

Sławomir Barański, Henryk Karbowski

# Właściwości eksploatacyjne urządzeń SHP i systemów ATP bezpiecznego prowadzenia pociągu

**Bezpieczeństwo ruchu w transporcie wymaga zachowania określonej odległości między kolejnymi pojazdami i jazdy z prędkością nie większą, od tzw. prędkości bezpiecznej. Odległość między pojazdami zależy od maksymalnej prędkości pojazdu, jego masy i wynikającej z tego długości drogi hamowania. Jazda z minimalnym odstępem między pojazdami, jednak nie krótszym od drogi hamowania, umożliwi osiągnięcie największej zdolności przepustowej określonego odcinka drogi.**

W ruchu drogowym odstęp między pojazdami wynosi od kilkudziesięciu do dwustu, trzystu metrów przy prędkości 140 km/h i więcej (np. na autostradach). W warunkach kolei, przy typowych prędkościach i masach pociągów, drogi hamowania – a więc i minimalne odstępy między pociągami – wynoszą od 1000 m (kolej konwencjonalna) do 5000 m przy prędkościach rzędu 350 km/h (koleje dużych prędkości).

Najbardziej naturalnym sposobem zapewnienia bezpiecznego poruszania się pojazdów w odstępach drogi, byłoby ciągłe przekazywanie odległości między kolejnymi pojazdami, tak aby te mogły odpowiednio regulować prędkość jazdy. Byłoby to jednak rozwiązanie kosztowne, wymagające ciągłego pomiaru długości tej drogi, a w pewnych warunkach niecelowe, np. na kolei, gdzie pociągi jeżdżą w stosunkowo dużych odstępach czasu liczonych co najmniej w minutach. Największe natężenie ruchu występuje na liniach metra, przy czasie następstwa 90 s, tj. 40 pociągów na godzinę w jednym kierunku.

Dlatego w warunkach kolejowych przyjmuje się prostsze rozwiązanie, polegające na podziale linii kolejowej na odstępy blokowe  $b_i$ , których długości dla zwiększenia zdolności przepustowej na ogół wymuszają wprowadzenie kilku stopni prędkości między wartością maksymalną a zerem. Jazda z prędkością nie przekraczającą prędkości bezpiecznej pozwala na niezagrożony ruch pociągów na linii. Długość odstępów blokowych i stopnie prędkości oraz możliwości hamulcowe pociągów są ze sobą odpowiednio skorelowane. W warunkach kolejowych, a także metra, występują odstępy blokowe, które charakteryzują się długością  $Sb_i$  (rys. 1) i współrzędną początku odstępów  $g\pi b_i$ , która musi być przekazana do pociągu  $p_k$ , gdyż jest niezbędna (samokalizacja pociągu) w przypadku automatyzacji prowadzenia pociągu. Zasada bezpiecznego ruchu jest realizowana w ten sposób, że na odstępach

blokowym  $b_i$  może znajdować się wyłącznie jeden pociąg  $p_k$ . Wjazd kolejnego pociągu na odstęp  $b_i$  jest możliwy dopiero wtedy, gdy poprzedni pociąg opuści odstęp.

## Prędkość bezpieczna i jej składowe

Do potrzeb urządzeń bezpiecznego prowadzenia pociągu wprowadzono pojęcie prędkości bezpiecznej  $VB$  (zmiennej w drodze i czasie), przestrzeganie której zapewnia bezkolizyjny przejazd pociągu. W procesie ruchu kolejowego występują trzy podstawowe elementy: infrastruktura kolejowa (w tym tory), pojazdy oraz rozmieszczenie pojazdów na drodze (linie i stacje). Parametry te determinują wartość prędkości bezpiecznej.

**Infrastruktura kolejowa**, wpływająca bezpośrednio na proces ruchu pociągów jest charakteryzowana przez parametry toru, w tym promienie łuków, krzywe przejściowe, przechyłki torów w łuku i pochylenie podłużne toru. Parametry tych elementów toru charakteryzuje prędkość zwana przez autorów prędkością dopuszczalną oznaczaną jako  $cV(s)$ , która jest składową prędkości bezpiecznej i zmienia się tylko w drodze i jest stała (constans) w czasie. Do tej grupy parametrów toru należy zaliczyć również czasowe (okresowe) ograniczenia prędkości.

**Pojazdy kolejowe** dla potrzeb ruchu charakteryzują dwa parametry: prędkość konstrukcyjną  $Vk$  (stała w drodze i czasie) oraz opóźnienie hamowania  $a_h$  zależne od prędkości pociągu.

