

WYBRANE ZAGADNIENIA STEROWANIA RUCHEM POCIĄGÓW (NA PRZYKŁADZIE SOP)¹

Krzysztof Grochowski

dr inż., Wydział Transportu, Politechnika Warszawska,
00-662 Warszawa, ul. Koszykowa 75, e-mail: kgr@
it.pw.edu.pl

Leszek Konopiński

dr inż., Wydział Transportu, Politechnika War-
szawska, 00-662 Warszawa, ul. Koszykowa 75, tel.
+48 22 234 7596

Wiesław Zabłocki

dr hab. inż., prof. nzw. PW, Wydział Transportu, Poli-
technika Warszawska, 00-662 Warszawa, ul. Koszykowa
75, tel. +48 22 234 5481, e-mail: zab@it.pw.edu.pl

Streszczenie. *W artykule przedstawiono wybrane problemy dotyczące specyficznych funkcji sterowania ruchem pociągów kolei aglomeracyjnej, w tym metra. Przedstawiono uproszczony opis systemu sterowania ruchem pociągów uwzględniający specyfikę i zadania techniczno - ruchowe. Analizie poddano system ograniczenia prędkości – SOP, który zostanie zmodernizowany w celu uzyskania pełnej jego funkcjonalności.*

Słowa kluczowe: *pociąg, metro, kolej aglomeracyjna, system, sterowanie, zadanie sterowania, ATP - Automatic Train Protection*

1. Wprowadzenie

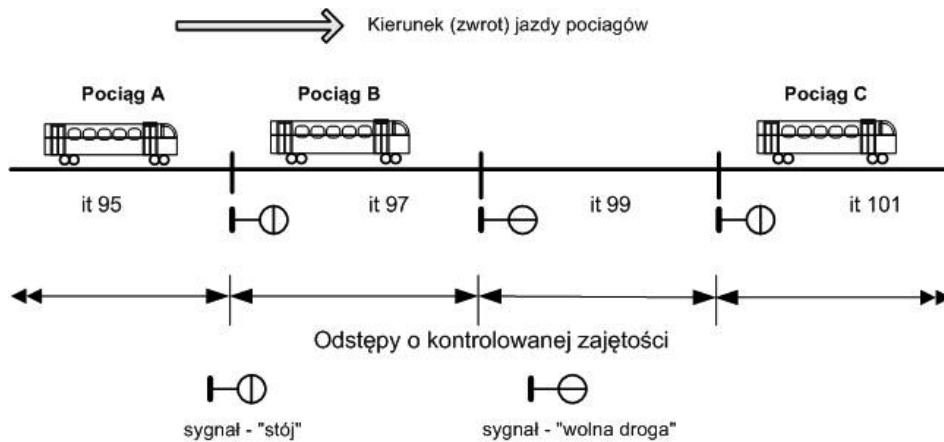
Technika sterowania ruchem kolejowym, jak i ruchem pociągów metra charakteryzuje się podobnymi, a w przypadku nowoczesnej kolei aglomeracyjnej – bardzo zbliżonymi, jeżeli nie identycznymi, wymaganiami z uwagi na bezpieczeństwo ruchu i poziom automatyzacji. Stosowane systemy sterowania ruchem kolejowym i systemy sterowania pociągami metra mają wspólną cechę inteligentnych systemów sterowania ruchem kolejowym. Jednakże ze względu na ograniczoną liczbę zadań ruchowych kolei aglomeracyjnej, pewną jednorodność tych zadań (ruch pasażerski realizowany z wykorzystaniem stałych składów pociągowych) i infrastruktury (niezbyt rozbudowane układy torowe przeznaczone do realizacji tego ruchu) oraz z uwagi na konieczność osiągnięcia podstawowego wymagania, jakim jest maksymalizacja przepustowości, systemy automatyki sterowania i zabezpieczenia ruchu pociągów kolei konwencjonalnej, w tym metra wykazują szereg istotnych cech, a nawet różnic, obejmujących system sygnalizacji, system kontroli jazdy pociągów (automatyzacji rozruchu i hamowania) oraz inne systemy, zależnie od realizowanych funkcji i zadań sterowania.

