

Sławomir Barański, Henryk Karbowski

# Systemy automatycznego ograniczania prędkości ATP na sieci kolei i w metrze – analiza procesów

**Bezpieczeństwo ruchu kolejowego, w szczególności ruchu pociągu zależy od dwóch ludzi: dyżurnego ruchu, który zarządza ruchem wielu pociągów i manewrów na określonym obszarze sieci kolejowej oraz maszynisty, który prowadzi określony pojazd, w tym pociąg. Dyżurny ruchu z nastawni zarządza (steruje) ruchem na obszarze kolei (stacje, linia), który musi być i jest wyposażony w urządzenia (systemy) sterowania ruchem kolejowym – srk. Zadaniem systemów (urządzeń) srk jest zapewnienie bezpiecznego ruchu pojazdów na rozważanym obszarze oraz wymaganej zdolności przepustowej linii i stacji.**

Maszynista musi prowadzić pociąg (ogólniej pojazd trakcyjny) bezpiecznie oraz w miarę możliwości zgodnie z planem (rozkładem jazdy). Bezpieczeństwo ruchu maszynista realizuje przez obserwację sygnałów na semaforach i znajomość parametrów toru oraz pojazdu, określa prędkość zwaną dalej prędkością bezpieczną, zależną od drogi i czasu. Bezpieczeństwo ruchu pociągu jest zapewnione wówczas, gdy prędkość rzeczywista pociągu w każdym punkcie drogi i chwili czasu jest nie większa od prędkości bezpiecznej. Maszynista musi zatem tak regulować załączeniem napędu i hamulców, aby ten warunek był spełniony (rys. 1 – gałąź a).

Klasyczne urządzenia srk [4] sterują światłami na semaforach, a maszynista obserwuje te światła i na ich podstawie prowadzi pociąg. Jednak widoczność semafora jest zależna od wielu czynników, w tym warunków atmosferycznych, pory dnia itp., a także od stanu percepcji maszynisty. Podejmowanie przez maszynistę decyzji na podstawie obserwacji sygnałów na semaforach oraz znajomości parametrów toru i pojazdu jest obciążone niedoskonałością człowieka. Dlatego wprowadza się – niezależnie od obserwacji semaforów przez maszynistę – urządzenia lub systemy, których celem jest wspomaganie maszynisty, aż do całkowitego jego zastąpienia w zakresie bezpiecznego prowadzenia pociągu. Urządzenia lub systemy stawiają maszyniście wymagania, wynikające z parametrów toru i pojazdu, które maszynista musi spełniać zarówno w określonych punktach drogi, jak i na całej drodze jazdy pociągu. Jeżeli maszynista tych wymagań nie spełnia, wówczas najczęściej następuje automatyczne odłączenie napędu, włączenie hamowania służbowego lub nagłego.

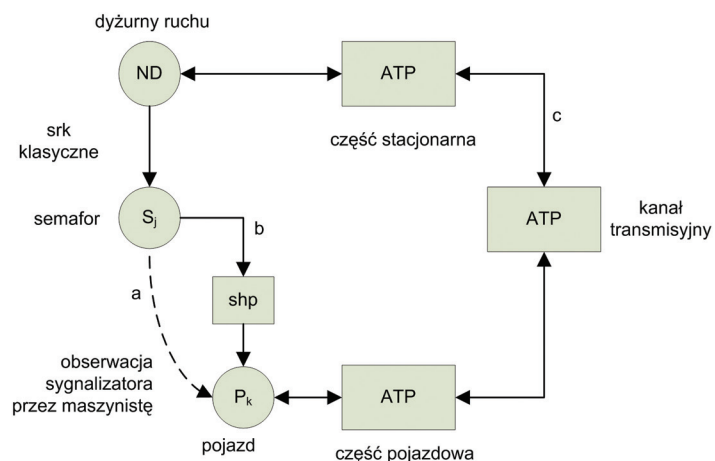
Urządzenia starszej generacji, wspomagające maszynistę w zakresie bezpiecznego prowadzenia pociągu, działają na podstawie informacji o prędkości dozwolonej [11] zależnej od stanu semaforów lub tarcz ostrzegawczych. Informacje te są przekazywane punktowo – więc ich aktualność jest ograniczona tylko do punktu przekazy-

wania – za pomocą elektromagnesów umieszczonych przed sygnalizatorami lub w sposób ciągły za pomocą obwodów torowych. Jeżeli prędkość rzeczywista pociągu przekracza dozwoloną, następuje samoczynne włączenie hamowania nagłego. Prędkość bezpieczna jest wyznaczana przez maszynistę na podstawie przekazywanych informacji i znajomości parametrów toru i pojazdu. Urządzenia te w artykule są nazywane samoczynnym hamowaniem pociągu SH P (rys. 1 – gałąź b).

Urządzenia nowej generacji, zwane dalej systemami automatycznego ograniczania prędkości, same wyznaczają prędkość bezpieczną na podstawie tych samych parametrów, które uwzględniał maszynista. Ponadto automatycznie ograniczają prędkość pociągu do wartości nie większej od prędkości bezpiecznej (rys. 1 – gałąź c).

System automatycznego ograniczania prędkości pociągu w języku angielskim jest oznaczany jako ATP (*automatic train protection*), w języku polskim obok określenia automatyczne ograniczenie prędkości [4, 7] występuje również nazwa kontrola bezpiecznej jazdy [5]. Wydaje się, że pierwsze określenie lepiej oddaje istotę działania systemu, ponieważ system nie tylko musi kontrolować jazdę pociągu przez porównywanie prędkości rzeczywistej z bezpieczną, lecz również podawać w jaki sposób jest realizowana bezpieczna jazda pociągu. Z tych względów proponuje się przyjąć określenie systemu automatycznego ograniczania prędkości i używać skrótu ATP. Wydaje się to rozwiązaniem rozsądnym, a skrót ATP ułatwia porozumiewanie się we współpracy z zagranicą.