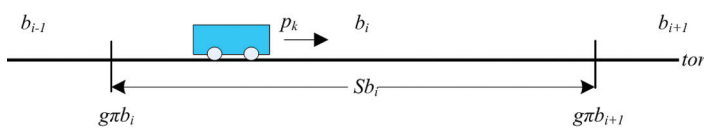
**Sytuacja ruchowa** jest rozumiana jako rozmieszczenie pojazdów na linii. Urządzenia sterowania ruchem kolejowym – srk, określają prędkość z jaką może poruszać się pociąg. Prędkość tę wskazują semafony, ogólniej sygnalizatory, a w instrukcji E1 jest nazywana prędkością dozwoloną. Prędkość ta jest zmienna w drodze i czasie, przyjęto ją oznaczać jako składową zmienną (variable)  $vV(s,t)$  prędkości bezpiecznej.

Na podstawie tych trzech grup informacji: tj. prędkości dopuszczalnej  $cV(s)$ , prędkości dozwolonej  $vV(s,t)$ , prędkości konstrukcyjnej pociągu  $Vk$ , urządzenia lub człowiek określają prędkość bezpieczną  $VB(s,t)$  według zależności:

$$VB(s,t) = \min[cV(s), vV(s,t), Vk]$$

Oznacza to, że prędkość bezpieczna w każdym punkcie toru i każdej chwili czasu nie może być większa od najmniejszej z jej trzech składowych.

Krzywą prędkości bezpiecznej można przedstawić w formie krzywej schodkowej (zwanej też statyczną), gdy nie uwzględnia się opóźnienia hamowania pociągu, natomiast po uwzględnieniu opóźnienia hamowania prędkość bezpieczna jest przedstawiana w formie krzywej ciągłej (zwanej również dynamiczną). Reasumując prędkość bezpieczna pociągu jest zdeterminowana parametrami



Rys. 1. Odstępy blokowe

infrastruktury kolejowej, parametrami pociągu oraz sytuacją ruchową na drodze przed rozważanym pociągiem.

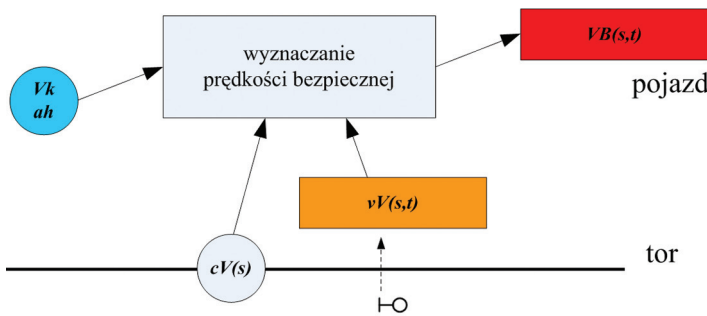
Niezbędnym dopełnieniem informacji o składowych prędkości bezpiecznej są stałe punkty drogi, np. współrzędne początku odstępu blokowego, według których lokalizuje się pociąg, ewentualnie długość odstępu blokowego, a także punkty określające miejsca zmiany składowej stałej prędkości dopuszczalnej.

Na rysunku 2 przedstawiono źródła informacji niezbędne do bezpiecznego prowadzenia pociągu. Informacje stałe w czasie oznaczono kółkami: prędkość dopuszczalna  $cV(s)$  (parametry toru) – kolor szary, parametry pojazdu  $V_k$  i  $a_n$  – kolor niebieski. Informacje zmienne w czasie i końcowy wynik przetwarzania (również zmienny w czasie) przedstawiono w formie prostokątów: prędkość dozwolona  $vV(s,t)$  (wskazania semaforów) – kolor pomarańczowy, prędkość bezpieczna  $VB(s,t)$  – kolor czerwony.

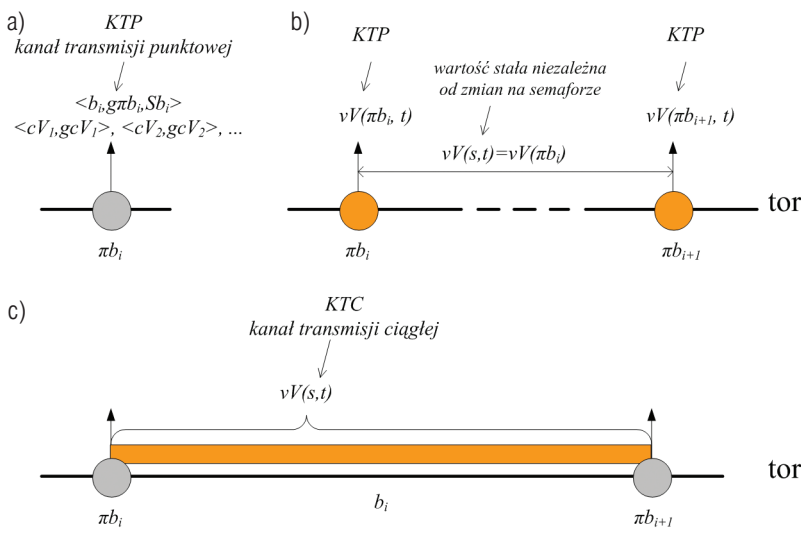
Bezpieczeństwo prowadzenia pociągu jest osiągnięte wówczas, gdy w każdym punkcie toru  $s$  i każdej chwili czasu  $t$  prędkość rzeczywista pociągu  $VR(s,t)$  nie przekracza wartości prędkości bezpiecznej  $VB(s,t)$ . Można to zapisać następująco jako podstawowy warunek bezpiecznego ruchu.

