

Henryk Karbowski, Sławomir Barański, Katarzyna Bergiel

# Polskie systemy SOP bezpiecznego prowadzenia pociągu na liniach metra

*W latach 80. XX w., po długim okresie dyskusji (problemy ekonomiczne), planowania i projektowania, rozpoczęła się budowa pierwszej linii metra w Warszawie. Przy Generalnej Dyrekcji Budowy Metra powstał działający pod kierownictwem prof. dr hab. inż. Mirosławy Dąbrowy-Bajon Zespół ds. Automatyki i Sterowania Ruchem Pojazdów w Metrze. Jednym z istotnych problemów, z jakim musiał się on zmierzyć, był wybór systemu automatycznego prowadzenia pociągu, który by nadzorował, wspomagał i zastępował pracę maszynisty, zapewniając bezpieczną jazdę pociągu.*

Pierwszym rozważanym rozwiązaniem był stosowany na liniach metra w miastach ówczesnego ZSRR system ARS (*автоматическая регулировка скорости*) uzupełniony niekiedy urządzeniami AWP (*автоматическое ведение поезда*). Było to o tyle naturalne, że uruchamianą linię metra miał obsługiwać tabor radziecki. Urządzenia ARS korzystają z transmisji obwodem torowym (szynami), przekazując do pociągu kilka informacji za pomocą sygnałów o niskich niemodulowanych częstotliwościach. Z tych powodów rozwiązanie to uznano za nienowoczesne. Brano pod uwagę możliwość zakupu systemu od producenta zachodnioeuropejskiego, np. systemu Matra typu PA135, zastosowanego m.in. w metrze w Budapeszcie (linia niebieska) i Pradze (linia C). Ostatecznie zdecydowano się opracować własne, nowoczesne rozwiązanie: „W zespole zapadła decyzja, że zastąpieniem rozwiązań rosyjskich polskimi zajmie się zespół prof. dr hab. inż. Henryka Karbowski z Politechniki Łódzkiej” [1].

Prace nad polskim systemem prowadzone były w Zakładzie Trakcji Elektrycznej Wydziału Elektrotechniki i Elektroniki Politechniki Łódzkiej i na bieżąco konsultowano je z GDBM, a kolejne etapy przedstawiano na posiedzeniach Zespołu ds. Automatyki. Przyjęto, że nowo opracowany system powinien zapewnić bezpieczne prowadzenie pociągu i – w miarę możliwości – stosować coraz szerszy zakres automatyzacji czynności wykonywanych przez maszynistę. Implikowało to wybór kanału transmisyjnego, który pozwoli przekazywać do pojazdu dużą liczbę informacji. W pracach uczestniczył także przyszły producent urządzeń: firma ZWUS Katowice (obecnie Bombardier Transportation ZWUS).

Urządzenia prototypowe, oznaczone SOP-1 (samoczynne ograniczanie prędkości), przy współpracy z firmą AŽD Praha były wielokrotnie badane na torze prób i na linii B metra w Pradze (w Warszawie dopiero trwała budowa pierwszego odcinka). Ostateczną wersję systemu, przyjętą do eksploatacji, oznaczono SOP-2. Od 6 kwietnia 1995 r., czyli dnia oddania do eksploatacji pierwszego odcinka I linii metra w Warszawie, polski system SOP-2 wspomaga pracę maszynisty w bezpiecznym prowadzeniu pociągu. Od 2004 r. system SOP-2P (system SOP-2 przystosowany do warunków metra praskiego i współpracy z urządzeniami ACBM3 – system automatycznej jazdy pociągu firmy AŽD) jest

eksploatowany na linii A metra w Pradze. Obecnie producent urządzeń, Bombardier Transportation ZWUS, prowadzi prace rozwojowe przy wprowadzeniu systemu o nazwie SOP-3 na II linii metra w Warszawie.

Polskie systemy SOP należą do grupy systemów ATP (Automatic Train Protection), które – w oparciu o stałe parametry toru i pojazdu oraz aktualną sytuację ruchową – wypracowują tzw. prędkość bezpieczną. Prędkość ta jest ciągle porównywana z prędkością rzeczywistą pojazdu: jeżeli prędkość rzeczywista pojazdu jest mniejsza od wartości prędkości bezpiecznej, system ATP nie ingeruje w prowadzenie pociągu. Natomiast jeżeli prędkość rzeczywista pojazdu zbliża się do wartości bezpiecznej, następuje automatyczne odłączenie napędu i włączenie hamowania służbowego oraz – ewentualnie – nagłego.