Prowadzenie pociągu zgodnie z planem i racjonalnie umożliwiają urządzenia automatycznego prowadzenia pociągu ATO (*automatic train operation*), które w zależności od potrzeb, głównie w metrze, zapewniają automatycznie realizację energooszczędnej jazdy, hamowanie docelowe pociągu przy peronie, itp. Systemy



Rys. 1. Wspomaganie maszynisty w bezpiecznym prowadzeniu pociągu

ATP i ATO łącznie stanowią system ATC (*automatic train control*), zapewniający automatyczne sterowanie pociągiem. Systemy automatycznego sterowania pociągiem powstały w wyniku rozwoju systemów sterowania ruchem kolejowym srk.

Podstawowym zadaniem systemu ATP jest zapewnienie bezpiecznej jazdy pociągu przez ciągłe, w każdym punkcie drogi s i chwili czasu  $t$ , automatyczne porównywanie prędkości rzeczywistej pociągu  $VR(s,t)$  z prędkością bezpieczną  $VB(s,t)$  i zapewnienie, aby zawsze był spełniony warunek bezpiecznej jazdy  $VR(s,t) \leq VB(s,t)$ .

Prędkość bezpieczna pociągu na odstępie drogi (blokowym) –  $b$ , jest zdeterminowana:

- prędkością dopuszczalną drogi, stałą (*constants*) w czasie, wynikającą z parametrów stałych toru (promienie łuków, pochylenia itp.), oznaczaną dalej  $cVb_i(s)$ ;
- prędkością dozwoloną [11], zmienną (*variable*) w czasie, wynikającą z sytuacji ruchowej (wskazania sygnalizatorów), oznaczaną dalej  $vVb_i(t)$ ;
- prędkością konstrukcyjną pociągu  $Vk$  i opóźnieniem hamowania  $ah$ .

Współczesne systemy automatycznego ograniczania prędkości ATP, poprzedzone były prostszymi rozwiązaniami, uzależnionymi od stosowanego kanału transmisyjnego i zakresu kontrolowanej prędkości. Również i właściwości nowoczesnych systemów (urządzeń) automatycznego ograniczania prędkości zależą zdecydowanie od kanału transmisyjnego i jego parametrów. Dlatego w dalszej części zostaną omówione urządzenia automatycznego ograniczania prędkości z jednym kanałem transmisyjnym punktowym lub ciągłym i współczesne systemy z dwoma kanałami transmisyjnymi – punktowym i ciągłym. Informacje stałe przekazywane są w sposób punktowy na początku odstępów blokowych, a informacje zmienne w czasie w sposób ciągły na całej długości odstępów blokowych.

Dla zapewnienia bezpiecznej jazdy pociągu wiele zarządów kolejowych i metra wyposaża lokomotywy (pojazdy trakcyjne) w systemy (urządzenia) o różnym zakresie realizacji funkcji automatycznego ograniczania prędkości. Zawsze jednak zapewniają one nieprzekraczanie prędkości bezpiecznej przez ciągłe jej porównywanie z prędkością rzeczywistą.

## Urządzenia samoczynnego hamowania pociągu

### Urządzenia z punktowym przekazywaniem informacji

Pierwszymi urządzeniami były czuwaki aktywne o programie czasowym lub drogowym. Czuwak aktywny o programie czasowym, co określony odstęp czasu w zupełnie dowolnym i przypadkowym miejscu znajdowania się pociągu, generuje sygnał, na ogół akustyczny, który wymusza na maszyniści naciśnięcie i zwolnienie tzw. przycisku czuwania. Jeśli maszynista nie wykona żądanej czynności, urządzenie włącza hamowanie nagłe pociągu.

Czuwak aktywny o programie drogowym wymaga stosowania zarówno urządzeń przytorowych, jak i pojazdowych. Urządzenia przytorowe (np. elektromagnesy) są lokalizowane w pewnej odległości (na sieci PKP jest to 200 m) przed każdym semaforem lub tarczą ostrzegawczą i są one niezależne od wskazań sygnalizatora. Przejazd pociągu nad elektromagnesem torowym powoduje wygenerowanie w kabinie maszynisty sygnału akustycznego – optycznego, który podobnie jak w czuwaku o programie czasowym wymusza na maszyniście obsługę przycisku czuwania. W przypadku braku reakcji maszynisty urządzenia włączają hamowanie

nagłe pociągu. Czuwak o programie drogowym jest lepszym rozwiązaniem, ponieważ sprawdza gotowość maszynisty w niewralgicznych punktach drogi (głównie przed sygnalizatorami), a nie w przypadkowo wybranych momentach. Tradycyjne pojazdy trakcyjne są powszechnie wyposażane w czuwak aktywny o programie czasowym lub drogowym (np. Polska – SHP).

Najprostszymi rozwiązaniem urządzeń z punktowym przekazywaniem informacji są rozwiązania jednopunktowe, z jednokierunkowym przekazywaniem informacji z toru do pojazdu. Urządzenia przytorowe składają się z dwóch elektromagnesów, jeden umieszczony przed semaforem, a drugi przed tarczą ostrzegawczą, ściślej przed sygnalizatorem wskazującym sygnał ostrzegający. Urządzenia przytorowe, tj. elektromagnesy, są uzależnione od stanu sygnalizatorów – przekazują do pojazdu informacje o stanie sygnalizatora. Elektromagnesy z reguły są dostrojone do dwóch, trzech częstotliwości, odpowiadających stanom sygnalizatora – stój, wolna droga, wolna droga z ograniczoną prędkością. Praktycznie nie przekazuje się informacji o parametrach toru kolejowego.

Punktowa wymiana informacji następuje wówczas, gdy elektromagnes pojazdowy znajduje się nad elektromagnesem torowym. Główną wadą tych urządzeń jest aktualność informacji tylko w punkcie jej przekazywania, ich aktualizacja w pociągu następuje co czas  $\tau = Sb_i/VR$ , zależny od odległości między elektromagnesami – najczęściej równej odstępowi blokowemu i od prędkości pociągu. Przykładowo przy odległości między elektromagnesami 1000 m i prędkości pociągu 120 km/h jest to 30 s. Nie miałyby to znaczenia w przypadku przekazywania informacji stałych, lecz w przypadku informacji zmiennych brak ich aktualizacji może powodować kłopoty eksploatacyjne, a w pewnych przypadkach doprowadzać do sytuacji zagrożenia bezpieczeństwa ruchu. Wprowadzenie co najmniej jednego dodatkowego elektromagnesu na odstępie blokowym umożliwiłoby złagodzenie niedogodności punkowego przekazywania informacji.

