

## Współpraca systemu ATP z pociągiem na linii A metra w Pradze

Opisano współpracę systemu ATP typu SOP-2P zastosowanego na linii A metra w Pradze z pociągiem metra. Został przedstawiony krótki opis całego systemu, a następnie zaprezentowano rozwiązanie bloku sprzęgającego, będącego interfejsem pomiędzy pojazdową jednostką centralną systemu SOP-2P a pociągiem. Rozwiązania bloku sprzęgającego wykonano w technice przekaźnikowej.

### 1. Wprowadzenie

W sierpniu 1998 r. Przedsiębiorstwo Komunikacyjne miasta stołecznego Pragi ogłosiło przetarg publiczny na modernizację urządzeń zabezpieczających dla linii A metra praskiego. Czeska firma AŽD Praha w porozumieniu ze stroną polską zgłosiła na ten przetarg system LZA, składający się w części ATP (automatic train protection) z systemu SOP-2P a w części ATO (automatic train operation) z systemu ACBM3. Z racji pełnionych funkcji system LZA należy do grupy systemów ATC (automatic train control). System SOP-2P jest zmodernizowaną, rozwiniętą i dostosowaną do wymogów użytkownika wersją sprawdzonego w eksploatacji systemu SOP-2, zastosowanego w metrze warszawskim. System SOP-2P został opracowany we współpracy Politechniki Łódzkiej i firmy Bombardier Transportation Zwus i jest produkowany w Katowicach. Część ATO systemu została opracowana i wykonana przez AŽD. Rozwiązania techniczne urządzeń tego systemu są oparte na systemie AVVČD, wyprodukowanym przez AŽD i wdrażanym na kolejach czeskich.

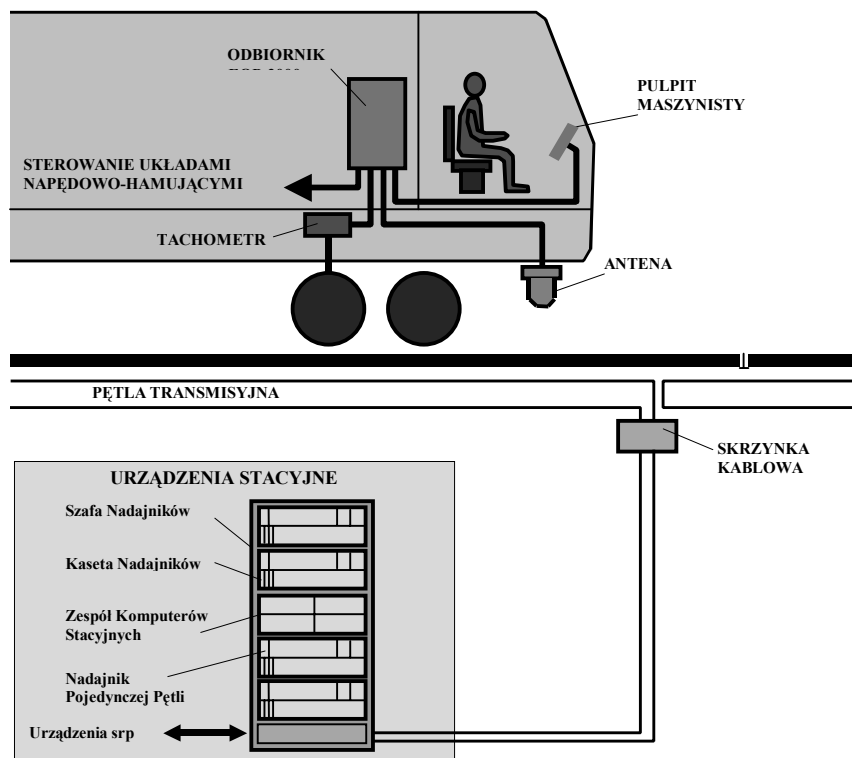
Na linii A metra w Pradze system LZA pracuje w pociągu 8171M. Pociąg ten jest zmodernizowaną wersją rosyjskiego pociągu typu 8171. W przeciwieństwie do pociągu rosyjskiego, który miał sterowanie przekaźnikowe, w pociągu 8171M sterowanie jest w pełni elektroniczne. W technice przekaźnikowej zostały zrealizowane tylko elementy mające bezpośredni wpływ na bezpieczeństwo, czyli sterowanie włączaniem hamowania awaryjnego oraz kontrola otwarcia drzwi pociągu.