1 Wkład autorów w publikację: Grochowski K. 33%, Konopiński L. 33%, Zabłocki W. 34%.

Analizując aktualnie stosowane nowoczesne systemy BKJP² (Bezpieczna Kontrola Jazdy Pociągu), także w odniesieniu do kolei aglomeracyjnej i metra, przyjmuje się, że systemy te obejmują rozwiązania klasy: ATC – Automatic Train Control, ATP - Automatic Train Protection oraz ATO - Automatic Train Operation. Zastosowanie takich systemów na kolei aglomeracyjnej, w tym w metrze umożliwia pełną funkcjonalność procesów ruchowych metra z zachowaniem bezpieczeństwa ruchu. Powyższe systemy różnią się zakresem funkcjonalności, a zatem i rozwiązaniami technicznymi. Docelowym założeniem systemów ATO jest m. in. automatyzacja sterowania pociągiem bez udziału maszynisty. Szczegóły rozwiązań technicznych zależą od przyjętych lub realizowanych założeń techniczno – ruchowych zarządów eksploatujących poszczególne linie metra. W publikacji zostaną przedstawione zagadnienia dotyczące koncepcji sterowania ruchem pociągów metra (kolei aglomeracyjnej) oraz certyfikacji systemu klasy ATP.

2. Identyfikacja i sformułowanie problemu

Podstawowym rozwiązaniem stosowanym w sterowaniu ruchem pociągów Metra Warszawskiego jest dwustawna sygnalizacja³ wykorzystująca sygnalizatory świetlne umożliwiające wyświetlanie dwóch sygnałów „wolna droga” lub „stój”. Zasada funkcjonowania dwustawnej sygnalizacji jest przedstawiona na rys. 1.



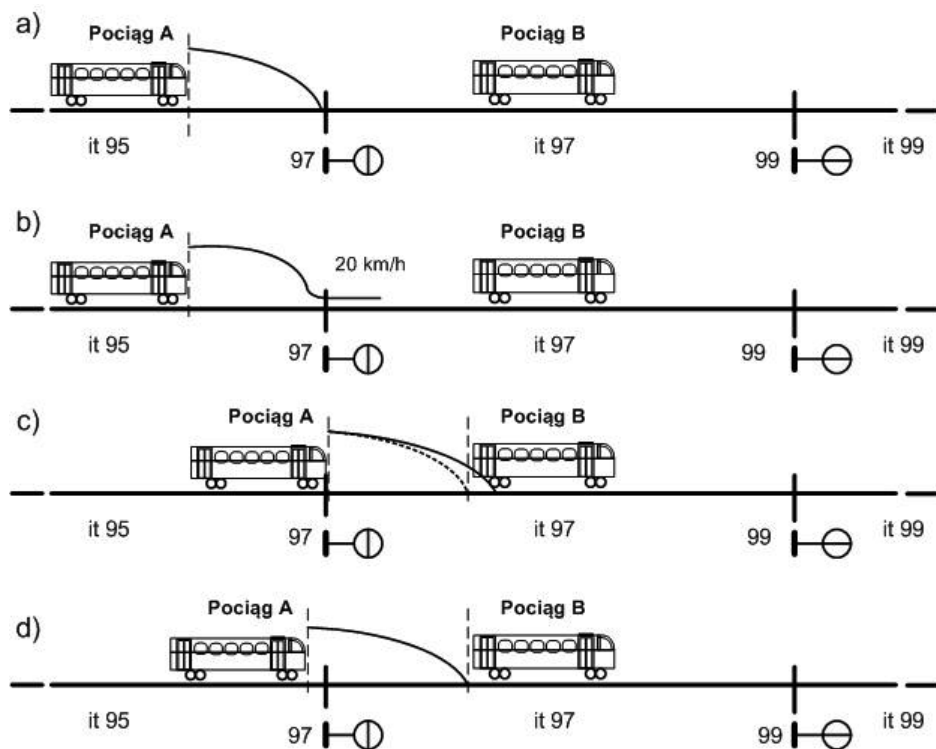
Rys. 1. Zasada funkcjonowania sygnalizacji dwustawnej

Zastosowanie dwustawnej sygnalizacji jest uzasadnione koniecznością istnienia rozwiązania rezerwowego, koniecznego w przypadku jazd pojazdów niewyposażonych w urządzenia kontroli jazdy pociągu albo z niesprawnymi lub wyłączonymi

² Skrót występuje m. in. w tłumaczeniu Decyzji Komisji Europejskiej z dnia 22 lipca 2009r. (2009/561/WE)

³ Jeśli stawność sygnalizacji jest określona liczbą $s=2$ lub większą, oznacza to, semafor(y) blokady umożliwiają przekazanie informacji o zajętości $s-1$ odcinków blokowych, w przypadku blokady dwustawnej dotyczy to 1 odcinka blokowego.

takimi urządzeniami. W przypadku I linii Metra Warszawskiego obecnie istnieje również problem braku dopuszczenia do eksploatacji urządzeń kontroli jazdy pociągu. Na rys. 2. przedstawiono możliwe przypadki a), b), c) i d) sterowania ruchem pociągów z zastosowaniem sygnalizacji dwustawnej.