## Ogólny opis systemu SOP

### Zadania systemu SOP

Z nowoczesnymi liniami metra nierozzerwalnie związane są systemy automatycznego prowadzenia pociągu ATC (*Automatic Train Control*). Wyposażenie linii i pojazdów w urządzenia ATC zapewnia bezpieczeństwo ruchu. Dzięki ciągłej kontroli prędkości jazdy w sytuacjach zagrożenia bezpieczeństwa system automatycznie ogranicza prędkość pociągu. System ATC może także regulować prędkość pociągu w funkcji drogi w celu realizacji jazdy energooszczędnej, zgodnej z rozkładem jazdy, oraz gwarantować odpowiednią precyzję zatrzymania przy peronie. System ATC pełni zatem dwie funkcje i można wyróżnić w nim dwa podsystemy:

- *Automatic Train Protection* – ATP, system zapewniający bezpieczną jazdę,
- *Automatic Train Operation* – ATO, system automatycznej jazdy.

System ATP jest systemem podstawowym, może być uzupełniony o funkcje ATO z różnym stopniem zautomatyzowania jazdy pociągu: od automatycznego hamowania po całkowicie bezobsługową jazdę.

System SOP jest systemem ATP i dodatkowo realizuje niektóre zadania systemu ATO, np. automatyczne zatrzymanie pociągu przy peronie. Do realizacji podstawowego zadania, czyli wypełniania funkcji ATP, niezbędne jest wyznaczenie tzw. prędkości bezpiecznej  $V_B(s,t)$  zmiennej w drodze i czasie, uwzględniającej wszystkie ograniczenia prędkości. Wyznaczenie prędkości bezpiecznej  $V_B(s,t)$  wymaga znajomości trzech grup informacji, których źródłami są:

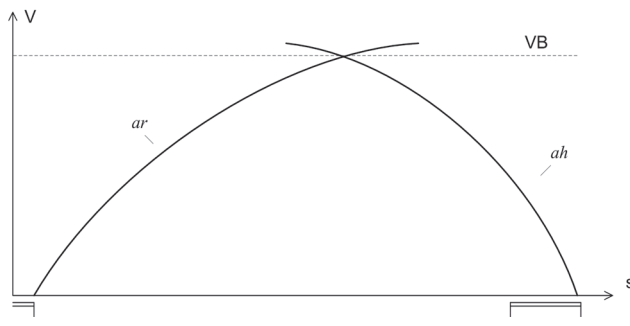
- tor – parametry toru (promienie łuków, pochylenie toru itd.) wpływające na wartość stałej w czasie (*constans*) prędkości nazywanej prędkością dopuszczalną  $cV(s)$ ;
- sytuacja ruchowa przed rozważanym pociągiem (zajętość torów, rozmieszczenie innych pociągów, wskazania semaforów itd.), wpływająca na wartość zmiennej w czasie i drodze (*variable*) prędkości dozwolonej oznaczonej  $vV(s,t)$ ;
- pojazd i jego parametry – głównie prędkość konstrukcyjna  $V_k$  i opóźnienie hamowania  $ah$ .

Prędkość bezpieczna jest określana zgodnie z warunkiem  $VB(s,t) = \min(cV(s), vV(s,t), VK)$ . Prędkość bezpieczna  $VB(s,t)$  może być wyznaczana w urządzeniach stacjonarnych, pojazdowych lub w sposób mieszany. W systemach SOP prędkość bezpieczna jest wyznaczana w urządzeniach stacjonarnych, w urządzeniach pojazdowych może być ona skorygowana po uwzględnieniu stanu pojazdu. Prędkość bezpieczna w systemie SOP tworzy krzywą schodkową na całym odcinku międzyprzystankowym.

Prędkość rzeczywista pociągu  $VR(s,t)$  w każdej chwili i w każdym punkcie drogi nie może przekraczać prędkości bezpiecznej  $VR(s,t) \leq VB(s,t)$ . Gdy ten warunek nie jest spełniony, następuje kolejno: odłączenie napędu, włączenie hamowania służbowego i – ewentualnie – hamowania nagłego.

