

Sławomir Barański, Piotr Błaszczuk
Politechnika Łódzka, Łódź

METODYKA BADAŃ I DIAGNOSTYKA URZĄDZEŃ AUTOMATYCZNEGO PROWADZENIA POCIĄGU NA PRZYKŁADZIE SYSTEMU SOP-2P

METHODOLOGY OF RESEARCH AND DIAGNOSTICS OF ATP SYSTEM ON THE EXAMPLE OF SOP-2P

Abstract: SOP 2P is an automatic train protection system, ATP, designed to assist the driver in driving the train in the safest way. It provides relevant signal information in the cab, continuous monitoring of the actions of the driver and the motion of the train. SOP 2P is designed to be transparent to the driver, as long as the traffic regulations are followed. If the traffic situation is regarded dangerous, SOP 2P will intervene and brake the train down to a safe speed, or stop the vehicle before an obstacle. Information on traffic situation obtained from interlocking equipment (track section), supplemented by additional information (section number, loop modification etc.) are formed into 47 bit telegram. The information signal after modulation and amplification supplies the transmission loops placed at the track. Antennas placed on the train, receive the telegram from the transmission loops and transmit it to the receiver, where a demodulation and reproduction of information contained in the telegram is performed. Information about speed are continuously compared with actual speed indicated by speed indicator. When the actual speed exceeds the speed limit the vehicle drive is automatically switched off and service braking is applied if necessary. If the speed is still not going to be lower an emergency braking is applied.

1. Wstęp

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, jest on produkowany w Katowicach.

Część ATO systemu opracowana i wykonana została przez AŽD. Rozwiązania techniczne 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

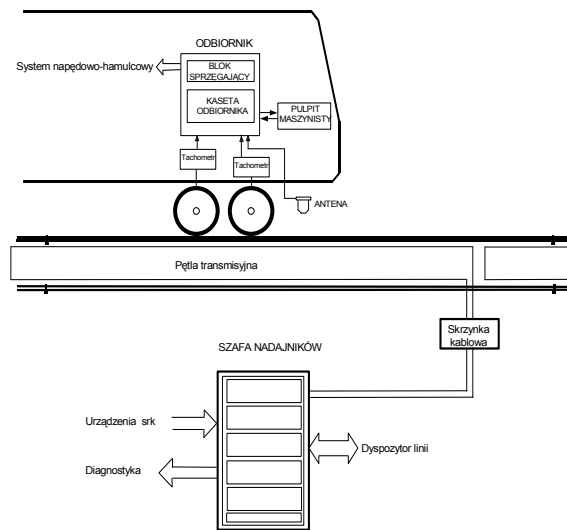
Pod względem strukturalnym system SOP-2P składa się z trzech podstawowych grup urządzeń funkcjonalnych:

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

2.1. Urządzenia stacjonarne systemu SOP-2P

Urządzenia znajdujące się w przekaźnikowni powiązane są z istniejącymi na linii metra urządzeniami sterowania ruchem kolejowym warstwy podstawowej oraz z urządzeniami zdalnego sterowania i kontroli dyspozytorskiej. Zainstalowanie urządzeń stacjonarnych systemu

nie wymaga jakichkolwiek zmian w istniejących urządzeniach srk stacyjnych i liniowych. Dla właściwej pracy systemu wystarczy tylko powiązanie z urządzeniami srk, wykorzystujące po dwa zestawy następujących przełączników: przełącznika torowego każdego obwodu torowego, przełącznika kontroli położenia zwrotnicy, przełącznika kontroli położenia wrót hermetycznych i przełączników kontroli świateł semafora dla sygnałów „stój” i ograniczających prędkość.



Rys. 1. Konfiguracja urządzeń systemu SOP

W oparciu o stany tych zestawów zespół komputerów stacyjnych przyporządkowuje każdemu obwodowi torowemu właściwy stopień prędkości, uwzględniający odległość od początku danego obwodu torowego do najbliższej 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.

2.2. Urządzenia transmisyjne systemu

Pętla przewodowa stanowi antenę nadawczą systemu. Długość pętli jest zwykle równa długości obwodu torowego, lecz pętla jest przesunięta o 12,5 m wstecz do kierunku jazdy wzglę-

dem 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.