Rys. 2. Sposoby sterowania ruchem pociągów metra

W przypadku a) bezpieczeństwo ruchu zależy od maszynisty, który prowadzi pociąg A wyłącznie na podstawie wskazań sygnalizatorów i bez automatycznej kontroli prędkości, z bezwzględnym zatrzymaniem czoła pociągu przed sygnałem „stój”, ponieważ odcinek it97 zajmuje pociąg B. Przypadek a) należy traktować jako przypadek „zerowy” w celu wykazania, że dwustawna sygnalizacja nie spełnia wszystkich warunków bezpieczeństwa, a ze względu na ograniczony zakres prędkości nie spełnia także wymagań techniczno-ruchowych metra.

W przypadku b), podobnie jak w przypadku a), maszynista reaguje na sygnał „stój”, ale mija semafor ze zmniejszoną prędkością i prowadzi pociąg na tzw. widoczność, co dopuszczają przepisy kolejowe. Przypadek ten ma te same wady jak przypadek a).

W przypadku c) zastosowano funkcję automatyzacji hamowania, gdyby maszynista pociągu A nie reagował na sygnał „stój”. Przy tym poziomie automatyzacji krzywa hamowania może nie spełniać warunku bezpiecznej drogi hamowania,

ponieważ pojazd poprzedzający (pociąg B) może znajdować się zbyt blisko za sygnalizatorem.

W przypadku d) system automatyzacji inicjuje hamowanie, które spełnia warunek bezpiecznej drogi hamowania, ponieważ krzywa hamowania pociągu A uwzględnia prędkość i zmienne trakcyjne pociągu A oraz wyznaczoną na bieżąco odległość między pociągami A i B. Jest to najwyższy poziom automatyzacji umożliwiający prowadzenie pociągu na tzw. widoczność elektroniczną. Taki system wyposażony w interfejs maszynisty wspomaga pracę maszynisty wskazując możliwą dopuszczalną, bezpieczną prędkość, z jaką maszynista może prowadzić pociąg metra na określonej części odstępów. W systemie takim możliwe jest także bezobsługowe sterowanie jazdą pociągu (automatyzacja prowadzenia pociągu) z uwzględnieniem rozruchu silników trakcyjnych oraz konieczna jest rezygnacja z semaforów lub wprowadzenie sygnału zezwalającego na mijanie semafora przez pociąg wyposażony w czynne i sprawne urządzenia kontroli jazdy, jeżeli na drodze hamowania za semaforem nie ma przeszkód do jazdy.

Dodatkowym elementem analizy jest fakt, że w przypadku I linii Metra Warszawskiego sygnalizatory przytorowe zaprojektowano jako elementy rozwiązania rezerwowego pozwalającego na prowadzenie ruchu pojazdów roboczych nie wyposażonych w urządzenia kontroli jazdy pociągu (kjp) oraz dla „wyprowadzenia” z ruchu pociągu o niesprawnych lub wyłączonych urządzeniach kjp. W konsekwencji semafony zlokalizowane zostały tylko jako semafony wyjazdowe z toru przyperonowego, z torów odstawczych i osłaniające tor przyperonowy w przypadku jazd dwukierunkowych. Oznacza to, że kontrolowany odstęp ma długość zbliżoną do odległości międzyprzystankowych lub równą tej odległości. Jest to oczywiście niekorzystne w przypadku prowadzenia ruchu wyłącznie z wykorzystaniem tych semaforów.