System trzypunktowy INDUSI, wprowadzony na kolejach niemieckich w latach 30. XX w., jest przykładem rozbudowy urządzeń punktowych o dodatkowy, trzeci elektromagnes oraz urządzenia kontroli prędkości. Jadący pociąg jako pierwszy mija elektromagnes umieszczony przed tarczą ostrzegawczą, następny elektromagnes jest umieszczony w odległości 150 do 250 m przed semaforem, a ostatni tuż przed semaforem. Gdy pociąg zbliża się do semafora wskazującego sygnał stój lub ograniczenie prędkości, dwukrotnie jest kontrolowana prędkość rzeczywista pociągu. Pierwsza kontrola prędkości następuje po upływie określonego czasu, liczonego od chwili minięcia elektromagnesu przy tarczy ostrzegawczej. Druga kontrola prędkości jest wykonywana przy przejeździe nad środkowym elektromagnesem. Dla zwiększenia dokładności zatrzymania pociągu przed semaforem wprowadzono trzy rodzaje pociągów klasyfikowanych według ich prędkości i masy: pospieszny – P, osobowy – O, towarowy – T. Wybór nastawienia rodzaju pociągu dokonuje maszynista przed wyjazdem ze stacji początkowej (postojowej). Dla każdego rodzaju pociągu przyjęto różny czas i różne wielkości kontrolowanych prędkości.

Dodatkowy elektromagnes umieszczony przed semaforem, jak i czasowa kontrola prędkości łagodzą ewentualne kłopoty eksploatacyjne i zbliżają system INDUSI do wymogów współczesnych systemów. Jednak nie eliminują problemów aktualności

przekazywanej informacji, gdy pociąg znajduje się między elektromagnesami.

## Urządzenia z ciągłym przekazywaniem informacji obwodem torowym

Ciągłe przekazywanie informacji z urządzeń przytorowych do pojazdu, w najstarszych rozwiązaniach odbywało się z wykorzystaniem obwodu torowego jako najbardziej naturalnego kanału transmisyjnego. Przekazanie informacji następuje w wyniku sprzężenia magnetycznego szyn (jeden zwój rozłożony wzdłuż toru), stanowiących antenę nadawczą z anteną odbiorczą (wiele zwojów) umieszczoną pod pudłem pojazdu trakcyjnego, przed jego pierwszą osią. Ze względu na własności anteny nadawczej (jeden zwój) transmisja informacji jest tylko jednokierunkowa, tj. tylko tor – pojazd.

Pierwsza oś pociągu wjeżdżającego na obwód torowy powoduje:

- zwieranie elektryczne jednej szyny z drugą, umożliwia to wykrycie przez urządzenia srk zajęcia toru;
- prąd z zakodowaną informacją płynie od nadajnika jedną szyną, następnie pierwszą osią pojazdu i drugą szyną.

Oznacza to, że antena odbiorcza pojazdu musi być umieszczona przed pierwszą osią, a przekazywana informacja jest odbierana tylko i wyłącznie przez pierwszy pociąg. Nie ma więc problemu z adresowaniem informacji oraz wykluczeniem możliwości odbioru sygnału przez inny pociąg, który mógłby się znaleźć na tym samym torze.

Parametry sygnału przekazującego informację z toru do pociągu są ograniczone tłumiennością sygnału, która jest szczególnie duża w tradycyjnym torze. Tor ten jest zbudowany z odcinków szyn, połączonych ze sobą złączami łukowymi (dla zachowania parametrów mechanicznych toru) i łącznikami elektrycznymi dla zmniejszenia impedancji wzdłużnej toru. Szyny są ułożone na podkładach, a te na podsypce, której warstwa jest często niewystarczająca i zanieczyszczona. Również nie zawsze jest zapewnione odprowadzenie wody z podtorza.

Bardzo uciążliwe w eksploatacji tradycyjnego obwodu torowego i tym samym ciągłej transmisji informacji są złącza izolowane, które elektrycznie oddzielają od siebie kolejne obwody torowe. Na liniach zelektryfikowanych dodatkowo należy stosować dławiki torowe, umożliwiające dwutokowy przepływ powrotnego prądu trakcyjnego z pojazdu do podstacji trakcyjnej.

Wymienione niedogodności eksploatacyjne w torze tradycyjnym zachęciły do szukania innych rozwiązań w zakresie kontroli zajęcia toru. Wprowadzono układy czujników i liczników osi. Liczniki osi nie kontrolują ciągłości mechanicznej toru, dlatego powinny być stosowane co najwyżej w torach głównych dodatkowych i umieszczonych w nich rozjazdach, a nie w ciągach torów głównych zasadniczych (wraz z rozjazdami).

Obwodami szynowymi we wszystkich znanych rozwiązaniach przekazuje się prędkość dozwoloną  $vVb_i(t)$  zmienną w czasie, zależną od wskazań sygnalizatorów. Transmisja informacji obwodem szynowym w tradycyjnym torze kolejowym, ze względu na duże tłumienie sygnału, odbywa się na częstotliwości nośnej ograniczonej do kilkuset Hz. Sygnał nośny jest niemodulowany, np. w systemie ARS (głównie metro w Rosji) lub jest kluczowany różnymi długościami impulsów – starsze rozwiązania na kolejach Rosji, Węgier, Czech.

## Systemy automatycznego ograniczania prędkości ATP

### Podstawy systemów ATP

Bezpieczeństwo ruchu pociągu osiąga się przez przestrzeganie zasady, aby na określonym odcinku toru, zwanym odstępem blokowym i oznaczanym  $b_i$  znajdował się tylko jeden pociąg. Granicę odstepu blokowego  $b_i$  wyznaczają semafor (jeśli są stosowane). Wjazd następnego pociągu na rozważany odstęp blokowy  $b_i$  jest możliwy tylko wówczas, gdy poprzedni pociąg opuści ten odstęp.

Podstawowym zadaniem systemu ATP jest zapewnienie, aby prędkość rzeczywista pociągu w każdym punkcie drogi  $s$  i chwili  $t$  nie przekraczała prędkości bezpiecznej  $VB(s,t)$ . Prędkość bezpieczna  $VB(s,t)$  jest zdeterminowana sytuacją ruchową, parametrami toru oraz pojazdu.