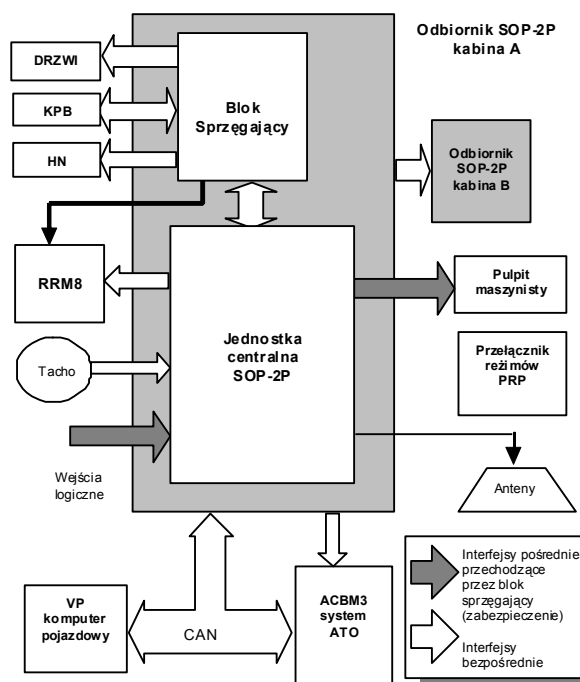
2.3. Urządzenia pojazdowe systemu SOP-2P

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. 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. Dane te wraz z sygnałami pochodzącymi z pociągu (przedstawione są 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 rozrządczego pociągu interfejs (blok sprzęgający) wywołują określone sterowania w obwodach elektrycznych pociągu. Podstawą działania systemu SOP-2P jest ciągle porównywanie rzeczywistej prędkości jazdy z tzw. prędkością kontrolowaną. Jeśli kanał transmisyjny jest sprawny, a maszynista nie naciska przycisku czujności, to prędkość kontrolowana ma wartość stopnia prędkości na danym obwodzie torowym, zawartą w telegramach wysyłanych przez nadajnik tego obwodu.

W odbiorniku systemu SOP-2P można wydzielić dwa podstawowe bloki:

- jednostka centralna SOP-2P – część elektroniczna i procesorowa zawierająca oprogramowanie, które realizuje podstawowe nadzorcze funkcje systemu SOP-2P,

- blok sprzęgający – część przekąźnikowa systemu stanowiąca interfejs do urządzeń zainstalowanych na pojeździe.



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

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,
 - prędkości dozwolonej na następnym odcinku,
 - 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 na pociągu;
- HN – układy wykonawcze hamowania awaryjnego (nagłego) na 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.

3. Urządzenia diagnostyczne systemu SOP-2P

W każdym z trzech wymienionych obszarów systemu SOP-2P, tj. urządzeń stacjonarnych, transmisyjnych oraz pojazdowych istnieją urządzenia diagnostyczne, które pozwalają na monitorowanie pracy i ocenę stanu zarówno urządzeń systemu SOP-2P, jak i urządzeń z nim współpracujących. Konkretnie rozwiązania występujące w każdym ze wspomnianych wyżej obszarów zostaną przedstawione w dalszej części artykułu.

Ze względu na dość skromny zakres artykułu nie można jednak przedstawić w nim wszystkich używanych w systemie urządzeń diagnostycznych. Oprócz tych, o których będzie mowa w dalszej części artykułu warto wspomnieć o testerach używanych do monitorowania sygnału wysyłanego z urządzeń stacyjnych do pętli nadawczych oraz testerach używanych do diagnostyki toru transmisyjnego pociągu na stacji techniczno – postojowej (depo).

4. Diagnostyka urządzeń stacjonarnych

W urządzeniach stacjonarnych można wyróżnić dwie grupy urządzeń:

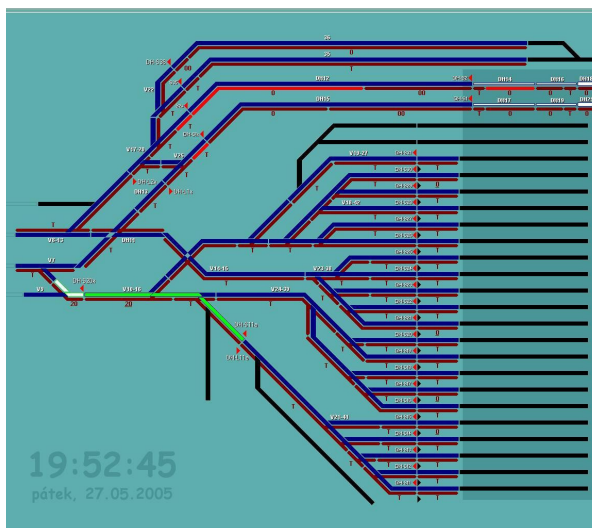
- Komputery stacyjne (KS) – przetwarzające dane z urządzeń srk oraz systemu dyspozytorskiego, ze względów bezpieczeństwa – niezawodnościowych stosowane są trzy komputery stacyjne;
- Nadajniki pojedynczego obwodu (NPO) – zapewniające transmisję wypracowanych w komputerach stacyjnych informacji do pociągu.