Przedstawiona powyżej analiza możliwych poziomów automatyzacji sterowania pojazdem pozwala stwierdzić, że najwyższy poziom automatyzacji i bezpieczeństwa można osiągnąć wprowadzając funkcje: kontroli prędkości pociągów, wyznaczania położenia (lokalizacji) pociągów i odległości między nimi. Dobór i zaprojektowanie systemu sterowania pociągami stanowi sformułowanie problemu: jak rozwiązać system sterowania pociągami zastępując lub uzupełniając dwustawną sygnalizację, systemem sterowania o wyższym poziomie automatyzacji i bezpieczeństwa, a przy tym uzasadnionym ekonomicznie. Problem dotyczy nie tylko zaprojektowania i wdrożenia systemu, ale także jego certyfikacji, a w konsekwencji uzyskania bezterminowego świadectwa dopuszczenia typu urządzenia. Ponadto projekt systemu powinien uwzględniać pewien zapas rozszerzający możliwości techniczno-ruchowe systemu w przyszłości. Istnieje także szereg rozwiązań pośrednich uwzględniających m. in. kontrolę czuwania maszynisty i jego reakcji na wskazania semaforów. Aktualne systemy automatyzacji ruchu pociągów kolei aglomeracyjnej, w tym metra, realizowane są w oparciu o technologie informatyczne i bezpieczne struktury komputerowe. Jednym z takich systemów, stosowanych w Polsce, spełniająca

cych zarysowane wcześniej wymagania jest system SOP⁴ spełniający funkcje systemu ATP [2, 3].

3. System SOP

Podstawową funkcją systemu SOP jest automatyczne zmniejszenie prędkości do wartości zapewniającej bezpieczną jazdę, w przypadku gdyby maszynista nie reagował na ograniczenia prędkości. Bezpieczna krzywa hamowania w SOP powstaje jako rezultat schodkowego (stopniowego) zmniejszania prędkości pociągu w funkcji drogi, tzn. na kolejnych odstępach, przy czym długość każdego odstępu zapewnia możliwość zmniejszenia prędkości do prędkości odpowiadającej niższemu stopniowi. Informacja o dopuszczalnej prędkości pociągu na odstępie jest wyświetlana w kabinie maszynisty na panelu SOP. W następnym rozdziale zostanie przedstawiona charakterystyka techniczna systemu SOP-2.

System SOP-2 jest stosowany obecnie na I linii Metra Warszawskiego jako system pomocniczy w prowadzeniu pociągu przez maszynistę. Zasadniczym zadaniem systemu jest techniczne wspomaganie maszynisty przy ograniczaniu prędkości pociągu do wartości dopuszczalnej w danej sytuacji ruchowej. Maszynista prowadzi pociąg na podstawie obserwacji przytorowej sygnalizacji świetlnej oraz informacji wyświetlanych na panelu systemu SOP-2. Prędkość pociągu jest regulowana przez maszynistę w taki sposób, aby nie została przekroczona aktualna dopuszczalna prędkość wskazywana na wyświetlaczu pulpitu. System SOP-2 nadzoruje chwilową dozwoloną prędkość pojazdu metra i w razie jej przekroczenia automatycznie oddziałuje na układ napędowo-hamujący pociągu, włączając automatyczne ograniczenie jego prędkości lub bezpieczne zatrzymanie przed przeszkodą. System SOP-2 realizuje następujące funkcje takie jak:

- A) kodowanie informacji o prędkości dozwolonej wyznaczanej na podstawie bieżącej sytuacji ruchowej stanu urządzeń oraz stałych ograniczeń prędkości (sygnały o zajętości odcinków, położeniu zwrotnic, stanie sygnalizatorów, ograniczenia na łukach itp.),
- B) przesyłanie w sposób ciągły zakodowanej informacji do pojazdów,
- C) odbiór informacji na pojeździe, ich poprawne zdekodowanie, zasygnalizowanie oraz interpretacja,
- D) prowadzenie ciągłego nadzoru prędkości dopuszczalnej i reakcja w przypadku jej przekroczenia - odłączenie napędu, wdrożenie hamowania,
- E) automatyczna jazda pociągu (funkcja ajp) – docelowo.