$$VR(s,t) \leq VB(s,t)$$

W przypadku, gdy ten warunek nie jest spełniony i prędkość rzeczywista  $VR(s,t)$  przekracza wartość prędkości bezpiecznej  $VB(s,t)$  powinno nastąpić odłączenie napędu i uruchomienie układu hamulcowego pociągu.



Rys. 2. Zestaw informacji niezbędnych do bezpiecznego prowadzenia pociągu (opracowanie własne)



Rys. 3. Transmisja informacji (opracowanie własne)

- a) stałych w czasie kanałem punktowym,
- b) zmiennych w czasie kanałem punktowym,
- c) zmiennych w czasie kanałem ciągłym

## Kanały transmisyjne i ich podstawowe zadania

Kanał transmisji punktowej  $KTP$  służy do wymiany informacji między stałym punktem toru, z reguły początkiem odstępu blokowego  $\pi b_i$ , a pojazdem  $p_k$ . Jeżeli pociąg  $p_k$  stoi (przejeżdża) nad punktem  $\pi b_i$  wówczas następuje wymiana informacji. Jeżeli pojazd znajduje się poza punktem  $\pi b_i$ , z reguły już w odległości większej niż 0,5 m, następuje zanik transmisji. W praktyce punkt  $\pi b_i$  jest strefą przekazywania informacji długości od około 1 m (w przypadku stosowania balis) do kilkunastu metrów i więcej (przy stosowaniu do transmisji krótkich pętli przewodowych).

W kanale transmisji punktowej  $KTP$  powinien być przekazywany zestaw informacji stałych w czasie (rys. 3a), opisujących rozważany odstęp blokowy  $\langle b_i, g\pi b_i, Sb_i \rangle$  oraz  $\langle cV_1, gcV_1 \rangle$ ,  $\langle cV_2, gcV_2 \rangle$ , ... itd. Pierwszy człon zawiera identyfikator odstępu blokowego  $b_i$ , współrzędną początku  $g\pi b_i$ , oraz jego długość  $Sb_i$ . Drugi człon podaje kolejno wartości prędkości dopuszczalnej  $cV_1$  i współrzędną początku tej prędkości  $gcV_1$ , a dalej pozostałe zmiany prędkości dopuszczalnej na danym odstępie blokowym. Przekazywanie punktowe wielkości zmiennej w czasie, np. prędkości dozwolonej  $vV(s,t)$  jest niecelowe, ponieważ ta informacja jest aktualna tylko i wyłącznie w punkcie przekazywania i ma na całym odstępie tę samą wartość co w punkcie  $\pi b_i$ , to jest  $vV(s,t) = vV(\pi b_i)$  (rys. 3b). Aktualizacja prędkości dozwolonej następuje dopiero w następnym punkcie przekazywania, czyli praktycznie po przejechaniu co najmniej 1000 m. Przykładami punktowych kanałów transmisyjnych są: balisa (przytorowe urządzenie z anteną nadawczo-odbiorczą), krótka pętla obwodu przewodowego.

Kanał transmisji ciągłej  $KTC$  ma za zadanie przekazywać informacje do pociągu na całej długości odstępu blokowego  $b_i$ . Ciągłe przekazywanie informacji następuje wówczas, gdy pociąg  $p_k$  znajduje się na odstępie blokowym  $b_i$ , tj. współrzędna anteny odbiornika pociągu  $gp_k$  jest elementem zbioru współrzędnych odstępu blokowego  $gb_i$  można to zapisać następująco:

$$gp_k \in \{g_1, b_i, g_2, b_i, \dots, g_n, b_i\}$$

Kanałem ciągłego przekazywania informacji powinno przekazywać się wiadomości zmienne w czasie (rys. 3c), przede wszystkim prędkość dozwoloną  $vV(s,t)$  będącą składową prędkości bezpiecznej  $VB(s,t)$ . Przekazywanie informacji stałych w czasie kanałem ciągłym jest nieracjonalne, ponieważ wielokrotne przekazywanie tej samej, niezmiennej w czasie informacji, niepotrzebnie obciąża kanał i wydłuża czas transmisji wielkości zmiennych w czasie. Kanał ciągły, a ściślej wjazd na początek tego kanału, można wykorzystać również do kilkukrotnego przekazania do pociągu wielkości stałych. Kanały ciągłego przekazywania informacji chronologicznie biorąc stanowią: obwód szynowy (torowy), obwód przewodowy oraz kanał radiowy.