Podstawowym urządzeniem diagnostycznym w części stacjonarnej jest komputer diagnostyczny KS Δ. Jest on połączony z pozostałymi ko-

komputerami stacjami łącząc ethernet pozwalającym na wielokrotne w ciągu sekundy przekazanie danych o stanie systemu. Ponieważ każdy z komputerów stacyjnych połączony jest z nadajnikami pojedynczych obwodów, do komputera diagnostycznego trafia komplet informacji, zarówno o stanie komputera stacyjnego jak i wszystkich nadajników pojedynczych obwodów.

Zadaniem komputera diagnostycznego jest zobrazowanie tych informacji (rys. 3) oraz zapisywanie ich w celu późniejszej ewentualnej analizy (tzw. stacyjna „czarna skrzynka”). Do komputera diagnostycznego trafiają między innymi następujące informacje:

- stan zajętości obwodów torowych,
- położenie zwrotnic,
- wskazania semaforów,
- stan nadajników pojedynczego obwodu,
- informacje wypracowane dla pociągów.



Rys. 3. Obraz z stacjonarnego komputera diagnostycznego systemu SOP-2P

Analiza zapisanych danych pozwala na odtworzenie dowolnego momentu pracy urządzeń SOP-2P w ciągu ostatniego tygodnia ich pracy. Oczywiście przy archiwizowaniu tych danych mamy dostęp do wydarzeń z praktycznie dowolnego okresu czasu. Ponadto ponieważ oprócz stanu systemu SOP-2P zapisywane są dane, na podstawie których on pracuje, można dokonywać również analizy np. stanu przekazników urządzeń srk pod kątem równoczesności ich pracy, drgań styków itp.

5. Diagnostyka urządzeń transmisyjnych

Ocena jakości transmisji z toru do pociągu metra jest dokonywana głównie na podstawie dwóch parametrów:

- poziomu napięcia sygnału indukowanego w antenach odbiorczych na pojeździe,
- sprawności transmisji, czyli stosunku liczby poprawnie odebranych telegramów do liczby telegramów wysłanych.

Pomiar obu tych parametrów dokonywany jest przy pomocy specjalnej karty serwisowej i programu diagnostycznego uruchomionego w pociągu jadącym na linii (rys. 5). Najczęściej pomiarów tych dokonuje się w pociągu jadącym z prędkością rozkładową – pozwala to ocenić jakość transmisji jaką mają pociągi znajdujące się w normalnym ruchu. W przypadku konieczności dokonania dokładniejszych pomiarów, podczas nocnej przerwy eksploatacyjnej pociąg diagnostyczny wykonuje je podczas jazdy po linii z prędkością 10 - 15 km/h.

Pomiarów jakości transmisji można jednak dokonywać nie tylko z pociągu, obsługa urządzeń liniowych dysponuje przenośnymi testerami jakości transmisji pozwalającymi np. na ocenę dokonywanych regulacji bez konieczności wykonywania jazd pociągowych.

6. Diagnostyka urządzeń pojazdowych

Diagnostyka urządzeń pojazdowych prowadzona jest dwoma niezależnymi kanałami. W każdym z pociągów eksploatowanych na linii A zainstalowane są rejestratory RRM8 firmy SPEEL, pełnią one rolę pokładowych „czarnych skrzynek”. Z urządzeń pojazdowych SOP-2P co 200 ms wysyłane są łączem szeregowym informacje o stanie urządzeń SOP-2P. W rejestratorze zapisywane są między innymi następujące informacje:

- Prędkość aktualna pociągu,
- Prędkość dozwolona (kontrolowana),
- Prędkość dozwolona w następnym obwodzie,
- Liczba wolnych obwodów przed pociągiem (tzw. „movement authority”),
- Rozkazy systemu ATO – dotyczące bezobsługowego obrotu i przejazdu przez stację bez zatrzymywania,
- Sygnały sterujące hamowaniem postojowym, napędem, hamowaniem służbowym, hamowaniem awaryjnym i otwieraniem drzwi,

- Numery i kody błędów zgłaszanych przez system SOP 2P,
- Dodatkowe, wybrane sygnały wewnętrzne.

Te wszystkie informacje, a także inne, odczytywane bezpośrednio z pojazdu, są rejestrowane w każdym pociągu poruszającym się na linii metra. Codziennie po zakończeniu jazdy dokonywany jest odczyt zawartości rejestratora a następnie ich analiza w specjalnym oprogramowaniu diagnostycznym (rys. 5).