### Odległości między przystankami i przepustowość linii

Linie metra różnią się od linii kolejowych, ich parametry wpływają na sposób prowadzenia ruchu i jazdę pojedynczego pociągu. Podstawowe cechy linii metra to gęsty ruch pociągów i krótkie odległości międzyprzystankowe. Dla typowej dla metra odległości międzyprzystankowej rzędu 800–1000 m maksymalna wartość prędkości możliwej do osiągnięcia limitowana jest wartościami przyspieszenia rozruchu  $ar$  oraz opóźnienia hamowania  $ah$ . Ilustruje to rysunek 1, na którym przedstawiono przejazd pociągu (przebieg prędkości pociągu w funkcji drogi) przy założeniu uzyskania najkrótszego czasu przejazdu. Aby spełnić takie założenie na krótkim odcinku, jazda pociągu musi składać się tylko z fazy rozruchu z przyspieszeniem  $ar$  i fazy hamowania z opóźnieniem  $ah$ , a długość odcinka decyduje o punkcie rozpoczęcia hamowania. Uzyskana w takich warunkach prędkość maksymalna jest zależna od odległości między przystankami. Promienie łuków na szlakach pozwalają na jazdę z prędkością rzędu 70–80 km/h. Droga hamowania pociągu metra od prędkości maksymalnej do zatrzymania wynosi około 350–450 m, a średnia prędkość pociągów nie przekracza na ogół 35 km/h.



Rys. 1. Prędkość maksymalna na krótkim odcępie międzystacyjny

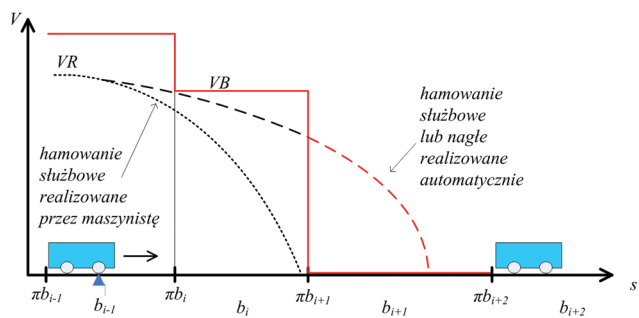
Pociągi różnych producentów charakteryzują się zbliżonymi wartościami opóźnienia hamowania  $ah$ , przyspieszenia rozruchu  $ar$  i prędkości konstrukcyjnej  $VK$  rzędu 90 km/h.

Warunkiem bezpiecznej jazdy pociągów po linii kolejowej jest zapewnienie odpowiedniej odległości między pociągami jadącymi w tym samym kierunku, czemu służy podział linii na odstępy blokowe i przestrzeganie elementarnej zasady kolejowej, że na odcępie blokowym może znajdować się tylko jeden pociąg. Na długość odstępow blokowych wpływają z jednej strony zdolności hamulcowe pociągu, z drugiej założony – czas następstwa pociągów na linii. Powszechnie stosowany minimalny czas na-

stępstwa w warunkach metra wynosi 90 s i taki czas był docelowo przyjęty dla pierwszej linii metra w Warszawie. Przy założeniu wielu stopni prędkości i czasie następstwa równym 90 s długości odstępow blokowych wynoszą od kilkudziesięciu do 300 m.

Przy tak krótkich odstępach blokowych w stosunku do drogi hamowania pociągu prędkość bezpieczna na kolejnych odstępach blokowych przyjmuje coraz mniejsze wartości, układając się w krzywą schodkową; ostatni schodek przed zajęтым odcępie blokowym ma wartość 0. Maszynista powinien prowadzić pociąg tak, aby jego prędkość była zawsze mniejsza od prędkości bezpiecznej. W ten sposób między pociągami jadącymi jeden za drugim, przy maksymalnym zbliżeniu między nimi i prawidłowym prowadzeniu drugiego pociągu, występuje jeden niezajęty odcępie blokowy, tzw. odcępie ochronny.

Na rysunku 2 przedstawiono schodkowy przebieg prędkości bezpiecznej przed zajęтым odcępie blokowym oraz rolę odstępu blokowego ze stopniem prędkości  $VB = 0$ , stanowiącego odcępie ochronny. Wjazd pociągu z jakąkolwiek prędkością w obrębie tego odstępu wymusi włączenie hamowania przez system SOP i zatrzymanie pociągu przed zajęтым odcępie blokowym. Pociąg nie zatrzyma się precyzyjnie przed semaforem, ale wymóg bezpieczeństwa zostanie spełniony.