Sytuację ruchową charakteryzuje prędkość dozwolona [11]  $vVb_i(t)$ , zależna od wskazań semafora, ogólniej od rozmieszczenia innych pojazdów na torze przed pojazdem rozważanym. Źródłami tych informacji są stan niezajętości toru i stan urządzeń srk. Odstęp blokowy  $b_i$  (tor) charakteryzuje prędkość dopuszczalna stała w czasie –  $cVb_i(s)$ , która zależy od geometrii toru (łuki, krzywe przejściowe, przechyłki toru, profil itd.). Informacje te dotyczą określonego odstepu blokowego  $b_i$  i może je wykorzystać tylko i wyłącznie jeden pociąg –  $p_k$ , znajdujący się na tym odstepie blokowym a nie żaden inny, nawet gdyby się również znalazł na tym odstepie. Pojazd charakteryzują: prędkość konstrukcyjna –  $Vk$ , stała w czasie, opóźnienie hamowania  $ah(V)$ , zależne od prędkości, prędkość rzeczywista pociągu  $VR(s,t)$  zmienna w czasie i drodze.

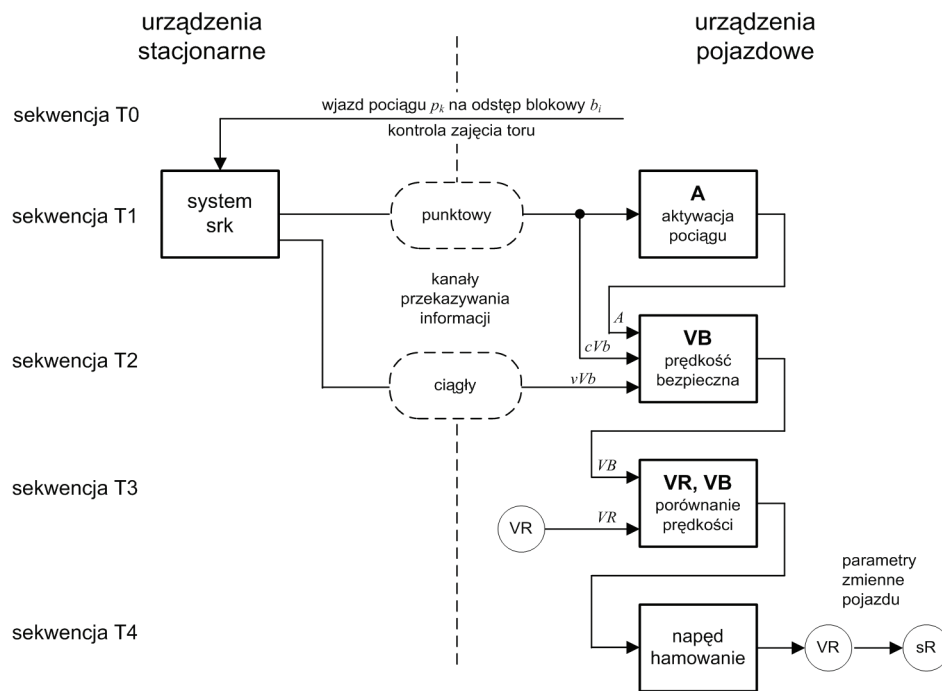
W warunkach metra występują te same parametry charakteryzujące tor, sytuację ruchową i pojazd. Jednakże specyficzną cechą metra jest znacznie mniejszy zakres zmienności tych parametrów. Prędkość maksymalna z reguły jest rzędu 90–100 km/h (niekiedy do 110 km/h) – jest ona zdeterminowana stosunkowo niedużymi odległościami między przystankami (średnio około 800 m). Tabor stosowany w metrze można uznać za jednorodny, mimo różnych producentów, ma on zbliżone parametry ruchowe – szczególnie opóźnienie hamowania.

Prędkość bezpieczna przyjmuje najmniejszą wartość z trzech składowych: prędkości dopuszczalnej –  $cVb_i(s)$ , prędkości dozwolonej –  $vVb_i(t)$  oraz prędkości konstrukcyjnej pojazdu  $Vk$ .

$$VBb_i(s,t) = \min[cVb_i(s), vVb_i(t), Vk]$$

Krzywa prędkości bezpiecznej wyznaczana według powyższego wyrażenia nazywana jest krzywą statyczną, ponieważ nie uwzględnia własności dynamicznych pojazdu, reprezentowanych przez opóźnienie hamowania. Rozwiązania systemów ATP z krzywą statyczną prędkości bezpiecznej wymagają stosowania za semaforem wskazującym sygnał stój odstepu ochronnego (tamponu).

Jeżeli prędkość bezpieczna uwzględnia opóźnienie hamowania  $ah$ , wówczas krzywa  $VB(s,t)$  jest określana jako dynamiczna. Krzywa ta może być podawana w postaci krzywej schodkowej lub ciągłej. Krzywa schodkowa zapewnia zatrzymanie pociągu w odległości równej długości schodka przed semaforem wskazującym sygnał stój. Rozwiązania systemów ATP z krzywą schodkową prędkości bezpiecznej są prostsze układowo, ale utrudniają dojazd pociągu do semafora wskazującego sygnał stój. Tego typu rozwiązania spotykane są w metrze ze względu na stosunkowo



Rys. 2. Sekwencje działania systemu ATP po wjechaniu pociągu na nowy odstęp blokowy

Źr.: opracowanie własne

nieduże długości odstępów blokowych rzędu 100–300 m. Krzywa ciągła umożliwia dojazd pod kontrolą systemu ATP do semafora z sygnałem stój. Obie krzywe zapewniają kontrolę prędkości pociągu w fazie hamowania [5, 7]. Jest to korzystne przy długich odstępach blokowych, tj. w warunkach kolei.

### Aktywacja pociągu na odśpięcie blokowym

Zgodnie z zasadą bezpiecznego ruchu na odśpięcie blokowym  $b_i$  może znajdować się jeden pociąg –  $p_k$ . Tylko ten pociąg, a nie żaden inny, może nabyć zdolność do wykorzystywania przekazywanej informacji o odśpięcie blokowym  $b_i$ . Nadanie pociągowi  $p_k$  tej właściwości nazwano aktywacją  $A$  pociągu  $p_k$  na odśpięcie blokowym  $b_i$  i aktywowany pociąg oznaczono  $p_kAb_i$ .