Kanały transmisyjne punktowe i ciągłe, na odstępie blokowym  $b_i$  oraz przekazywane w nich informacje pokazano na rysunku 3. Kanały transmisyjne punktowe  $KTP$  oznaczono kółkami, a kanały transmisji ciągłej  $KTC$  prostokątami. Kolory podobnie jak przy źródłach

informacji: wartości stałe w czasie oznaczono kolorem szarym, a zmienne w czasie kolorem pomarańczowym.

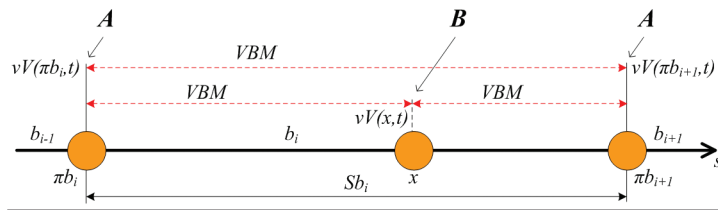
Jeżeli rozwiązania zapewniające bezpieczny ruch pojazdu korzystają tylko z kanału punktowego, to informacja o stanie semafora jest aktualna tylko w punkcie jej przekazania. Rozwiązania te tradycyjnie nazywane są urządzeniami samoczynnego hamowania pociągów SHP. Rozwiązania wykorzystujące kanał transmisji ciągłej zapewniający aktualną informację o wskazaniach semafora na całej drodze jazdy i dodatkowo kanał transmisji punktowej przekazujący informacje stałe autorzy nazywają systemem automatycznego ograniczania prędkości ATP. Rozwiązania wykorzystujące tylko kanał transmisji ciągłej można uważać za formę przejściową między urządzeniami SHP a systemami ATP.

### Właściwości ruchowe urządzeń samoczynnego hamowania pociągu SHP

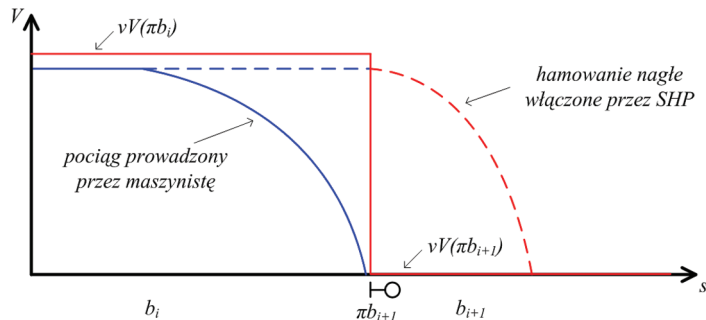
Samoczynne hamowanie pociągu są to urządzenia, które działają na podstawie informacji o prędkości dozwolonej  $vV(s,t)$ , aktualnej tylko w miejscu jej przekazania kanałem transmisji punktowej. Tak więc urządzenia SHP nie mogą reagować na zmiany sygnału na semaforze, gdy pociąg znajduje się na odstępie blokowym między punktami transmisyjnymi. Jest to istotna wada urządzeń korzystających tylko z punktowego przekazywania informacji. Jeżeli prędkość rzeczywista pociągu  $VR(s,t)$  w punkcie transmisyjnym przekracza prędkość dozwoloną  $vV(\pi b_i, t)$ , urządzenia SHP włączają hamowanie nagłe. Do grupy urządzeń samoczynnego hamowania pociągu SHP autorzy zaliczają rozwiązania działające w oparciu o jeden typ kanału transmisyjnego – punktowy lub ciągły.

W urządzeniach SHP podstawowy kanał punktowy A (rys. 4) jest umieszczony na początku odstępów blokowych  $\pi b_i$  i służy do przekazywania w tym punkcie informacji o prędkości dozwolonej  $vV(t)$ . Ta wartość prędkości dozwolonej  $vV(s,t)$  jest podstawą (mimo ewentualnej zmiany sygnału na semaforze) działania urządzeń SHP na całym odstępie blokowym, aż do następnego punktu transmisyjnego. W celu zwiększenia częstości otrzymywania informacji o aktualnej prędkości można stosować dodatkowy B (rys. 4) kanał punktowy umieszczony bliżej końca odstępów blokowych  $b_i$ . Na rysunku 4 pokazano punkty, w których przekazywana jest aktualna prędkość dozwolona  $vV(t)$ , wskazywana przez semafor. Dlatego między punktami przekazywania informacji bezpieczeństwo ruchu opiera się na obserwowaniu przez maszynistę sygnałów na semaforze i szacowaniu prędkości, z jaką pociąg może jechać bezpiecznie. Szacowaną prędkość bezpieczną oznaczono na rysunku jako VBM.