Rys. 2. Schodkowa krzywa hamowania w metrze przy dojeździe do zajętego odstępu blokowego

Sytuację tę pokazano na rysunku, na którym zaznaczono stopnie prędkości na kolejnych odstępach blokowych. Odcępie  $b_{i+2}$  jest zajęty przez poprzedzający pociąg, odcępie  $b_{i+1}$  jest odcępie ochronnym, a na końcu odstępu  $b_i$  zatrzymuje się pociąg prawidłowo prowadzony przez maszynistę.

Konsekwencją przyjęcia uproszczonego schodkowego przebiegu prędkości bezpiecznej jest realizowanie ograniczenia prędkości nie w punkcie jego obowiązywania, lecz na początku odstępu blokowego, w obrębie którego to ograniczenie występuje. Dotyczy to również zatrzymania przed sygnałem „stój”.

W systemach SOP realizuje się schodkowy przebieg prędkości bezpiecznej przez przypisanie każdemu odcępie blokowemu jednego stopnia prędkości ze zbioru wartości przyjętych dla danej linii metra. W systemie SOP-2 przyjęto 5 stopni prędkości i stałą ich sekwencję – tzn. kolejno następujące po sobie ograniczenia zawsze mają taką samą wartość. W systemie SOP-2P i SOP-3 przyjęto 13 stopni prędkości. Sekwencje prędkości mogą być różne w zależności od usytuowania miejsca ograniczenia prędkości na linii.

Wartości stopni prędkości wypracowywane są w urządzeniach stacjonarnych i przekazywane kanałem transmisyjnym do urządzeń pojazdowych systemu, gdzie następuje porównywanie wartości prędkości rzeczywistej z bezpieczną i wypracowywanie

odpowiednich sygnałów sterujących układami napędowo-hamulcowymi.

## Kanał transmisji z toru do pojazdu w systemach SOP

W systemach SOP jest stosowany przewodowy kanał transmisyjny, którego parametry umożliwiają przekazywanie stosunkowo dużej liczby informacji. Długość obwodu przewodowego w systemie SOP jest równa długości odstępu blokowego, która jest zdefiniowana wymaganą zdolnością przepustową linii metra, a więc założonym czasem następstwa pociągów – 90 s. Przewodowy kanał transmisyjny stosowany w systemach SOP oznacza się jako kanał typu SOP.

Obwód przewodowy jest ułożony symetrycznie względem osi podłużnej toru przy krawędziach kanału odwadniającego. Praktycznie odległość między przewodami wynosi około 0,9 m. Przewody są krzyżowane w środku obwodu w celu eliminacji zakłóceń od prądu trakcyjnego (rys. 3).

Izolacja przewodu transmisyjnego jest niepalna, aby nie przenosić ewentualnie ognia wzdłuż toru. Mocowanie przewodu do podtorza jest wykonane za pomocą kleju, zapinek itp.

Każdy obwód przewodowy jest przypisany do jednego odstępu blokowego i zasilany przez swój nadajnik. Zapewnia to znaczące ograniczenie przenoszenia zakłóceń z jednego odstępu blokowego na odstępy sąsiednie. W nadajniku generowany jest telegram binarny, zawierający przesyłane do urządzeń pojazdowych informacje. Do transmisji używany jest sygnał nośny o częstotliwości 36,6 kHz, kluczowany częstotliwościowo z szybkością 1200 bodów (parametry zalecane przez UIC dla transmisji tor – pojazd). Kanał transmisji przewodowej może współpracować z różnymi urządzeniami kontroli niezajętości toru: z obwodami

torowymi ze złączami tradycyjnymi i rezonansowymi (bezystykowymi), a także z licznikami osi.

## Aktywacja pociągu na odstępie blokowym

Kanał transmisji ciągłej za pomocą obwodu przewodowego wymaga, tak jak każdy kanał niekorzystający z transmisji szynami, wprowadzenia dodatkowego sygnału, jednoznacznie identyfikującego odbiorcę przekazywanych informacji. Sygnał ten dalej jest nazywany sygnałem aktywacji pociągu. Aktywacja pociągu  $A(p_k)$  polega na nadaniu mu zdolności do akceptowania odbieranych informacji. Przekazywane informacje może wykorzystać tylko i wyłącznie pociąg aktywowany  $A(p_k)$  na danym odstępie blokowym. Każdy inny pociąg, który by się znalazł na tym samym odstępie blokowym, nie otrzyma aktywacji. Sygnał aktywujący pociąg musi być przekazany przy wjeździe na odstępek blokowy i jest ważny tylko na tym odstępie. Gdy sygnał aktywujący nie jest ważny, prędkość bezpieczna jest równa 0 km/h.