### 2. Wiadomości ogólne o systemie SOP-2P

Pod względem strukturalnym system SOP-2P składa się z trzech podstawowych grup urządzeń funkcjonalnych (rys. 1):

- urządzeń stacyjnych (nadawczych), zlokalizowanych w przekaźnikowni,
- urządzeń transmisyjnych, które stanowią pętle nadawcze ułożone symetrycznie w torze,
- urządzeń pojazdowych (odbiorczych), zabudowanych na taborze metra.

Urządzenia stacyjne systemu powiązane są z istniejącymi na linii metra urządzeniami sterowania ruchem kolejowym warstwy podstawowej oraz z urządzeniami zdalnego sterowania i kontroli dyspozytorskiej. Zainstalowanie urządzeń stacyjnych systemu nie wymaga jakichkolwiek zmian w istniejących urządzeniach srk stacyjnych i liniowych. Dla właściwej pracy systemu SOP-2P wystarczy tylko powiązanie z urządzeniami srk, wykorzystujące po dwa zestawy następujących przekaźników: przekaźnika torowego, przekaźnika kontroli położenia zwrotnicy, przekaźnika kontroli położenia wrót hermetycznych i przekaźników kontroli świateł semafora dla sygnałów „stój” i ograniczających prędkość. W oparciu o stany tych zestyków zespół komputerów stacyjnych przyporządkowuje każdemu obwodowi torowemu właściwy stopień prędkości, uwzględniający odległość od początku danego obwodu torowego do najbliższej



Rys. 1 Urządzenia systemu SOP-2P

przeszkody (początku obwodu torowego sygnalizowanego jako zajęty, semafora ograniczającego prędkość, zwrotnicy ustawionej w położeniu na odgałęzienie itd.) oraz zdolności hamulcowe pociągów obsługujących linię. Informacje te przesyłane są do nadajników, które za pośrednictwem ułożonych w torze przewodowych pętli transmisyjnych przekazują do pociągu wiadomości i rozkazy niezbędne dla pracy systemu. Wszystkie obwody torowe istniejące na linii są wyposażone w nadajniki systemu, tak więc do każdego pociągu są przekazywane informacje zapewniające bezpieczeństwo jazdy.

Pętla przewodowa stanowi antenę nadawczą. Długość pętli jest zwykle równa długości obwodu torowego, lecz pętla jest przesunięta o 12,5 m wstecz do kierunku jazdy względem granic obwodu torowego, wyznaczonych położeniem złączy izolowanych. Anteny odbiorcze pociągów odbierają sygnały na zasadzie sprzężenia indukcyjnego z polem magnetycznym wytworzonym przez zmienny prąd sygnałowy płynący pętlą o wartości skutecznej około 150 mA i częstotliwości nośnej 36,6 kHz. Wiadomości przekazywane do pociągu zakodowane są cyfrowo w postaci 47-bitowych telegramów cyklicznie powtarzanych. Jako sposób modulacji prądu sygnałowego przyjęto kluczkowanie częstotliwości (FSK) z dewiacją 600 Hz. Szybkość modulacji wynosi 1200 bodów, co oznacza, że w każdej sekundzie dociera do pociągu ponad 25 telegramów. Dla zidentyfikowania nowego zestawu wiadomości konieczny jest odbiór trzech telegramów o tej samej treści, a więc zwłoka czasowa wnoszona przez kanał transmisyjny przy braku zakłóceń (mogących powodować odrzucenie telegramów wskutek błędów wykrytych przez zabezpieczający kod cykliczny BCH z minimalnym odstępem Hamminga  $d_{\min} = 4$ ) nie powinna przekraczać 1/8 sekundy. Odebrane przez anteny pociągu sygnały są demodulowane i dekodowane w odbiorniku pojazdowym, dzięki czemu odtworzone zostają w pociągu wiadomości i rozkazy nadane przez część stacjonarną systemu. Dane te wraz z sygnałami pochodzącymi z pociągu (przedstawione są one w dalszej części artykułu) są analizowane przez jednostkę logiczną odbiornika. W wyniku działania odpowiednich algorytmów wypracowane zostają właściwe stany na wyjściach sterujących, które przez dopasowany do układu rozrządowego danego typu pociągu interfejs (blok sprzęgający) wywołują określone sterowania w obwodach elektrycznych pociągu.