Wprowadzenie dodatkowego punktu transmisyjnego pozwala na aktualizację przekazywanych informacji i szybsze wykrycie ewentualnego przekroczenia przez pociąg prędkości dozwolonej – dzięki temu hamowanie zostanie włączone odpowiednio wcześniej. W niektórych rozwiązaniach SHP stosuje się zarówno dodatkowy punkt transmisyjny, jak i tzw. czasową kontrolę prędkości (np. urządzenia Indusi). Urządzenia SHP włączają hamowanie nagłe tylko i wyłącznie wówczas, gdy prędkość rzeczywista  $VR$  pociągu jest większa od aktualnej prędkości dozwolonej  $vV(t)$ , przekazanej w punkcie transmisyjnym (rys. 5). Reakcja na prę-



Rys. 4. Rozmieszczenie podstawowych i dodatkowych punktów przekazywania informacji na odstępie blokowym  $b_i$ , oraz przedziały szacowania prędkości bezpiecznej przez maszynistę (opracowanie własne)  
A - podstawowy punkt transmisyjny na początku odstępów blokowych, B - dodatkowy punkt transmisyjny na odstępach blokowych, VBM - prędkość bezpieczna szacowana przez maszynistę



Rys. 5. Reakcja urządzeń SHP na przekroczenie prędkości dozwolonej w punkcie transmisyjnym

kość bezpieczną szacowaną przez maszynistę może pochodzić tylko i wyłącznie od maszynisty.

Na rysunku 5 pokazano reakcję typowych urządzeń SHP w punktach przekazywania informacji, gdy prędkość rzeczywista  $VR$  (kolor niebieski) jest większa od dozwolonej  $vV(t)$  (kolor czerwony).

### Dojazd (typowy) do semafora wskazującego sygnał stój

Na początku odstępów blokowych w punkcie  $\pi b_i$  urządzenia SHP i maszynista otrzymują informacje, że następny semafor (w punkcie  $\pi b_{i+1}$ ) wskazuje sygnał stój. Urządzenia SHP na całym odstępie blokowym  $b_i$ , niezależnie od ewentualnej zmiany sygnału na semaforze, kontrolują czy prędkość rzeczywista  $VR$  nie przekracza prędkości dozwolonej  $vV(\pi b_i)$  i czy przy następnym semaforze prędkość ta wynosi 0. Maszynista na podstawie tych informacji, a także sygnału stój na semaforze tak reguluje prędkość pociągu, aby zatrzymać się przed semaforem. Maszynista powinien zatrzymać pociąg tak, aby antena pojazdowa znalazła się nad punktem przekazywania informacji.

Osiągnięcie dużej precyzji zatrzymania pociągu ze względu na długości odstępów blokowych i masę pociągu jest niekiedy trudne do realizacji. Najczęściej pociąg zatrzyma się przed punktem transmisyjnym. Po ukazaniu się sygnału zezwalającego na semaforze maszynista powinien ruszyć tak, aby dojechać do punktu transmisyjnego, otrzyma wówczas aktualną informację zezwalającą na dalszą jazdę. Gdyby pociąg zatrzymał się za punktem transmisyjnym, wówczas aktualny sygnał zezwalający na jazdę otrzymałby dopiero przy następnym punkcie, a całą drogę musiałby jechać z ograniczoną prędkością rzędu 20–30 km/h (w zależności od zasad przyjętych w danym zarządzie kolejowym).

Przekazywanie na początku odstępów blokowych większej liczby informacji niż tylko prędkość dozwolona  $vV(t)$ , np. składowej

stałej prędkości  $cV(s)$  oraz zestawu informacji do aktywacji pociągu należy uznać za zbędne, ponieważ praktycznie na całej długości odstępu blokowego i tak maszynista szacuje prędkość bezpieczną  $VBM$ . Tradycyjne urządzenia SHP realizują hamowanie według krzywej schodkowej i mogą kontrolować prędkość także w dodatkowym punkcie lub po upływie określonego czasu (np. Indusi). Współczesne urządzenia SHP, podobnie jak i tradycyjne korzystają tylko z punktowego przekazywania informacji, lecz kontrolują prędkość pociągu według krzywej ciągłej na całym odstępie blokowym. Jednakże krzywa ciągła prędkości jest aktualizowana jedynie tylko w punkcie przekazywania informacji.