Przyjęta w systemie SOP zasada aktywacji pociągu jest łatwa do realizacji poprzez przekazywanie do pociągu informacji o stanie niezajętości odstępu blokowego, po którym jedzie pociąg. Aktywacja pociągu charakteryzuje się sygnałem „P”, oznaczającym, że pociąg jest pierwszym na rozważanym odstępie blokowym. Sygnał „P” przekazywany jest przez niezajęty odstępek blokowy. Jeżeli pociąg wjeżdża na niezajęty odstępek, odbierze sygnał „P”, gdyż jest pierwszy na tym odstępie; nastąpi aktywacja i urządzenia pociągowe będą w stanie przetwarzać informacje o prędkości, z którą można jechać po odstępie blokowym. Sygnał „P” można przekazywać poprzez:

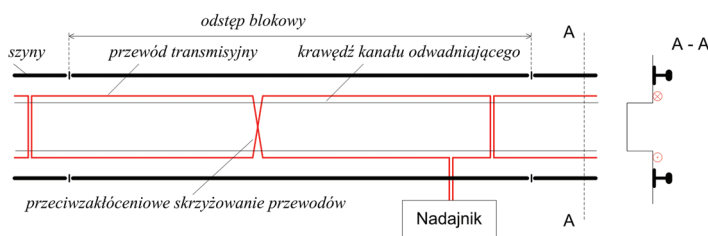
- wysunięcie obwodu przewodowego przed odstępek blokowy,
- opóźnienie czasowe w przekazaniu informacji o stanie niezajętości odstępu blokowego.

Zależnie od potrzeb stosowane jest jedno lub drugie rozwiązanie.

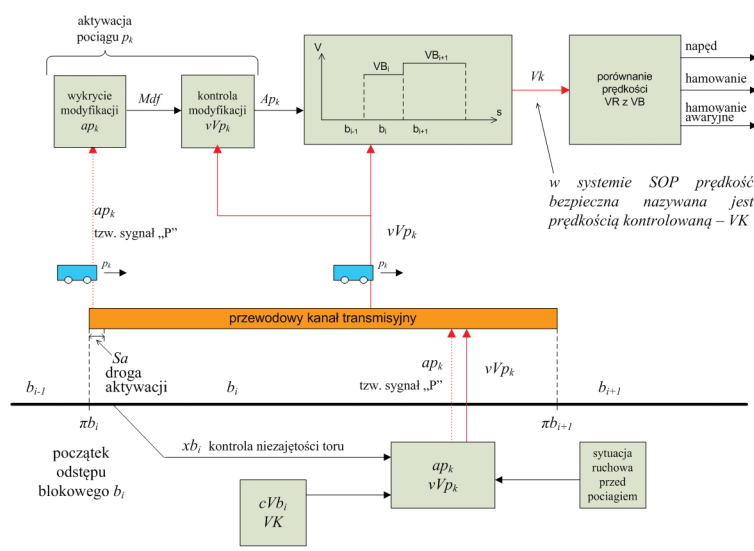
## Opis działania systemów SOP Działanie urządzeń stacyjnych

**Wyznaczenie prędkości dozwolonej.** Naturalnym źródłem informacji o parametrach toru (prędkość dopuszczalna  $cV$ ) i sytuacji ruchowej (prędkość dozwolona  $vV$ ) są urządzenia srk. W warunkach metra na szlakach prędkość dozwolona  $vV$  z reguły jest nie większa od prędkości dopuszczalnej  $cV$  i prędkości konstrukcyjnej pojazdu  $Vk$ , dlatego w systemach SOP przyjęto, że z urządzeń przytorowych wystarczy przekazywać do pojazdu prędkość dozwoloną  $vV(s,t)$ . W wyjątkowych przypadkach, gdyby prędkość dopuszczalna  $cV$  była mniejsza od dozwolonej  $vV$ , na tym odstępie blokowym należałoby zmniejszyć prędkość dozwoloną tak, by nie przekraczała dopuszczalnej.