Do aktywowania pociągu  $p_kAb_i$  tylko na odśpięcie  $b_i$  niezbędne jest przestanie w punkcie początkowym odśpięcia blokowego –  $\pi b_i$  następujących informacji: nazwa odśpięcia  $b_i$ , jego długość  $Sb_i$  i współrzędna początku odśpięcia –  $g\pi b_i$ . Na podstawie tych danych w pociągu następuje uruchomienie pomiaru drogi rzeczywistej  $sRb_i$ , którą przebywa pociąg w czasie jazdy po rozważanym odśpięciu  $b_i$ . Długość rzeczywista drogi  $sRb_i$  jest porównywana z długością odśpięcia  $Sb_i$ . Dopóki  $sRb_i < Sb_i$  oznacza to, że pociąg znajduje się na odśpięciu  $b_i$ . Pomiar drogi rzeczywistej na odśpięciu  $sRb_i$  jest jednym z warunków aktywowania pociągu. Drugim warunkiem jest sprawdzenie, że pociąg wjechał na wolny odśpięcie blokowy. Należy zatem w punkcie początkowym odśpięcia blokowego przekazać do pociągu stan niezajętości odśpięcia blokowego oznaczony jako  $\{w\}$ . Przekazywaną informację oznaczono dalej  $x\pi b_i(t) = \{w\}$ .

Zatem dla aktywacji pociągu należy na początku odśpięcia blokowego przekazać następujący zestaw informacji:  $b_i$ ,  $Sb_i$ ,  $g\pi b_i$  oraz  $x\pi b_i(t) = \{w\}$ .

Informacja stała o współrzędnej początku odśpięcia blokowego  $g\pi b_i$  musi być przekazana w sposób punktowy na początku odśpięcia, ponieważ stanowi punkt odniesienia dla uruchomienia

w pojeździe pomiaru rzeczywistej drogi przebytej przez pociąg na długości odśpięcia blokowego  $sRb_i$ . Pozostałe informacje stałe również mogą i powinny być przekazywane w sposób punktowy, ponieważ nie ma uzasadnienia do przekazywania ich w sposób ciągły na całej drodze jazdy pociągu.

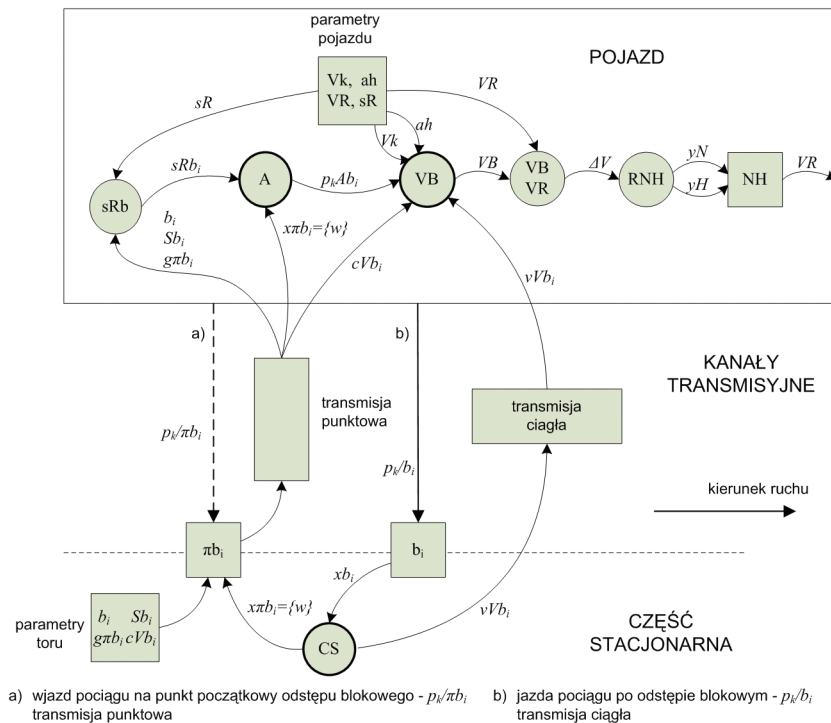
W sposób ciągły, tj. na całej długości drogi jazdy pociągu, musi być przekazywana informacja o prędkości dozwolonej  $vVb_i(t)$ , wskazywanej przez sygnalizatory.

Działanie systemu ATP odbywa się w następujących po sobie, cyklicznie powtarzanych na kolejnych odśpięciach blokowych, sekwencjach:

- sekwencja T0 – wjazd pociągu  $p_k$  na odśpięcie blokowy  $b_i$  i możliwość wymiany informacji między torem a pociągiem;
- sekwencja T1 – aktywacja  $A$  pociągu  $p_k$  na odśpięciu blokowym  $b_i - p_kAb_i$ , czyli umożliwienie akceptacji odbieranych informacji tylko i wyłącznie przez pociąg, dla którego one są przeznaczone;
- sekwencja T2 – wypracowywanie prędkości bezpiecznej  $VB$ , z uwzględnieniem aktywacji, informacji odebranych z toru i parametrów pociągu;
- sekwencja T3 – ciągłe porównywanie prędkości rzeczywistej  $VR$  z prędkością bezpieczną  $VB$ ;
- sekwencja T4 – sterowanie układem napędowo-hamulcowym pociągu, zależnie od wyników porównania z poprzedniej sekwencji.

Zgodnie z tymi rozważaniami system ATP powinien się składać z następujących bloków (układów):

- urządzenia przytorowe przygotowujące informacje dla pojazdu;
- kanału transmisyjnego, który zapewnia wymianę informacji między urządzeniami przytorowymi a pojazdem;
- układu aktywacji zapewniającego akceptację odebranych informacji na pojeździe;
- układów wypracowujących prędkość bezpieczną zarówno w części przytorowej, jak i pojazdowej;



Rys. 3. Model obiegu informacji w systemie ATP

Źr.: opracowanie własne

- układu pomiaru prędkości rzeczywistej i drogi przebytej przez pociąg;
- układów porównywania prędkości rzeczywistej z bezpieczną oraz sterowania napędem i hamulcami pojazdu.