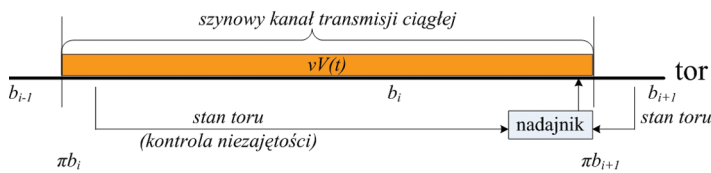
Dyskusyjnym jest problem generowania przez urządzenia SHP ciągłej krzywej hamowania służbowego pociągu w przypadku dojazdu do semafora wskazującego sygnał stój na podstawie informacji odebranych punktowo. W tym czasie może się zmienić sygnał na semaforze i maszynista powinien mieć prawo do kon-

tynuowania jazdy, tymczasem urządzenia SHP wymuszają zatrzymanie pociągu przed semaforem, mimo że wskazuje on już sygnał zezwalający. Konieczne jest wówczas stosowanie przycisków wyłączających oddziaływanie urządzeń SHP (spełniających rolę podobną do stacyjnego sygnału zastępczego  $S_z$ ) w celu umożliwienia dojazdu do balisy. Oznacza to również pewną niejednoznaczność, ponieważ raz obowiązuje krzywa hamowania generowana przez urządzenia, a w zdecydowanej większości przypadków jazda odbywa się na podstawie prędkości bezpiecznej szacowanej przez maszynistę –  $VBM$ .

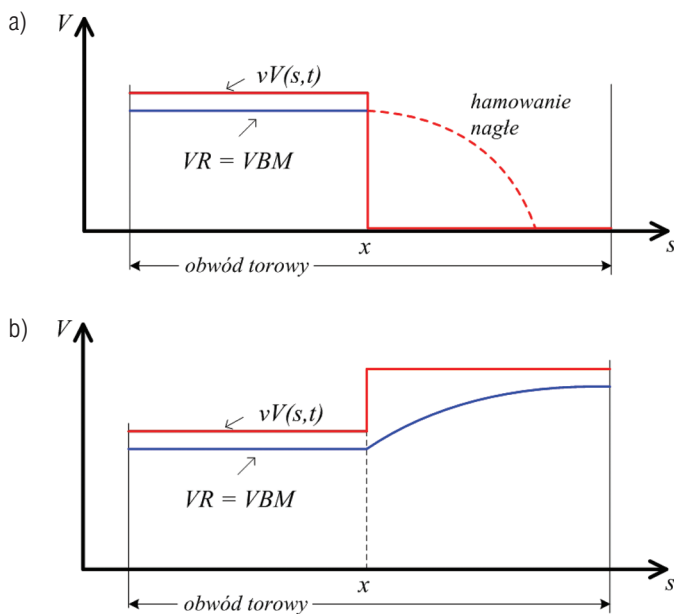
Urządzenie SHP z ciągłą transmisją obwodem szynowym (rys. 6) wysyła informację o prędkości dozwolonej  $vV(s,t)$  na całym odstępie blokowym. Jakkolwiek zmiana wartości tej prędkości jest natychmiast przekazywana do pojazdu.

Maszynista prowadząc pociąg powinien reagować na zmiany aktualnej prędkości dozwolonej. Jeżeli tego nie uczyni, a prędkość rzeczywista będzie przekraczała prędkość dozwoloną, to urządzenia SHP włączają hamowanie nagłe.

Reakcję urządzeń SHP przy zmianie prędkości dozwolonej  $vV(s,t)$  na mniejszą (rys. 7a) przedstawiono jako natychmiastowe włączenie hamowania nagłego pociągu. Rozwiązanie takie jest bardzo restrykcyjne, ale zapewnia bezpieczeństwo, ponieważ urządzenia SHP nie dysponują informacją o odległości. W przypadku, gdy prędkość dozwolona się zwiększa (rys. 7b), maszynista może od razu zwiększyć prędkość.



Rys. 6. Ciągły kanał transmisyjny korzystający z obwodu szynowego



Rys. 7. Zmiany prędkości dozwolonej  $vV(s,t)$  przy ciągłej transmisji informacji obwodem szynowym

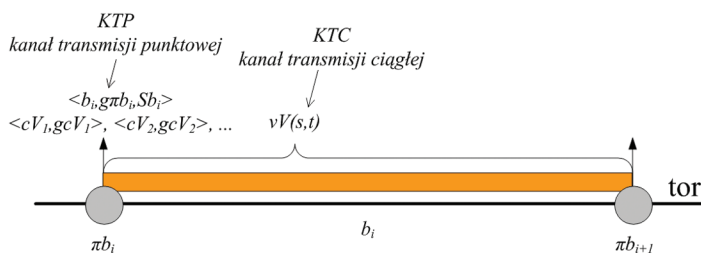
$x$  - punkt, w którym znajduje się czoło pociągu, gdy następuje zmiana prędkości dozwolonej (sygnału na semaforze) na: a) mniejszą, b) większą