W systemie SOP-2 wyróżnia się dwie strukturalne części:

- urządzenia stacjonarne zawierające nadajnik zlokalizowany w nastawni na każdej stacji metra, odpowiedzialny za realizację funkcji kodowania (funkcja A) i przesyłania informacji do pociągów (funkcja B) przy pomo-

⁴ System SOP w wersji SOP-2 został opracowany w Polsce przez Politechnikę Łódzką i firmę (obecnie) Bombardier Transportation ZWUS w Katowicach. Powstała także wersja systemu SOP-2P wdrożona na linii metra w Pradze (Czechy) [6].

cy pętli kablowych (obwodów przewodowych) ułożonych w torze pomiędzy tokami szyn,

- urządzenia pokładowe wyposażone w odbiornik zabudowany na każdym z wagonów czołowych taboru metra, tzn. każdy pociąg posiada dwa komplety urządzeń odbiorczych odpowiedzialnych za realizację funkcji odbioru, dekodowania oraz nadzoru prędkości pociągu (funkcje C, D i E).

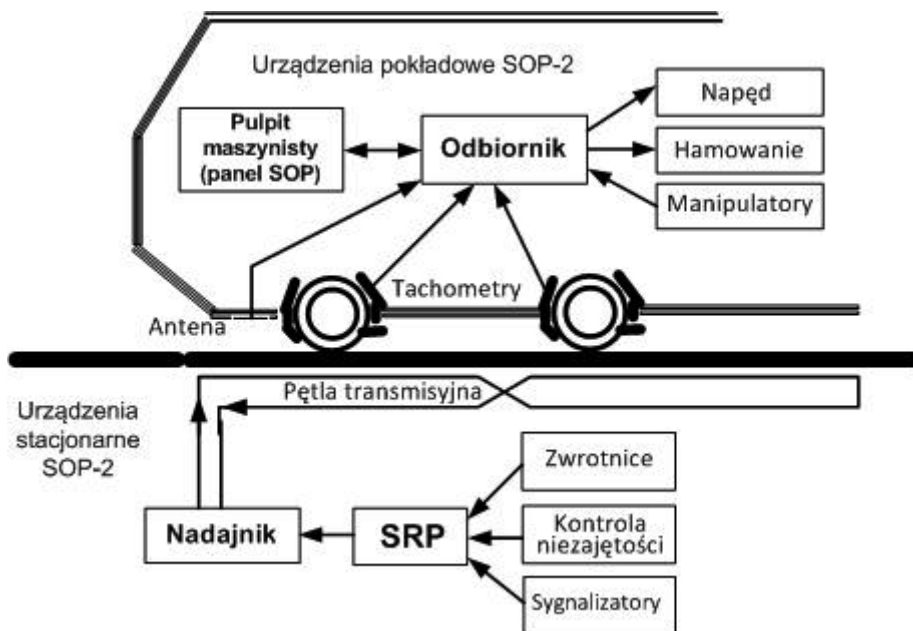
Część stacjonarna komunikuje się z częścią pojazdową systemu za pomocą transmisji tor-pojazd wykorzystującej pętle transmisyjne (obwody przewodowe) stanowiące anteny nadawcze. Parametry transmisji są następujące:

- częstotliwość nośna 36,6 kHz,
- sygnał FSK⁵ z dewiacją $\pm 0,6$ kHz,
- szybkość modulacji 1200 bodów.

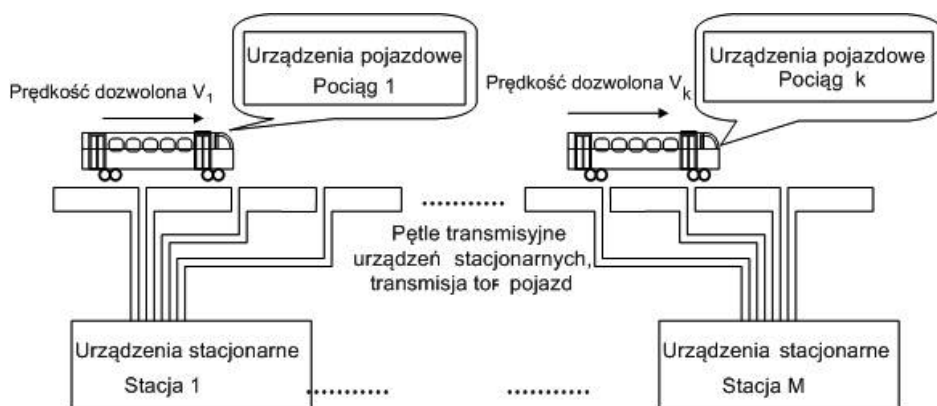
Urządzenia stacjonarne systemu SOP powiązane są z istniejącymi na linii metra urządzeniami sterowania ruchem pociągów - srp (rys. 3.), które dla każdej pętli transmisyjnej w sposób bezpieczny realizują zależności, tzn. wybierają odpowiedni stopień prędkości dozwolonej na podstawie przypisanej mu kombinacji sygnałów wejściowych, takich jak zajętość odcinków torowych i zwrotnicowych, stan sygnalizatorów i zwrotnic, utwierdzenie przebiegów [11]. W oparciu o stany tych sygnałów, nadajniki pętli systemu SOP-2 kodują informacje o prędkości dozwolonej w telegramach i wysyłają je cyklicznie do przyporządkowanej nadajnikowi pętli. Stopień prędkości jest zależny od własności hamujących pociągów obsługujących linię, długości i pochylenia wolnej drogi przed końcem danej pętli oraz od stałych ograniczeń prędkości. Pętla przewodowa stanowiąca antenę nadawczą jest ułożona wzdłuż torów i symetrycznie względem osi toru, między tokami szyn na poziomie stopek szyn. Pętle mają tak dobraną długość, aby możliwe było przekazywanie przed przeszkodą kolejno zmniejszających się stopni prędkości, na odcinkach odpowiadających co najmniej właściwym drogom hamowania.