### Ogólny model systemu ATP

Na podstawie przedstawionych rozważań opracowano ogólny model systemu ATP, współpracującego z centrum sterowania CS, z uwzględnieniem parametrów toru i sytuacji ruchowej oraz parametrów pociągu i jego urządzeń. Przyjęto, że prędkość bezpieczna pociągu jest wypracowywana w pojeździe, a system uwzględnia również aktywację pociągu [6, 7, 8].

Na rysunku 3 pokazano centrum sterowania CS oraz dwa podstawowe układy sytemu ATP w formie pogrubionych kół:

- układ aktywacji A pociągu  $p_k$  na odstępnie blokowym  $b_i$  wraz z pomocniczym układem pomiaru drogi rzeczywistej  $sRb_i$ , którą pociąg przejeżdża na odstępnie blokowym;
- układ wypracowania prędkości bezpiecznej VB wraz z pomocniczymi układami porównania prędkości rzeczywistej z bezpieczną oraz regulacji napędu i hamowania RNH, który steruje układem napędowo hamulcowym pociągu.

Obiekty, kanały transmisyjne oraz układy informacji źródłowych o torze i pojeździe przedstawiono w formie kwadratów lub prostokątów. Informacje źródłowe o torze zawierają dane o nazwie odstępnie blokowego  $b_i$ , jego długości  $Sb_i$ , współrzędną początku odstępnie blokowego  $g\pi b_i$  oraz prędkości dopuszczalnej drogi  $cVb_i$  (s). Wszystkie te informacje są stałe w czasie i mogą być przekazywane punktowo. Kanał punktowy na rysunku 3 umieszczono na początku odstępnie blokowego i oznaczono prostokątem o dłuższym boku pionowym. Informacje źródłowe o pojeździe: prędkość konstrukcyjną  $V_k$ , opóźnienie hamowania  $ah$ , prędkość rzeczywistą  $VR$  i drogę  $sR$  oznaczono kwadratem.

Prędkość dozwolona  $vVb_i$ , zmienna w czasie i zależna od sytuacji ruchowej jest przekazywana z centrum sterowania CS do

pociągu na całej długości odstępnie blokowego  $b_i$ . Kanał ciągłego przekazywania informacji na rysunku 3 oznaczono prostokątem o dłuższym boku poziomym. Początek odstępnie blokowego  $\pi b_i$  i sam odstępnie blokowy oznaczono również kwadratami.

Linie łączące poszczególne, opisane układy oznaczają informacje przesyłane między tymi układami. Linia prostą przerywaną oznaczono wjazd pociągu na początek odstępnie blokowego  $p_k/\pi b_i$  (rys. 3 fragment a), natomiast linią prostą ciągłą oznaczono jazdę po odstępnie blokowym  $p_k/b_i$  (rys. 3 fragment b). Liniami krzywymi – gałęziami – oznaczono informacje przekazywane z jednego układu do drugiego.

### Obieg informacji przy aktywacji pociągu na odstępnie blokowym

Po wjeździe pociągu na początek odstępnie blokowego zostaną przekazane do pojazdu kanałem punktowym:

- do układu pomiaru drogi rzeczywistej przebytej na odstępnie blokowym  $b_i$ : nazwa odstępnie blokowego  $b_i$ , długość odstępnie blokowego  $Sb_i$ , współrzędna początku odstępnie blokowego  $g\pi b_i$ ,
- do układu aktywacji: stan odstępnie blokowego  $x\pi b_i = \{w\}$ ,
- do układu prędkości bezpiecznej: prędkość dozwolona  $cVb_i$  (s).

Przy jeździe pociągu po odstępnie blokowym  $b_i$  kanałem ciągłego przekazywania informacji zostanie z CS przekazana prędkość dozwolona  $vVb_i(t)$ , zmienna w czasie o sytuacji ruchowej (wskazania semaforów).

Po aktywacji pociągu  $p_kAb_i$  i zaakceptowaniu informacji o prędkościach  $cVb_i$ ,  $vVb_i$  i opóźnieniu hamowania  $ah$  zostaje wyznaczona prędkość bezpieczna  $VB(s,t)$ . Po porównaniu jej z prędkością rzeczywistą  $VR$  wynik porównania jest przekazany do regulatora RNH, który odpowiednio steruje układem napędowo-hamulcowym.

Przedstawiony model systemu ATP z wypracowywaniem prędkości bezpiecznej w pojeździe jest przykładem ogólnym. Rozwiązania techniczne systemów ATP z reguły różnią się od roz-

wiązania modelowego, ale muszą spełniać wszystkie wymogi, które decydują o bezpieczeństwie ruchu pociągu.

## Ogólna charakterystyka systemów ATP

Współczesne systemy ATP charakteryzują się następującymi właściwościami:

- liczba przekazywanych informacji jest duża a co najmniej taka, że zaspokaja potrzeby informacyjne określonego rozwiązania technicznego;
- transmisja informacji w miarę potrzeby może być dwukierunkowa;
- informację po odebraniu, akceptuje tylko ten pociąg, dla którego jest ona przeznaczona;
- system w normalnej eksploatacji pozwala na dojazd do semafora wskazującego sygnał stój;
- system reaguje natychmiast na każdą zmianę sytuacji ruchowej – wskazań semafora;
- oddziaływanie na układ napędowo-hamulcowy pociągu jest stopniowane: odłączenie napędu, włączenie hamowania służbowego, włączenie hamowania nagłego;
- jeżeli prędkość rzeczywista nie przekracza bezpiecznej, to system nie ingeruje w prowadzenie pociągu przez maszynistę.

Do współczesnych systemów automatycznego ograniczania prędkości ATP będą więc zaliczane systemy, które spełniają następujące podstawowe warunki:

- system zawsze dysponuje aktualną informacją, tzn. dane o sytuacji ruchowej –  $v/v_b(t)$  są przekazywane w sposób ciągły na całej drodze jazdy pociągu;
- prędkość bezpieczna jest wypracowywana automatycznie na podstawie parametrów toru i pojazdu;
- przekazywane z toru informacje są wykorzystywane tylko i wyłącznie przez pociąg, dla którego są przeznaczone;
- porównywanie prędkości rzeczywistej z bezpieczną, jak i odłączenie napędu i włączenie hamowania odbywa się automatycznie.