## Właściwości systemu automatycznego ograniczenia prędkości ATP

Systemy automatycznego ograniczenia prędkości ATP (*Automatic Train Protection*) zapewniają bezpieczeństwo ruchu pociągu na podstawie informacji o prędkości bezpiecznej  $VB(s,t)$ , przekazywanej kanałami transmisyjnymi punktowym i ciągłym na całym odstępie blokowym. Podstawową właściwością systemu ATP jest zapewnienie bezpiecznej jazdy przez ciągłe porównywanie prędkości rzeczywistej pociągu  $VR(s,t)$  z prędkością bezpieczną  $VB(s,t)$ . Jeżeli prędkość rzeczywista pociągu  $VR(s,t)$  zbliży się do prędkości bezpiecznej  $VB(s,t)$ , następuje kolejno: automatyczne odłączenie napędu, włączenie hamowania służbowego i ewentualnie nagłego. Cechą charakterystyczną (atrybutem) współczesnych systemów ATP jest generowanie ciągłej lub wieloschodkowej krzywej hamowania na podstawie bieżącej (aktualnej) informacji o prędkości dozwolonej, wskazywanej przez semafony.

Systemy ATP, zdaniem autorów powinny wykorzystywać do transmisji informacji kanał ciągły i punktowy. Składowa zmienna prędkości  $vV(s,t)$  musi być przekazywana w sposób ciągły na całym odstępie blokowym, natomiast w sposób punktowy powinny być przekazywane informacje stałe w czasie. Do określenia prędkości bezpiecznej niezbędne są również parametry pojazdu: prędkość konstrukcyjna  $V_k$  i opóźnienie hamowania  $a_h$ . Rozmieszczenie kanałów ciągłej i punktowej transmisji oraz wykaz informacji przekazywanych do pociągu pokazano na rysunku 8.

Systemy automatycznego ograniczenia prędkości ATP w zależności od rodzaju kanału transmisyjnego, autorzy oznaczają: ATPS kanał szynowy, ATPP kanał przewodowy oraz ATPR kanał radiowy. Zestaw informacji stałych niezbędnych do samolokalizacji pociągu i aktywacji w systemach ATPS i ATPR korzystniej jest przekazywać punktowo za pomocą balisy. W systemach ATPP informacje stałe są przekazywane na początku obwodu przewodowego



Rys. 8. Informacje przekazywane przez punktowe i ciągłe kanały transmisyjne w systemie ATP (opracowanie własne)

wego, również w ten sposób można przesłać zestaw informacji dotyczących składowej stałej prędkości bezpiecznej.

Blizszego omówienia wymaga obwód przewodowy, który występuje w trzech różnych wariantach w zależności od zastosowania (przeznaczenia). Klasyczne rozwiązanie niemieckie to obwód długości około 12 km, ze skrzyżowaniami w stałej odległości co 100 m. Rozwiązanie to, znane jako system LZB, jest stosowane na liniach DB, a także w metrze, np. w Amsterdamie. Pozostałe dwa rozwiązania występują w metrze. W jednym z tych rozwiązań długość obwodu jest równa odległości między stacjami, przystankami (PA135, np. Budapeszt, Praga) lub odstępowi blokowemu – rozwiązanie polskie typu SOP (Warszawa, Praga). Rozwiązanie z systemu SOP (długość obwodu przewodowego równa odstępowi blokowemu) wymaga większej liczby nadajników niż pozostałe, ale jest korzystniejsze w eksploatacji. Aktywacja systemu po wystąpieniu zakłócenia następuje na każdym odstępie blokowym (w metrze typowo 100–200 m), a nie co odstęp międzyprzystankowy (w metrze 800 m i więcej). Ponadto pojemność informacyjna takiego kanału jest znacznie większa.

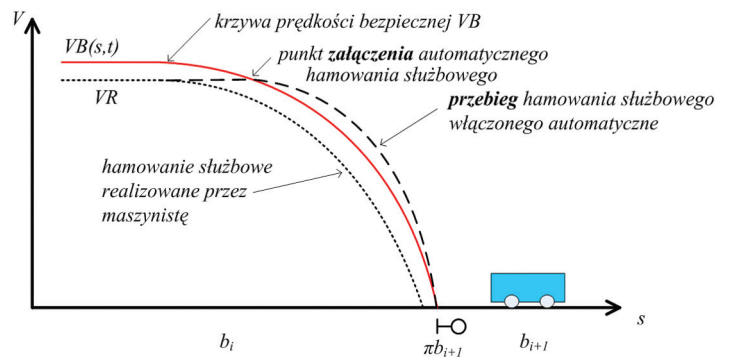
Przekazywanie informacji zmiennych w czasie jest ściśle związane ze sposobem kontroli niezajętości toru. Do kontroli niezajętości toru w systemach ATP można stosować zarówno współczesne obwody torowe (szyny spawane, odpowiednia warstwa podsypki, odwodnienie i złącza bezстыkowe), jak i liczniki osi (ale zdaniem autorów przede wszystkim na stacjach – rozjazdy i tory główne dodatkowe). Obwody torowe kontrolują ciągłość szyn, natomiast liczniki osi nie kontrolują i nie wykrywają braku ciągłości szyn. Ponieważ kontrola ciągłości toru jest podstawowym elementem bezpieczeństwa ruchu, zdaniem autorów należy przy stosowaniu liczników osi rozważyć transmisję informacji obwodem szynowym (pozwalającym na kontrolę ciągłości szyn).