### 3. Urządzenia pojazdowe systemu SOP-2P

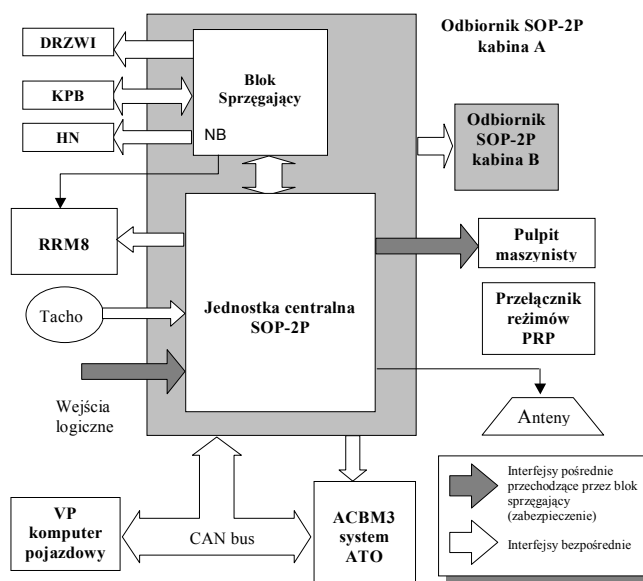
W odbiorniku systemu SOP-2P można wydzielić dwa podstawowe bloki (rys.2):

- jednostka centralna SOP-2P – część elektroniczna i procesorowa zawierająca oprogramowanie, które realizuje podstawowe nadzorcze funkcje systemu SOP-2P,
- blok sprzęgający – część przekaźnikowa systemu, stanowiąca interfejs do urządzeń zainstalowanych na pojeździe.

Ponadto system SOP-2P współpracuje z wieloma urządzeniami zewnętrznymi, z którymi wymienia informacje i sygnały sterujące:

- VP – komputer pojazdowy, steruje on wieloma funkcjami pociągu, z których do najważniejszych z punktu widzenia SOP-2P należy sterowanie napędem, hamowaniem służbowym i postojowym. Komputer pojazdowy nie jest urządzeniem bezpiecznym;

- ACBM3 – system ATO, którego głównym zadaniem jest automatyczne prowadzenie pociągu. Urządzenia systemu ATO nie są urządzeniami bezpiecznymi;
- RRM8 – prędkościomierz z rejestratorem – pokazuje prędkość rzeczywistą na podstawie danych z tachometru niezależnego od tachometrów systemu SOP-2P, dodatkowo jest on wykorzystywany przez system SOP-2P do wskazań:
  - prędkości dozwolonej na bieżącym odcinku toru,
  - prędkości dozwolonej na następnym odcinku toru,
  - sytuacji ruchowej przed pociągiem (do następnej stacji);
- TACHO – trzy tachometry, które dostarczają impulsów wykorzystywanych przez system SOP-2P do pomiaru drogi, prędkości oraz przyspieszenia;
- KPB – układ kontroli hamowania służbowego na każdym wagonie, wykorzystywany przez system do sprawdzenia poprawności wdrożenia hamowania;
- DRZWI – układ sterowania i kontroli drzwi w pociągu;
- HN – układy wykonawcze hamowania awaryjnego (nagłego) w pociągu;
- różnorakie sygnały logiczne z układów sterowania pociągiem np. o położeniu nastawnika jazdy, przełącznika rodzaju pracy itp. są doprowadzane do systemu SOP-2P poprzez wejścia cyfrowe.