Pierwsze systemy o dwóch różnych kanałach przekazywania informacji, punktowym i ciągłym, powstały dla kolei dużych prędkości. Systemy te uwzględniają parametry toru i pojazdu oraz parametry zmienne w czasie o sytuacji ruchowej, tj. odpowiadają wymogom stawianym systemom ATP. Inicjatorami budowy współczesnych systemów ATP, chronologicznie rzecz traktując, są koleje Japoni (JR) – linia Nowe Tokaido, Francji (SNCF) – dla linii dużych prędkości TGV oraz Niemiec (DB) – system LZB dla linii dużych prędkości i metra. Systemy stosowane w metrze w większości przypadków spełniają te wymagania, do systemów tych należą między innymi LZB (niemieckie), SOP (polskie) i inne.

Systemy Nowe Tokaido kolei japońskich (JR) oraz systemy TVM 300 i TVM 430 kolei francuskich (SNCF) wykorzystują dwa kanały transmisyjne. Kanał punktowy do przekazywania informacji stałych stanowią pętle przewodowe umieszczone przed semaforem o długości 50 m (JR) lub 10 m (SNCF). Informacje zmienne w czasie o wskazaniach semaforów są przekazywane za pomocą współczesnych obwodów torowych, realizujących również funkcję kontroli niezajętości toru. Nowoczesne obwody torowe, wykorzystujące złącza rezonansowe (zachowujące ciągłość mechaniczną szyn), zbudowano na torze przystosowanym do jazdy z prędkością rzędu 300 km/h. Prędkość bezpieczna jest wypracowywana w pojeździe i przedstawiana w formie krzywej schodko-

wej (JR i TVM 300), a w nowszym systemie TVM 430 w formie krzywej ciągłej.

Istotną cechą systemu LZB dla kolei i metra są ułożone w torze obwody przewodowe o długości do 12 km. Przewody stanowiące obwód transmisyjny są krzyżowane co 100 m. Obwód przewodowy stanowi kanał transmisyjny o parametrach elektrycznych, pozwalających na stosowanie częstotliwości nośnej rzędu kilkudziesięciu kHz. Kanał ten umożliwia transmisję dwukierunkową, tj. z toru do pojazdu i z pojazdu do toru. Kanał przewodowy w terenie otwartym – linia kolejowa – jest narażony na kradzieże, zniszczenia itp., wada ta nie występuje na terenie zamkniętym, np. metro. Początek obwodu przewodowego, jak i krzyżowanie przewodów stanowią stałe punkty, które umożliwiają lokalizację pojazdu. Prędkość bezpieczna jest wypracowywana w urządzeniach stacjonarnych, kontrola zajęcia toru jest dokonywana z reguły za pomocą obwodów torowych.

W polskim systemie oznaczonym SOP (samoczynne ograniczanie prędkości), przeznaczonym dla metra [1, 8, 9] (zastosowanym w Warszawie SOP-2 i Pradze SOP-2P) jest stosowany obwód przewodowy o długości równej odstępowi blokowemu, tj. rzędu 100 – 300 m. Transmisja jest jednokierunkowa z toru do pojazdu, prędkość bezpieczna jest wypracowywana w urządzeniach stacjonarnych, a kontrolę zajęcia torów dokonuje się za pomocą obwodów torowych lub liczników osi. Obecnie trwają prace nad nową wersją systemu SOP dla II linii metra w Warszawie.

Na szczególną uwagę zasługuje działanie międzynarodowego związku kolejowego UIC i prace najpierw nad podstawowym systemem ETCS poziom 2. Europejski system sterowania pociągiem ETCS poziom 2 jest od niedawna wprowadzany na linie kolejowe nie tylko w Europie, ale także na całym świecie, szczególnie na nowo budowanych liniach kolei dużych prędkości w Chinach. Także PKP są zainteresowane systemem ETCS [10]. System ETCS poziom 2 tworzą dwa kanały transmisyjne: punktowy – w formie balisy, umieszczonej przed semaforem do przekazywania informacji stałych i kanał radiowy do ciągłej transmisji informacji zmiennych w czasie, tj. o stanie semaforów, ogólnie o sytuacji ruchowej przed rozważanym pociągiem. Kontrola niezajętości toru jest dokonywana za pomocą obwodów torowych lub liczników osi.

Oprócz typowych systemów ATP z dwoma kanałami transmisyjnymi spotyka się systemy wykorzystujące tylko kanały punktowe – np. EBICAB 900, ETCS poziom 1. Jednak mogą one być tylko zaliczone do urządzeń shp, ponieważ mają te same wady jak stare systemy z punktowym przekazywaniem informacji. Podstawową ich wadą jest aktualność przekazywanej informacji tylko w miejscu znajdowania się balisy torowej – przy zmianie sygnału na semaforze, gdy pociąg znajduje się między balisami, zmiana ta zostaje odebrana na pociągu dopiero w momencie przejeżdżania nad kolejną balisą.

Jeżeli sygnał na semaforze zmienił się z zabraniającego na zezwalający, to pociąg będzie hamowany pomimo, że maszynista widzi na semaforze sygnał zezwalający na jazdę. Przypadek ten jest często spotykany w normalnej eksploatacji. Najczęściej w takiej sytuacji pociąg zatrzymuje się w dość znacznej odległości od semafora, a dojazd do balisy znajdującej się przed semaforem, aby zaktualizować dane, jest możliwy po użyciu przez maszynistę specjalnego przycisku, który jest w pewnym sensie odpowiednikiem sygnału zastępczego w urządzeniach srk, tutaj jednak maszynista sam sobie daje zezwolenie na jazdę. W przypadku zatrzy-

manie pociągu za balisą (np. w bardzo trudnych warunkach atmosferycznych – jest to bardzo rzadki przypadek w normalnej eksploatacji) na przycisk trzeba jechać aż do następnej balisy.

