kolejowej w Polsce zarządzanej przez PKP PLK S.A.. Metoda ta umożliwia określenie położenia pociągu z dokładnością do szlaku między stacjami (blokada jednodostępowa), czy lokalizacji z dokładnością do odstępu blokowego szlaku (blokada 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 lub do odcinka szlaku z dokładnością do około 1300 – 1500 m w zależności od stawności blokady wieloodstępowej i maksymalnej prędkości pociągów na szlaku).



Rys. 2 Metoda regulacji następstwa pociągów oparta o zasadę SOB [5,12]

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).

1.2. Metoda regulacji następstwa oparta o zasadę ruchomego odstepu blokowego

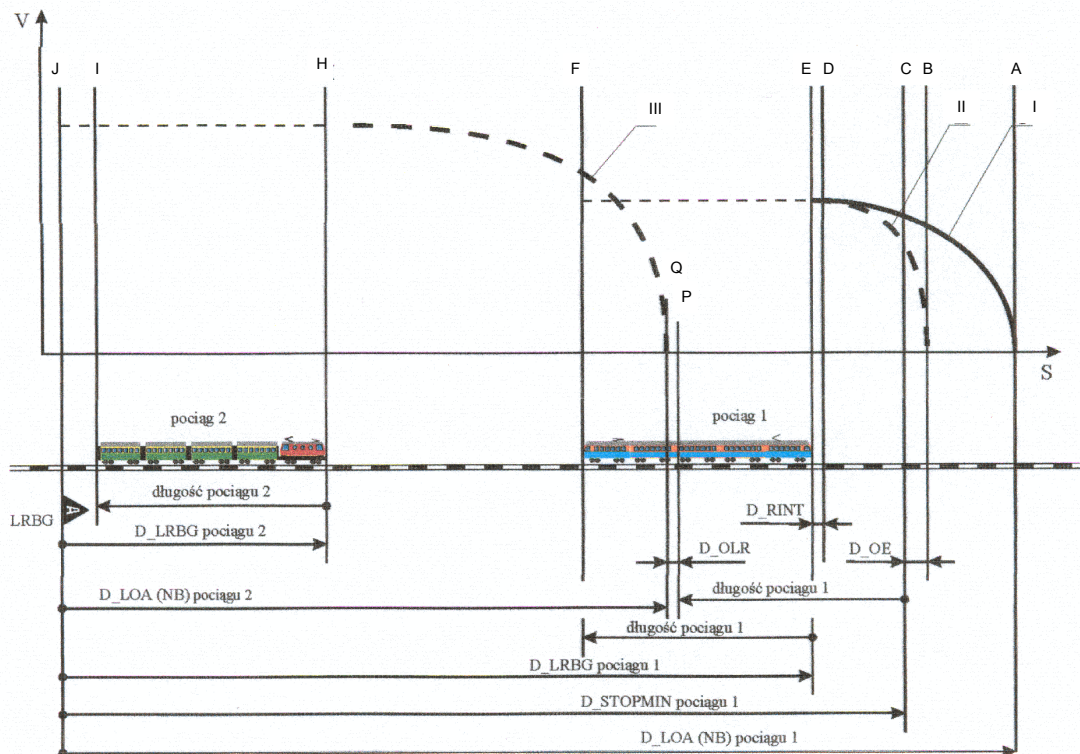
Metoda regulacji następstwa pociągów oparta o zasadę ruchomego odstepu blokowego – ROB bazuje na wirtualnym zmiennym odstepie blokowym, którego granice nie są określone w sposób stały (stałe punkty odniesienia o określonym kilometrażu szlaku) lecz zmieniają się w sposób dynamiczny w zależności od aktualnej sytuacji ruchowej. Metodę tę można porównać do jazdy na „elektroniczną widoczność” gdzie ruch prowadzi się w zależności od położenia i parametrów jazdy pociągu poprzedzającego (skład jadący jako drugi dostaje z centrum radiowego „zezwolenie na jazdę” zawierające dane określające maksymalną prędkość i odległość do miejsca stanowiącego koniec tego zezwolenia. W praktyce realizowane są dwa warianty ROB:

– **bezwzględnego ruchomego odstepu blokowego**, gdy pociąg jadący jako drugi otrzymuje zezwolenie na jazdę do miejsca bliższego niż wynika to z ostatniego raportu o położeniu pociągu poprzedzającego. Jest to konsekwencja przyjęcia założenia, o możliwości zatrzymania się pociągu poprzedzającego natychmiast po wysłaniu raportu o położeniu końca pociągu (w tzw. „czasie zerowym”). W takim przypadku zezwolenie na jazdę musi uwzględniać pełną drogę hamowania pojazdu drugiego oraz dodatkowo drogę ochronną. [12]

– **względnego ruchomego odstepu 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 obydwojema 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).[12] Zasada ta została przedstawiona na Rys. 3.[3,5,12], 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 nagle 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. 3. Metoda regulacji następstwa pociągów oparta o zasadę ROB [5,12]

W referacie przedstawiona została alternatywna propozycja realizacji metody sterowania opartej o zasadę ROB, w której jako źródło informacji o położeniu pojazdu zastosowano bezprzewodowy system wymiany danych: lokalizacja dokonywana w oparciu o technologię nawigacji satelitarnej GNSS (Global Navigation Satellite Systems) w praktyce obecnie wykorzystywany jest system GPS (Global Positioning System) a w przyszłości GALILEO, komunikacja pomiędzy pojazdem a centrum sterowania radiowego zrealizowana w technice GSM/GSM-R.

2. MODEL PROCESU STEROWANIA RUCHEM ROB Z GNSS

Tworzenie modelu procesu regulacji następstwa pociągów opartego na regule ROB wymagała zdefiniowania czynników mających wpływ na proces sterowania ruchem pociągów. Na Rys. 4 przedstawiono podstawowe parametry uwzględnione przy tworzeniu modelu funkcjonalnego procesu sterowania następstwem pociągów w nadzorowanym obszarze.

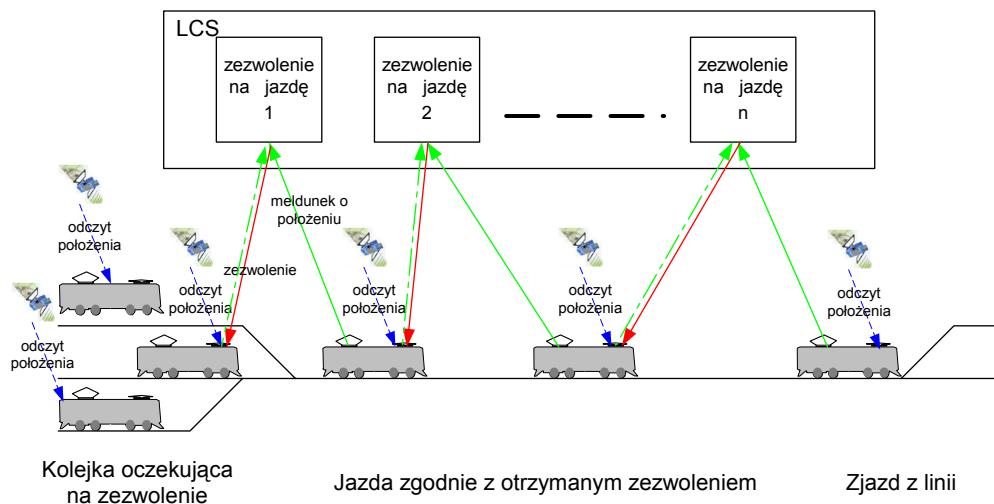
W standardowym ujęciu procesu ROB realizowanym w klasycznym systemie ETCS poziomu 2 stosowane są stałe punkty odniesienia (położenia) instalowane w infrastrukturze – balisy lub grupy balis, które przekazują do urządzeń pokładowych m.in. informacje o położeniu pojazdu, komunikacja z centrum sterowania radiowego – RBC, wykorzystuje transmisję opartą o technologię GSM-R.