Rys.2. Otoczenie urządzeń pojazdowych systemu SOP-2P

### 4. Blok sprzęgający

Blok sprzęgający zawiera przekaźniki wykonawcze systemu pojazdowego SOP-2P wykorzystywane przede wszystkim do sterowania elementami mającymi wpływ na bezpieczeństwo jazdy tj. drzwiami i hamowaniem awaryjnym (nagłym). Ponadto blok sprzęgający zawiera także elementy zabezpieczenia przed zakłóceniami elektromagnetycznymi, mogącymi wnikać do jednostki centralnej. Zabezpieczenia te obejmują wszystkie wejścia z i wyjścia do otoczenia systemu SOP-2P.

### Układ sterowania drzwi

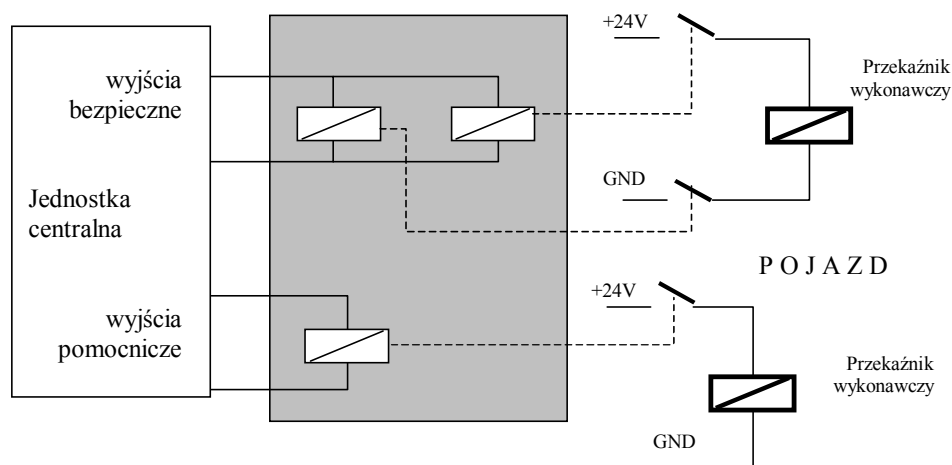
Sterowanie drzwi (rys.3) obejmuje cztery przekaźniki, które podzielone są na dwie grupy, obsługujące drzwi lewe i prawe pociągu. Sterowanie jedną grupą drzwi obejmuje:

- przekaźnik przygotowania strony otwarcia drzwi - ma on za zadanie sterowanie sygnalizacją strony otwarcia drzwi wewnątrz pociągu, ponieważ jest to tylko informacja dla pasażerów; przekaźnik ten nie jest istotny ze względu na bezpieczeństwo pracy systemu.
- przekaźnik blokowania otwarcia drzwi, w stanie beznapięciowym musi rozłączać zasilanie przekaźnika wykonawczego; ponieważ funkcja spełniana przez ten przekaźnik jest istotna ze względu na bezpieczeństwo pracy systemu, użyto dwóch przekaźników klasy II sterowanych równolegle, w których połączono szeregowo ich styki wykonawcze (w razie sklejenia styków jednego przekaźnika, drugi rozłącza obwód). Prawidłowe działanie tych przekaźników (sklejenie się styków) jest kontrolowane elektronicznie przez pojazdową jednostkę centralną systemu SOP-2P.