Urządzenia pokładowe, zabudowane w pociągu, wyposażone są w odbiornik i interfejsy, za których pośrednictwem realizowane są funkcje sterowanie napędem i systemem hamowania oraz wprowadzania dodatkowych informacji do odbiornika. Telegramy generowane przez nadajnik urządzeń stacjonarnych i zasilające pętle transmisyjne odbierane są przez anteny zainstalowane na pociągu. Dekodowane telegramów odbywa się w odbiorniku, dzięki czemu w pociągu odtworzone zostają wiadomości i rozkazy nadane przez urządzenia stacjonarne systemu SOP-2. Dane o prędkości dozwolonej porównywane są w sposób ciągły z prędkością rzeczywistą pociągu wyznaczaną na podstawie impulsów z tachometrów. W wyniku porównania tych wielkości wytworzone zostają właściwe stany napięciowe na wyjściach sterujących, które przez dopasowany do danego typu pociągu interfejs, wywołują sterowania w obwodach napędowo-hamujących pociągu, w celu obniżenia prędkości pociągu poniżej wartości dozwolonej. Poglądowe rozmieszczenie urządzeń stacjonarnych systemu SOP-2 wraz z urządzeniami pokładowymi ilustruje rys. 4.

5 FSK - *Frequency Shift Keying*, sposób modulacji częstotliwości dla sygnałów cyfrowych.



Rys. 3. Urządzenia pokładowe i stacyjne systemu SOP-2



Rys. 4. System SOP-2 na linii metra

4. Modernizacja i certyfikacja systemu SOP na I linii metra

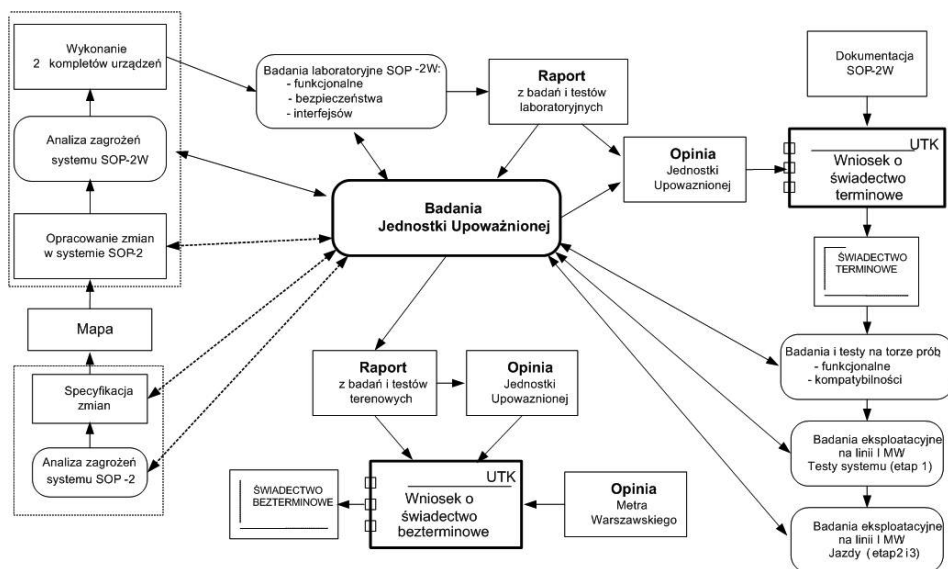
Eksploatacja systemu SOP-2 na I linii Metra Warszawskiego rozpoczęła się w 1995 roku. System zainstalowano w torach i na taborze rosyjskiego typu 81. W 2000 r. zostały wprowadzone do eksploatacji pociągi METROPOLIS produkowane przez firmę Alstom. W trakcie eksploatacji w niektórych komponentach sys-