Rys. 4. Czynniki wpływające na proces sterowania ruchem pociągów

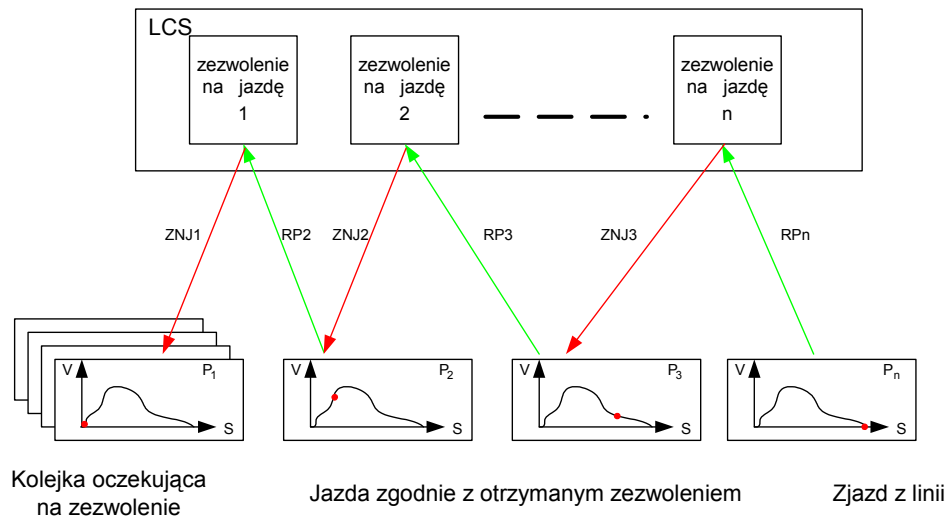
W modelu funkcjonalnym ROB z „wirtualną balisą” informacje pochodzące ze stałych punktów infrastruktury tj. dane o położeniu i pojawieniu się pociągu w określonym miejscu, są generowane w oparciu o informację przestrzenną pochodzącą w systemów satelitarnych GNSS. Lokalizacja pociągu w oparciu o GNSS praktycznie nie potrzebuje żadnego wyposażenia torowego i pozwala ograniczyć liczbę balis klasycznych instalowanych w torze. Komunikacja z centrum sterowania radiowego realizowana jest z wykorzystaniem sieci cyfrowej transmisji bezprzewodowej GSM-R.

Ogólny schemat procesu opartego o wykorzystanie „wirtualnej balisy” przedstawiony został na Rys. 5 [3,12]



Rys. 5. Ogólny schemat procesu sterowania ruchem pociągów z wykorzystaniem „wirtualnej balisy”

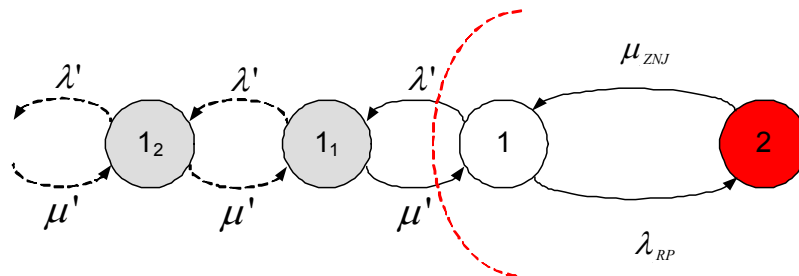
Ogólny schemat procesu stanowił punkt wyjścia do zdefiniowania ogólnego modelu funkcjonalnego procesu sterowania następstwem pociągów, który został przedstawiony na Rys. 6 [3].