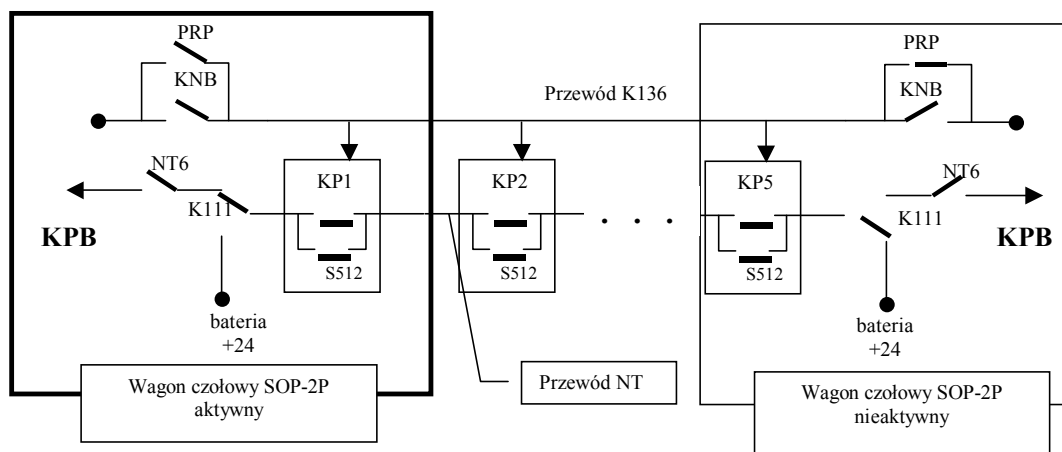
### Kontrola hamowania służbowego

W celu odcięcia napędu trakcyjnego, SOP-2P oprócz komendy do komputera pokładowego odcina zasilanie przewodu K136, poprzez który steruje się odłączeniem napędu od zasilania trakcyjnego (rys.4). Aby odłączyć napęd, system SOP-2P przerywa zasilanie przewodu K136; dzieje się tak zawsze gdy jest wdrożone przez system hamowanie nagłe - styk przekaźnika KPB. Gdy system SOP-2P jest wyłączony (przełącznik trybów pracy w pozycji OFF) obwód jest stale zamknięty przez styki PRP.

Przewód K136 jest przeprowadzony przez cały skład pociągu i zasila na każdym wagonie układy kontroli hamowania KP. Gdy siła hamowania elektrodynamicznego na każdym wagonie przekracza ustawiony próg, zwierane są przekaźniki w KP i tym samym obwód przewodu NT zamyka się, podając sygnał KPB do systemu SOP-2P w aktywnej kabiny. W ten sposób system dowiaduje się, że wszystkie wagony hamują z odpowiednią siłą. Pętla NT jest zawsze zasilana z kabiny nieaktywnej (przekaźniki NT6 i K111 nie należą do systemu SOP-2P). W systemie istnieje jeszcze alternatywny sposób informowania o skuteczności hamowania poprzez komunikację z VP.



Rys. 3. Sterowanie drzwiami przez SOP-2P



Rys.4. Układ kontroli hamowania służbowego

### Układ sterowania hamowaniem nagłym

Hamowanie nagłe wdrożone przez system SOP-2P jest realizowane w pociągu dwiema drogami (rys.5):

- poprzez elektrozawór Y111 podłączony bezpośrednio do głównego przewodu hamulcowego,
- pośrednio przez oddziaływanie na pojazdowy moduł hamowania BSE, który jest podłączony do przewodu głównego i normalnie jest używany do realizacji hamowania przez maszynistę.

Podobnie jak w przypadku układów sterowania drzwi, przekaźniki wykonawcze systemu HPN i KNB stanowią parę równoległych przekaźników II klasy z szeregowo połączonymi stykami.

Gdy system jest wyłączony (PRP=OFF) to:

- elektrozawór Y111 jest stale zasilany poprzez styki przełącznika PRP (obejście styków HPN),
- obwód BSE-R jest stale zasilany poprzez styki przełącznika PRP (brak hamowania),
- obwód BSE-Z jest otwarty (napełnianie przewodu głównego).

Stan ten nie zmienia się po załączeniu systemu, jeśli hamowanie nagłe (awaryjne) nie jest załączone.