temu wprowadzano zmiany wynikające z doświadczeń eksploatacyjnych i rozwoju funkcjonalnego systemu. Zmiany te dotyczyły głównie sprzętu i oprogramowania urządzeń pojazdowych.

W roku 2004 system SOP-2 uzyskał świadectwa dopuszczenia do eksploatacji jako pomocniczy system prowadzenia ruchu. Uzyskane świadectwo dotyczy obu wersji taboru i urządzeń stacjonarnych. Ograniczenie funkcji systemu do urządzeń wspomagających prowadzenie pociągu powoduje, że ruch pociągów w metrze prowadzony jest przy włączonych sygnalizatorach przytorowych, a ich wskazania są obowiązujące dla maszynisty. Przyczyną ograniczonego zastosowania systemu SOP-2 jest fakt, że część pojazdowa systemu nie spełnia obowiązujących obecnie wymagań w zakresie bezpieczeństwa. Pomimo badań analitycznych i eksploatacyjnych prowadzonych w kolejnych latach, system SOP-2 nie uzyskał świadectwa dopuszczenia do eksploatacji jako podstawowy system prowadzenia ruchu, a ruch pociągów prowadzony jest obecnie nadal na podstawie wskazań semaforów sygnalizacji dwustawnej z prędkością ograniczoną do 60 km/h (z uwagi na ograniczoną widoczność), co znacznie ogranicza przepustowość I linii metra. W roku 2009 Wydział Transportu Politechniki Warszawskiej na zlecenie Metra Warszawskiego podjął prace mające na celu modyfikację systemu SOP-2 i jego certyfikację na I linii metra jako podstawowego systemu prowadzenia ruchu umożliwiającego prowadzenie pociągu na tzw. widoczność elektroniczną.

Proces wprowadzania zmian w systemie SOP-2, w celu uzyskania jego certyfikacji i związanych z certyfikacją badań zaproponowanych w postaci tzw. mapy drogowej, przedstawiono na rys. 5. Prace analityczne, a w szczególności analiza zagrożeń, prowadzone z udziałem producenta systemu, pozwoliły określić zakres niezbędnych zmian eliminujących istniejące w systemie zagrożenia bezpieczeństwa. Zadania przedstawione na schemacie (rys. 5) obrazują złożoność certyfikacji oraz konieczność spójności specyfikacji poszczególnych zadań. W tym celu prace analityczne uwzględniają analizę systemową i strukturalną systemu SOP-2.

Opracowana specyfikacja zmian dotyczy wyłącznie części pojazdowej systemu, gdyż jak wykazano, część stacjonarna spełnia obowiązujące obecnie wymagania bezpieczeństwa zawarte w europejskich normach i standardach technicznych. Zmodyfikowana wersja systemu o nazwie SOP-2W bazuje na platformie sprzętowo-programowej kompatybilnej z systemem SOP-3, który będzie eksploatowany na II linii Metra Warszawskiego. System SOP-2W przeszedł pełny cykl badań koniecznych [8] prowadzonych w warunkach laboratoryjnych oraz na torze prób stacji postojowej Kabaty i uzyskał terminowe świadectwo dopuszczenia w celu przeprowadzenia badań eksploatacyjnych. Badania w tunelu metra oraz badania eksploatacyjne są prowadzone przez Jednostki Upoważnione [8] z udziałem producenta – Bombardier Transportation ZWUS i użytkownika systemu Metro Warszawskie. Uzyskanie przez system SOP-2W świadectwa dopuszczenia do eksploatacji jako podstawowego systemu prowadzenia ruchu i jego instalacja na wszystkich pociągach pozwolą na zwiększenie przepustowości I linii metra i podniesienie poziomu bezpieczeństwa ruchu.