**Wypracowanie sygnału „P”.** System transmisji wykorzystujący obwód przewodowy musi zapewnić akceptowanie informacji tylko i wyłącznie przez pociąg, dla którego jest przeznaczony. W tym celu stosuje się specjalny sygnał aktywujący (punkt 4), przekazywany z urządzeń przytorowych danego odstępu blokowego do pojazdu  $p_k$ . Aby sprawić, że tylko pojazd  $p_k$  jest zdolny do jazdy na tym odstępie, zarówno sygnał aktywujący, jak i informacja o prędkości dozwolonej muszą zawierać ten sam identyfikator, nazywany w systemach SOP modyfikacją –  $Mdf$ . Zatem z urządzeń przytorowych kolejno muszą być wysyłane telegramy zawie-



Rys. 3. Przewodowy kanał transmisyjny o długości odstępu blokowego – typ SOP



Rys. 4. Schemat obiegu informacji w systemach grupy SOP



rające informacje: najpierw o aktywacji pociągu  $ap_k$  (modyfikacja  $Mdf$  oraz informacja o niezajętości odstępu blokowego), potem o wartości prędkości dozwolonej ( $vV(t)$  oraz modyfikacja  $Mdf$  o tej samej wartości co sygnał  $ap_k$  – rys. 4).

## Działanie urządzeń pojazdowych

**Aktywacja pociągu.** Po wjeździe pociągu na wolny odstęp blokowy pociąg otrzymuje sygnał aktywujący „P” ( $ap_k$ ), który zawiera modyfikację i informację o niezajętości odstępu blokowego. Modyfikacja  $Mdf$  zostaje zapamiętana i przekazana do bloku kontroli modyfikacji (rys. 4). Gdy odbiornik otrzyma informacje o prędkości dozwolonej  $vV(t)$ , jej modyfikacja  $Mdf$  jest porównywana z zapamiętaną modyfikacją sygnału  $ap_k$ . Po stwierdzeniu zgodności modyfikacji sygnał o aktywacji pociągu  $Ap_k$  zostaje wysłany do bloku prędkości bezpiecznej  $VB$ .

Przerwa w odbiorze sygnału o prędkości dozwolonej  $vV(t)$  lub odebranie tego sygnału, ale o innej modyfikacji (np. zakłócenia, przesłuchy itp.), powoduje unieważnienie sygnału aktywacji aż do czasu wjazdu pociągu na następny odstęp blokowy i otrzymanie na tym odstępie nowego sygnału aktywującego.

**Prędkość bezpieczna.** W systemach grupy SOP przyjęto, że prędkość bezpieczna  $VB$  jest równa prędkości dozwolonej  $vV(t)$  pod warunkiem, że pociąg posiada aktywację  $VB(s,t) = vV(s,t) \& Ap_k$ . W systemach SOP prędkość bezpieczna wypracowana przez urządzenia pojazdowe nazywana jest prędkością kontrolowaną  $Vk$ .

**Kontrola prędkości.** Prędkość bezpieczna  $VB(s,t)$  wraz z prędkością rzeczywistą  $VR(s,t)$  są przekazywane do bloku porównania prędkości. Zależnie od wyniku porównania ich wartości pociąg może jechać z włączonym napędem, wybiegiem, załączonym hamowaniem służbowym lub nagłym.

## Struktura urządzeń systemów SOP

### Zespoły nadajnika

Nadajnik systemu SOP składa się z trzech podstawowych zespołów: koder, bezpiecznego komparatora oraz układu wyjściowego.

**Koder.** Dwukanałowy koder generuje telegramy 37- lub 47-bitowe. Telegram zawiera ciąg synchronizujący, ciąg informacyjny i ciąg kontrolny dla kodu o odstępie Hamminga  $d_{\min} = 4$ , zabezpieczającego przed błędami w transmisji. Sygnał z koder jest wysyłany z szybkością 1200 bodów.

**Komparator bezpieczny.** W bezpiecznym komparatorze następuje porównanie poszczególnych bitów telegramów przychodzących z obu kanałów koder. Po stwierdzeniu zgodności telegramów następuje przekazanie sygnału cyfrowego do układu modulatora. W przypadku stwierdzenia niezgodności telegramów komparator bezpieczny wyłącza transmisję sygnału do przewodowej pętli nadawczej.