Rys. 6 Ogólny model procesu sterowania ruchem pociągów opartego o zasadę ROB

Ze schematu procesu sterowania następstwem pociągów wynika, że proces ten można przedstawić jako ciąg par informacji - raportów o położeniu i zezwoleń na jazdę. Należy jednak zwrócić uwagę, że na pary informacji można patrzeć z punktu widzenia pojedynczych procesów przygotowania zezwoleń przez centrum sterowania RBC, tworząc pary $\langle RP_{i+1}, ZNJ_i \rangle$ odpowiadające procesowi wygenerowania pojedynczego zezwolenia na jazdę dla pociągu i w chwili czasu (t) .

Zdefiniowanie procesu w opisany powyżej sposób pozwoliło na opracowanie podstawowego modelu matematycznego – Rys. 7 [3]:



Rys. 7 Model matematyczny procesu sterowania ruchem pociągów opartego o zasadę ROB

- STAN 1 wywołanie procesu ROB,
- STAN 2 obsługa procesu ROB,
- STAN 1_i stan oczekiwania kolejki (i) pociągów na obsługę ROB,
- λ_{RP} intensywność telegramów sterujących procesem ROB,
- μ_{ZNJ} odwrotność czasu obsługi telegramu sterującego procesem ROB,
- λ' intensywność zgłoszeń pociągów do obsługi,
- μ' odwrotność czasu obsługi kolejki pociągów.

3. PODSUMOWANIE

Prowadzenie ruchu pociągów w oparciu o metodę SOB 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”. Tym samym ogranicza 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.

Zastosowanie systemów regulujących następstwo pociągów wykorzystującym nowoczesne systemy lokalizowania pociągów opartych o technologię ERTMS, GSM-R i GNSS umożliwia dynamiczne (w czasie rzeczywistym) zarządzanie ruchem kolejowym realizując w praktyce zasadę ruchomego odstępu blokowego ROB. Wstępne symulacje wykonane na modelu matematycznym potwierdzają osiągnięcie wymaganego poziomu bezpieczeństwa SIL dla przyjętego modelu regulacji następstwa pociągów.

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. Advances in transport systems telematics, s. 173-178, 2009.
4. Pawlik M., Toruń A. Informacja przestrzenna w transporcie kolejowym, PAN 2004.
5. Pawlik M.: Metoda indykacji pojazdów w systemach sterowania ruchem kolejowym, Rozprawa Doktorska – Politechnika Warszawska Wydział Transportu, Warszawa 2001.
6. Szulc W. Elektroniczne metody monitorowania ruchomych środków transportowych (Electronic Methods of Monitoring Mobile Means of Transport), Warsaw Technical University, Transport Department, 2006.
7. Toruń A. Cyfrowe bezprzewodowe systemy transmisji danych w zastosowaniach kolejowych, SEMTRAK 2008.
8. Toruń A. Białoń A. Iwański R. Methods of train localisation based on satellite navigation systems, Advances in transport systems telematics - Monograph, s. 197-206, 2006.
9. Toruń A. Metody lokalizacji pojazdów kolejowych, 8 Międzynarodowa Konferencja MET, s.87-91, 2007.
10. Toruń A. Śledzenie pociągów z wykorzystaniem TAF i GALILEO, PKP PLK S.A., 2007.
11. Toruń A. Wireless data transmission systems as a source of train localisation information for Signalling and Traffic Management, Advances in transport systems telematics, s. 327-335, 2008.
12. Toruń A., Lewiński A. Informacja przestrzenna w procesie sterowania ruchem kolejowym, VII Konferencja Naukowo - Techniczna LOGITRANS – 2010.

METHOD OF TRAIN LOCALISATION ON TRAFFIC MANAGEMENT PROCESS

Abstract: 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.

Keywords: ERTMS, GSM-R, GNSS, GPS, Changeable Block Distance,...