Znacznie poważniejsze konsekwencje dla bezpieczeństwa ruchu ma zmiana sygnału na semaforze z zezwalającego na zabraniający jazdy. W tym przypadku, pomimo że maszynista zauważa sygnał stój na semaforze, urządzenia pojazdowe zezwalają na kontynuowanie jazdy do najbliższej balisy. Bezpieczeństwo ruchu w tym przypadku zależy jedynie od spostrzegawczości maszynisty. Jest to raczej rzadki przypadek w normalnej eksploatacji, ale w istotny sposób mogący wpłynąć na bezpieczeństwo ruchu pociągu.

Zwiększenie liczby punktów przekazywania informacji powoduje częstszą aktualizację odbieranych przez pociąg danych. Większa liczba punktów przekazywania informacji występuje w systemach francuskich KVB oraz w systemie ZUB (opracowanym na bazie INDUSI) stosowanym na kolejach niemieckich.

Jednak punktowe przekazywanie informacji znajduje zastosowanie jedynie na liniach niższych kategorii, a tym samym przy mniejszych prędkościach maksymalnych i mniejszym natężeniu ruchu.

## Podsumowanie

Z przeprowadzonych rozważań wynikają następujące stwierdzenia i wnioski.

**A1.** System automatycznego ograniczania prędkości ATP, na podstawie wszystkich parametrów stałych toru i pojazdu oraz zmiennych w czasie wskazań sygnalizatorów automatycznie wyznacza prędkość bezpieczną dla pociągu. Prędkość rzeczywista pociągu jest w sposób ciągły porównywana z bezpieczną, a gdy zbliży się do niej następuje automatyczne odłączenie napędu i włączenie układów hamulcowych. Gdy prędkość rzeczywista zmniejszy się w stosunku do bezpiecznej, system ATP ponownie umożliwi maszyniście prowadzenie pociągu.

**A2.** Parametry stałe toru, konieczne do wyznaczenia prędkości bezpiecznej, powinny być przekazywane w sposób punktowy na początku odstępu blokowego. Dotyczy to przede wszystkim współrzędnej początku odstępu blokowego, niezbędnej dla lokalizacji pociągu na linii. Informacje zmiennie w czasie, o stanie sygnalizatorów, muszą być przekazywane w sposób ciągły na całej drodze jazdy pociągu.

**B1.** W systemach ATP kontrola niezajętości toru zdaniem autorów powinna również zapewniać wykrywanie ewentualnej mechanicznej nieciągłości szyn, np. za pomocą obwodów torowych.

**B2.** Kontrola niezajętości toru za pomocą liczników osi nie zapewnia wykrywania przerw ciągłości mechanicznej szyn (pęknięcia szyn, brak fragmentu szyny itp.). Zdaniem autorów może być stosowana w torach głównych dodatkowych i leżących w nich rozjazdach.

**C1.** W rozwiązaniach urządzeń korzystających tylko z punktowego kanału transmisyjnego, np. EBICAB, ETCS poziom I, przekazywane informacje obejmują zarówno parametry toru, jak i stan sygnalizatorów. W przypadku zmiany stanu sygnalizatora, gdy pociąg znajduje się między punktami przekazywania informacji, decyzję o prędkości bezpiecznej musi podjąć maszynista na podstawie obserwacji stanu sygnalizatorów, ponieważ urządzenia pojazdowe nie dysponują informacją o aktualnym stanie sygnalizatora. Może to stwarzać potencjalne zagrożenie bezpieczeństwa, gdy sygnał na semaforze zmienia się z zezwalającego na stój.

**Wniosek końcowy.** Na liniach kolejowych najwyższych kategorii powinny być stosowane systemy ATP korzystające z dwóch kanałów przekazywania informacji. Kanału punktowego przekazyującego informacje stałe oraz ciągłego kanału transmisyjnego przekazyującego informacje zmiennie w czasie. Systemy te powinny korzystać z urządzeń kontroli niezajętości toru, które sprawdzają mechaniczną ciągłość szyn.



## Literatura

- [1] Barański S., Kubik S.: *System ATP typu SOP-2P dla linii A metra praskiego*. Materiały Konferencji Naukowej Trakcji Elektrycznej Semtrak, Zakopane 2002.
- [2] Bergiel K., Karbowski H.: *Automatyzacja prowadzenia pociągu*. Wydawnictwo EMIPRESS Łódź 2005.
- [3] Bergiel K., Karbowski H.: *Data transmission in automatic train protection systems with transmitting antenna covering many block sections*. Archiwum transportu nr 3/2006.
- [4] Dąbrowa-Bajon M.: *Podstawy sterowania ruchem kolejowym*. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2002.
- [5] Dyduch J., Pawlik M.: *Systemy automatycznej jazdy pociągu*. Wydawnictwo Politechniki Radomskiej, Radom 2002.
- [6] Karbowski H.: *Kanały przekazywania informacji w systemach automatycznego ograniczania prędkości ATP*. Telekomunikacja i Sterowanie Ruchem 2/2009, Wydawnictwo EMIPRESS Łódź 2009.
- [7] Karbowski H., Barański S.: *Bezpieczeństwo ruchu w transporcie*. Monografie Politechniki Łódzkiej, Łódź 2011.
- [8] Karbowski H., Barański S.: *Nowe możliwości systemu przekazywania informacji do pojazdu trakcyjnego za pomocą obwodu szynowego przez zastosowanie cyfrowej modulacji fazy SPI-P*. Przegląd Kolejowy 2/1993.
- [9] Karbowski 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.
- [10] *Standardy techniczne T. 6 – szczegółowe warunki techniczne dla modernizacji lub budowy linii kolejowych do prędkości  $V_{max} < 200$  km/h (dla taboru konwencjonalnego) i 250 km/h (dla taboru z wychylnym pudłem)*, przyjęte do stosowania uchwałą nr 263/2010 Zarządu PKP Polskie Linie Kolejowe S.A. z 14 czerwca 2010 r.
- [11] Zarządzenie nr 157 Zarządu PKP z 20 lipca 1998 r., załącznik: *Instrukcja sygnalizacji na PKP – E1*.

dr inż. Sławomir Barański  
 Politechnika Łódzka  
 prof. zw. dr hab. inż. Henryk Karbowski  
 emerytowany prof. zw. Politechniki Łódzkiej  
 prof. zw. AHE Łódź