**Układ wyjściowy.** Układ wyjściowy w nadajniku zawiera modulator i wzmacniacz mocy. Sygnał cyfrowy (telegram) z komparatora bezpiecznego z szybkością 1200 bodów kluczuje sygnał nośny o częstotliwości 36,6 kHz. Na wyjściu modulatora uzyskuje się sygnał o częstotliwościach 36,0 lub 37,2 kHz. Sygnał ten jest następnie wzmacniany w układzie dopasowanym elektrycznie do impedancji wejściowej obwodu pętli nadawczej.

### ■ Zespoły odbiornika

Podstawowe zespoły odbiornika to: układ wejściowy, dekodery, układ wypracowania prędkości bezpiecznej, układ porównania prędkości rzeczywistej z bezpieczną.

**Układ wejściowy.** Układ wejściowy składa się z anteny odbiorczej, wzmacniacza i demodulatora. Antenę stanowią dwie cewki odbiorcze, umieszczone przed pierwszą osią pociągu nad przewodami obwodu transmisyjnego. Wzmacniacz wejściowy dopasowany elektrycznie do anten odbiorczych doprowadza do układu demodulatora sygnał o odpowiedniej mocy. Na wyjściu demodulatora uzyskuje się sygnał zero-jedynkowy w formie telegramu.

**Dekoder.** Dwukanałowy układ dekodera służy do sprawdzenia prawidłowości odebranych bitów telegramów zgodnie z zasadami przyjętego kodu. Po zdekodowaniu telegramów następuje sprawdzenie zgodności w co najmniej trzech kolejnych telegramach i głosowanie większościowe typu 2 z 3. Tak opracowane telegramy, niezależnie w każdym kanale, zostają porównywane w układzie komparatora bezpiecznego. Przy zgodności bitów w obu kanałach układ komparatora przekazuje telegram do układów aktywacji i prędkości bezpiecznej.

**Układ wypracowania prędkości bezpiecznej.** Układ pracuje zgodnie z omówioną zasadą aktywacji pociągu i ustalania wartości prędkości bezpiecznej.

**Układ porównania prędkości rzeczywistej z bezpieczną.** Do układu doprowadzone są sygnały odpowiadające prędkości bezpiecznej (z układu jej wypracowywania) i prędkości rzeczywistej (z pojazdowych układów pomiarowych). Wynik porównania tych prędkości, zgodnie z przyjętą w systemie zasadą i histerezą, decyduje o pojawiających się na wyjściu układu sygnałach sterujących odłączaniem napędu oraz włączaniem i wyłączaniem hamowania.

### Pulpit maszynisty

Bardzo ważnym blokiem urządzeń pojazdowych jest pulpit w kabine maszynisty, który zapewnia komunikację między maszynistą a urządzeniami SOP i pojazdem. Pulpit pierwszego systemu SOP-2 jest prosty i przedstawia tylko informacje o systemie: prędkość, z jaką pociąg może jechać, prędkość rzeczywistą, stan zajętości odstępów blokowych między pojazdem a następną stacją, informację o transmisji z toru oraz przycisk umożliwiający tzw. jazdę na widoczność z prędkością do 20 km/h w przypadku braku transmisji. Pulpit ten (rys. 5) jest stosowany w pociągach rosyjskich typu 81 i pociągach Metropolis firmy Alstom.



Rys. 5. Pulpit maszynisty systemu SOP-2 w pociągach typu 81 i Metropolis

Te same informacje są prezentowane na pulpitych SOP-2P (rys. 6) i SOP-3 (rys. 7).

Pulpity te, jako chronologicznie późniejsze, są wykonane w postaci wyświetlacza z ekranem dotykowym. Oprócz danych z systemu SOP wyświetla się na nich wiele innych informacji o pociągu.



Rys. 6. Pulpit maszynisty systemu SOP-2P w pociągu 81M w Pradze



Rys. 7. Pulpit maszynisty systemu SOP-3 w pociągu Inspiro

## Współpraca systemu z urządzeniami srk

Współpraca urządzeń srk z systemem SOP polega na wytworzeniu informacji o prędkości dozwolonej, przekazywanej kanałem transmisyjnym do urządzeń SOP. System SOP może współpracować z dowolnymi urządzeniami srk, które kontrolują stan zajętości toru: obwodami torowymi czy licznikami osi.