Rys. 5. Schemat procesu certyfikacji systemu SOP-2

5. Wnioski końcowe

W publikacji przedstawiono niektóre problemy dotyczące sterowania ruchem pociągów z zastosowaniem systemu SOP-2. Podstawowe wymagania odnoszące się do systemu sterowania ruchem pociągów metra oraz innych kolei aglomeracyjnych, to poziom automatyzacji umożliwiający uzyskanie wymaganej przepustowości, bezpieczeństwa i oszczędnego zużycia energii trakcyjnej. Systemami, które mogą spełnić te warunki są systemy klasy ATP, umożliwiające realizację bezpiecznej krzywej hamowania opartej o tzw. widoczność elektroniczną, w każdej chwili dla każdego pociągu metra znajdującego się na linii. Umożliwia to skrócenie czasu następnego pociągów w godzinie szczytu i sprostanie zadaniom przewozowym. Dla Metra Warszawskiego istotnym staje się więc wdrożenie systemu SOP-2W i uzyskanie świadectwa dopuszczenia. Rozwiązanie takie jest również uzasadnione ekonomicznie, ponieważ system SOP-2 jest eksploatowany jako system pomocniczy w prowadzeniu ruchu pociągów, a z tego względu znana jest specyfika i możliwości systemu, więc nakłady, które zostaną poniesione na jego modernizację, aby uzyskać wymagany poziom bezpieczeństwa są jak najbardziej racjonalnym rozwiązaniem.

Doświadczenia uzyskane podczas stosowania systemu SOP-2, podczas jego modyfikacji do wersji SOP-2W oraz podczas wdrażania, a w przyszłości wersji SOP-3 stanowiąc powinny istotną bazę dla wprowadzania systemów klasy ATP w szeroko rozumianych kolejach aglomeracyjnych w Polsce.

Bibliografia

- [1] Barański S., Bergiel K., Karbowski H., Analiza porównawcza systemu SOP z innymi systemami automatycznego prowadzenia pociągu na liniach metra. *Prace Naukowe PW TRANSPORT, Zeszyt 62*, Oficyna Wydawnicza PW, Warszawa, 2007, str. 15 – 24.
- [2] Bergiel K., Karbowski H., *Automatyzacja prowadzenia pociągu*. Wydawnictwo EMI-PRESS, Łódź, 2005.
- [3] Bergiel K., Podstawy sterowania ruchem, www.i15.p.lodz.pl/wyklady/trakcja/pt_dm/rozd6.ppt, data dostępu 10.05.2012.
- [4] Bugaj A., Kochan A., Kierowanie i sterowanie pociągami bez maszynisty na przykładzie systemu SELTRAC. *Zeszyty Naukowe - Techniczne SITK RP, Nowoczesne Technologie i Systemy Zarządzania w Transporcie Szybnym*, Nr 96 (Zeszyt 158), Kraków, 2011, str. 55 – 66.
- [5] Chudzikiewicz A., Modyfikacja systemu SOP i jego certyfikacja na I linii metra jako podstawowego systemu prowadzenia ruchu. Prezentacja na seminarium, Mądralin, 19 stycznia 2012.
- [6] Karbowski H., *Podstawy infrastruktury transportu*. Wydawnictwo WSHE w Łodzi, Łódź, 2009.
- [7] Metro Signalling, Railway Technical Web Pages, www.railway-technical.com/sigtxt2.shtml, data dostępu 10.05.2012.
- [8] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 12 października 2005 roku w sprawie zakresu badań koniecznych do uzyskania świadectw dopuszczenia do eksploatacji typów budowli i urządzeń przeznaczonych do prowadzenia ruchu kolejowego oraz typów pojazdów kolejowych (Dz. U. Nr 212 poz. 1771 z późn. zm.).
- [9] Zabłocki W., Interlocking Functions of ATC Station System. *Archives of Transport Polish Academy of Sciences*, ISSN 0866-9546, nr 4/2008, str. 89 – 108, 2008.
- [10] Żurkowski A., Pawlik M., *Ruch i przewozy kolejowe*. Kolejowa Oficyna Wydawnicza, Warszawa, 2010.
- [11] Urządzenia zabezpieczenia ruchu pojazdów metra współpracujące z urządzeniami aop typu SOP-2. *Techniczne wytyczne projektowania. Aktualizacja*. Politechnika Warszawska, Wydział Transportu, Zakład Sterowania Ruchem Kolejowym, Warszawa, 1997.