Działanie układu po załączeniu hamowania jest następujące:

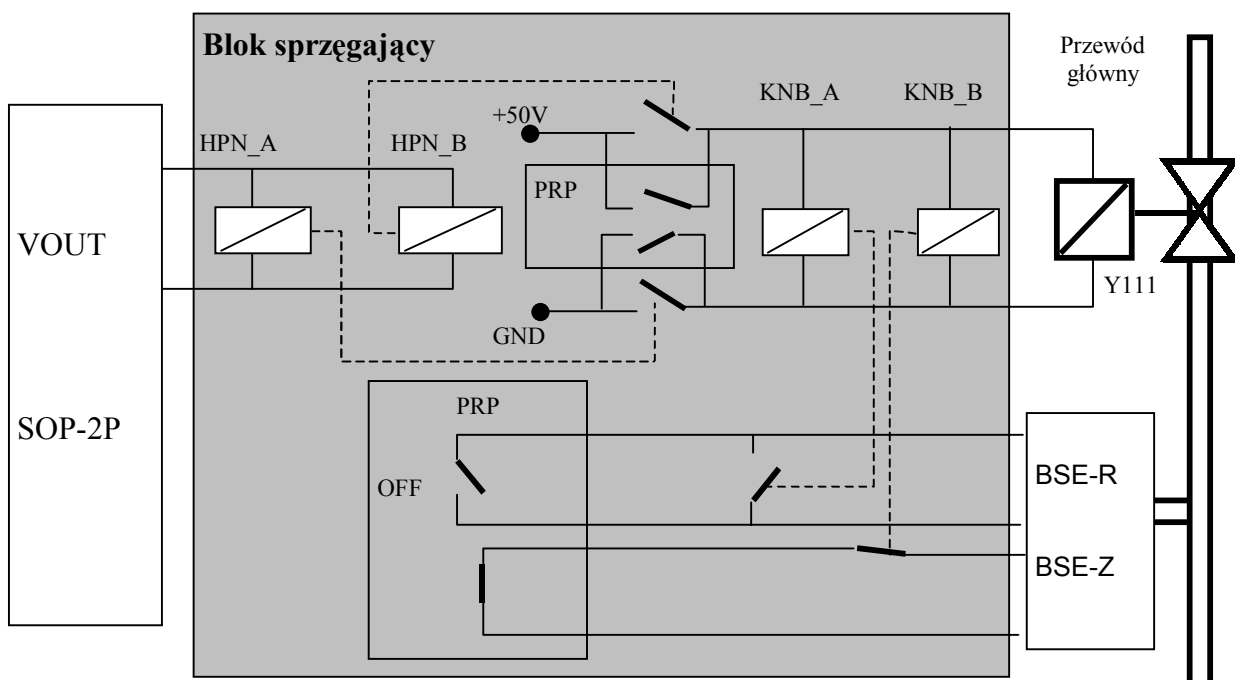
- elektrozawór Y111 traci zasilanie przez rozwarte styki HPN powodując wypuszczenie powietrza z przewodu głównego,
- elektrozawór BSE-R traci zasilanie przez rozwarte styki KNB powodując wypuszczenie powietrza z przewodu głównego,
- elektrozawór BSE-Z zostaje zasilony powodując odcięcie napełniania przewodu głównego.

Przedstawiony powyżej układ pozwala na bezpieczne załączenie awaryjnego hamowania pneumatycznego.

### 5. Podsumowanie

System SOP-2P jest zmodernizowaną i rozwiniętą wersją sprawdzonego w eksploatacji systemu SOP-2, zastosowanego w metrze warszawskim. W chwili obecnej system SOP-2P znajduje się w próbnej eksploatacji na linii A metra w Pradze. Urządzenia stacjonarne systemu są zainstalowane na całej linii, natomiast urządzenia odbiorcze zamontowano na 12 pociągach typu 8171M. Docelowo wszystkie pociągi poruszające się po linii A będą wyposażone w system SOP-2P.

System SOP-2P jest już dojrzałym technicznie systemem ATP, który może być stosowany zarówno na nowo budowanych jak i modernizowanych, już istniejących liniach metra.



Rys. 5. Układ sterowania hamowaniem nagłym (w stanie hamowania)