Najprostszym rozwiązaniem jest wyznaczenie dla każdego nadajnika zestawu informacji o prędkości dozwolonej w oparciu o sytuację ruchową za pomocą zestyków przekaźników obwodów torowych i ewentualnie utwierżeń i kontroli świateł. W niektórych przypadkach występuje brak odpowiedniej liczby zestyków określonego przekaźnika i wówczas należy wprowadzać powtarzające tych przekaźników. Taki sposób tworzenia informacji zastosowano w systemie SOP-2 przy urządzeniach przekaźnikowych srk.

Poszczególne wersje systemów SOP różnią się między sobą liczbą stopni prędkości oraz sposobem ich wypracowywania. Każda kolejna wersja systemu wykorzystuje najnowsze dostępne elementy elektroniczne. Natomiast ogólna struktura logiczna systemu, sposoby zapewnienia bezpieczeństwa w układach nadajnika i odbiornika, a szczególnie kanał transmisyjny, są takie same we wszystkich wersjach systemów SOP.

System SOP nie wymaga stosowania semaforów odstępowych blokady samoczynnej, jednakże jeżeli istniejący system srk na linii metra jest w nie wyposażony, system uwzględnia je przy wypracowaniu prędkości dozwolonej.

## Współpraca systemu z pojazdami

Systemy SOP mogą współpracować z różnego typu pociągami (wagonami) metra, a ściślej – z różnym rodzajem napędu (silnik trakcyjny i jego sterowanie). SOP-2 na I linii metra w Warszawie współpracuje z wagonami rosyjskimi typu 81 z silnikami prądu stałego i rozruchem oporowym oraz z wagonami firmy Alstom typu Metropolis z silnikami prądu przemiennego. System SOP-2P na linii A metra w Pradze współpracuje ze zmodernizowanymi przez firmę Skoda wagonami rosyjskimi typu 81M z silnikami prądu stałego i rozruchem impulsowym.

System SOP-3 będzie zainstalowany w wagonach firmy Siemens typu Inspiro z silnikami prądu przemiennego, produkowanych w Polsce w firmie NeWag. Wagony te będą przystosowane do jazdy zarówno na I, jak i na II linii metra.

## Podsumowanie

Warto raz jeszcze wymienić najistotniejsze właściwości i parametry charakteryzujące opracowane w Polsce systemy grupy SOP.

- System SOP charakteryzuje się kanałem transmisyjnym typu SOP (złożonym z obwodu przewodowego o długości równej długości odstępów blokowych) oraz sygnałem „P”, aktywującym pierwszy pociąg na odstępach blokowych.
- Przekazywane sygnały są kodowane, sygnał nośny w kanale transmisyjnym jest modulowany cyfrowo.
- Systemy współpracują z różnymi urządzeniami kontroli niezajętości toru oraz z pociągami z różnymi układami napędowo-hamulcowymi.
- Z urządzeń przytorowych są wysyłane dwa sygnały: sygnał aktywujący pociąg, gdy odstęp blokowy jest niezajęty, oraz sygnał o prędkości dozwolonej, której wartość uwzględnia stałe parametry toru i pojazdu oraz zmienną sytuację ruchową.
- Systemy pracują w oparciu o schodkową krzywą prędkości bezpiecznej. W urządzeniach pojazdowych po sprawdzeniu, czy sygnały aktywujący i sygnał o prędkości dozwolonej dotyczą tego samego odstępów blokowych (mają taką samą modyfikację), następuje wypracowanie wartości prędkości kontrolowanej (bezpiecznej) dla całej długości odstępów.
- Systemy SOP automatycznie zmniejszają prędkość pociągu w przypadku przekroczenia prędkości kontrolowanej.
- Obwód przewodowy o długości odstępów blokowych znacząco ogranicza przenoszenie usterek i zakłóceń z jednego obwodu do sąsiednich.

W kolejnych wersjach systemu SOP, odpowiednio do rozwoju techniki, stosowane są aktualnie najnowsze elementy i podzespoły.

Obecnie eksploatowane są następujące systemy SOP: na I linii metra w Warszawie – SOP-2, na linii A metra w Pradze – SOP-2P; dla II linii metra w Warszawie przygotowany jest system SOP-3.



## Literatura

- [1] *Sterowanie ruchem na torach*. Politechnika dla Przemysłu, dodatek do Politechnika Warszawska 10/2008.