W przypadku potrzeby przekazania do pociągu dużej liczby informacji celowe jest stosowanie transmisji obwodem przewodowym lub drogą radiową. Gdy potrzeby transmisyjne nie są duże (zależnie od stosowanego rozwiązania), racjonalne wydaje się stosowanie transmisji współczesnym obwodem szynowym.

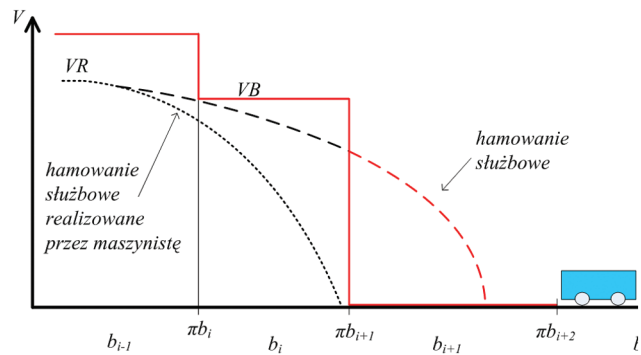
Na podstawie przekazywanych informacji oraz prędkości konstrukcyjnej pojazdu  $V_k$  dla każdej grupy systemów ATP w oparciu o wyrażenie  $VB(s,t) = \min[cVB(s), vV(s,t), V_k]$  oraz opóźnienie hamowania  $a_h$  może zostać wyznaczona krzywa ciągła prędkości bezpiecznej (rys. 9), która umożliwi (zapewnia) bezpieczny dojazd do semafora wskazującego sygnał stój.

Na rysunku 9 pokazano różne warianty dojazdu do semafora wskazującego sygnał stój. Ciągłą krzywą prędkości bezpiecznej  $VB$  wyznaczającą moment załączenia hamowania pokazano kolorem czerwonym. Krzywą hamowania służbowego realizowanego przez maszynistę narysowano linią czarną kropkowaną, a przebieg hamowania włączonego przez system ATP oznaczono linią czarną przerywaną.

W przypadku metra o maksymalnej wartości prędkości bezpiecznej decyduje głównie stosunkowo nieduża odległość między przystankami. W praktyce maksymalna wartość prędkości bezpiecznej jest rzędu 80–90 km/h, co oznacza, że długość drogi hamowania nie przekracza 400 m. Stosowane jest kilka stopni prędkości, a długości odstępów blokowych wynoszą od około 100 do 200 m. Z tych względów w warunkach metra zamiast ciągłej krzywej hamowania, wygodniej jest stosować schodkową krzywą hamowania (rys. 10).



Rys. 9. Ciągła krzywa hamowania w systemie ATP przy dojeździe do semafora z sygnałem stój (opracowanie własne)



Rys. 10. Schodkowa krzywa hamowania (np. w metrze) przy dojeździe do zajętego odstępów blokowego (opracowanie własne)

Gdy prędkość rzeczywista pociągu  $VR$  przekracza prędkość bezpieczną  $VB$ , następuje włączenie hamowania służbowego. Oznacza to, że za odstępem blokowym zajęty przez pociąg, jest schodek z prędkością bezpieczną równą zero. Prowadzi to do uproszczenia systemu ATP przy zachowaniu wymaganego czasu następstwa pociągów rzędu 90 s.

W systemach ATP w metrze z transmisją kanałem przewodowym, a także i szynowym, z uwagi na tabor o bardzo zbliżonych charakterystykach ruchowych (mimo różnych producentów), wygodniej jest obliczać prędkość bezpieczną w urządzeniach stacyjnych i do pojazdu przestać już tylko sam wynik, zamiast przekazywać składowe prędkości bezpiecznej i dopiero w pojeździe wykonywać obliczenia. Rozwiązanie takie pozwala na dalsze uproszczenie struktury urządzeń systemu ATP.

### Podsumowanie

Urządzenia samoczynnego hamowania pociągów SHP i systemy automatycznego ograniczania prędkości ATP powinny się charakteryzować takimi właściwościami – parametrami, które spełniałyby warunek bezpiecznej jazdy, tj. prędkość rzeczywista  $VR$  nie może przekraczać prędkości bezpiecznej  $VB$ .

Prędkość bezpieczna jest zdeterminowana:

- składową zmienną, tj. prędkością dozwoloną  $vV$  (wskazania semaforów);
- składową stałą  $cV$  (parametry toru);
- parametrami pociągu (prędkością konstrukcyjną  $V_k$  oraz opóźnieniem hamowania  $a_h$ ).

Dokończenie na s. 44 ➤