Jak już wspomniano informacje w rejestratorze RRM8 są zapisywane co 200 ms, niekiedy jest to zbyt mała rozdzielczość, ze względu na to, że urządzenia pojazdowe systemu SOP-2P pracują w cyklu 20 ms. W przypadku konieczności posiadania dokładniejszych danych należy w badanych urządzeniach odbiorczych zainstalować specjalną kartę serwisową współpracującą z przenośnym komputerem na którym zapisywane są otrzymane dane. Jest tu używana ta sama karta serwisowa i program diagnostyczny co w przypadku pomiarów jakości transmisji. Oprogramowanie diagnostyczne pozwala na rejestrowanie każdego cyklu pracy urządzeń odbiorczych. W każdym cyklu są rejestrowane informacje, które centralna jednostka systemu otrzymuje z kart pomocniczych, zbierających sygnały z pociągu, mierzących jego prędkość, odbierających informacje z toru, sterujących urządzeniami pojazdowymi itp. Ponieważ cały odbiornik zbudowany jest dwukanałowo to rejestrowane są oczywiście informacje z obu kanałów. Ze względu na bardzo dużą liczbę rejestrowanych w ten sposób danych (kilkadziesiąt MB w ciągu godziny) można dokładnie zdiagnozować stan urządzeń pojazdowych systemu. Jednakże z tego samego względu – bardzo duża ilość danych do analizy – stosowanie go w codziennej eksploatacji byłoby dość uciążliwe.

7. Podsumowanie

System automatycznego ograniczania prędkości typu SOP 2P został zainstalowany na linii A metra w Pradze. W artykule na początku zaprezentowane zostały zasady działania systemu, jego możliwości ruchowe oraz parametry układu transmisji danych z toru do pociągu. Ponadto opisano strukturę systemu w zakresie urządzeń stacjonarnych, transmisyjnych i pojazdowych.

W dalszej części artykułu omówiono stosowane w systemie urządzenia i programy diagnostyczne. W każdym z obszarów działania sys-

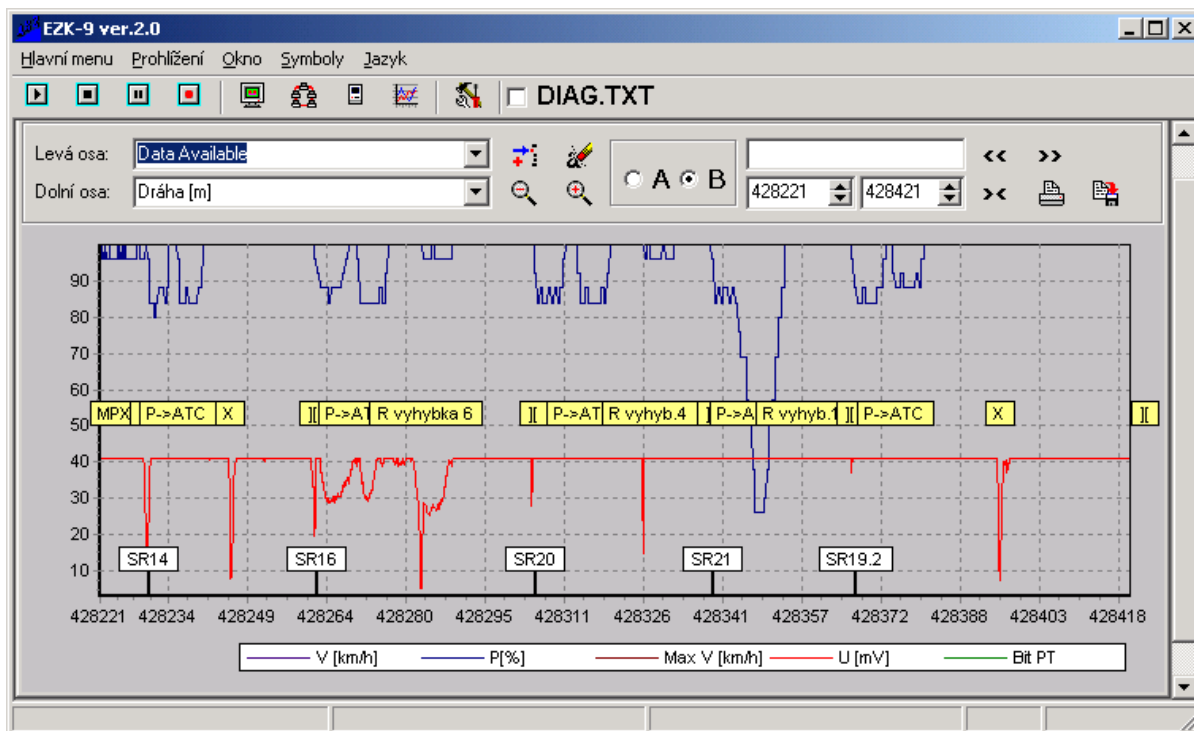
temu SOP-2P, (urządzenia stacjonarne, transmisyjne oraz pojazdowe) przedstawiono rozwiązania, które pozwalają na monitorowanie pracy i ocenę stanu zarówno urządzeń systemu SOP-2P jak i urządzeń z nim współpracujących.

8. Literatura

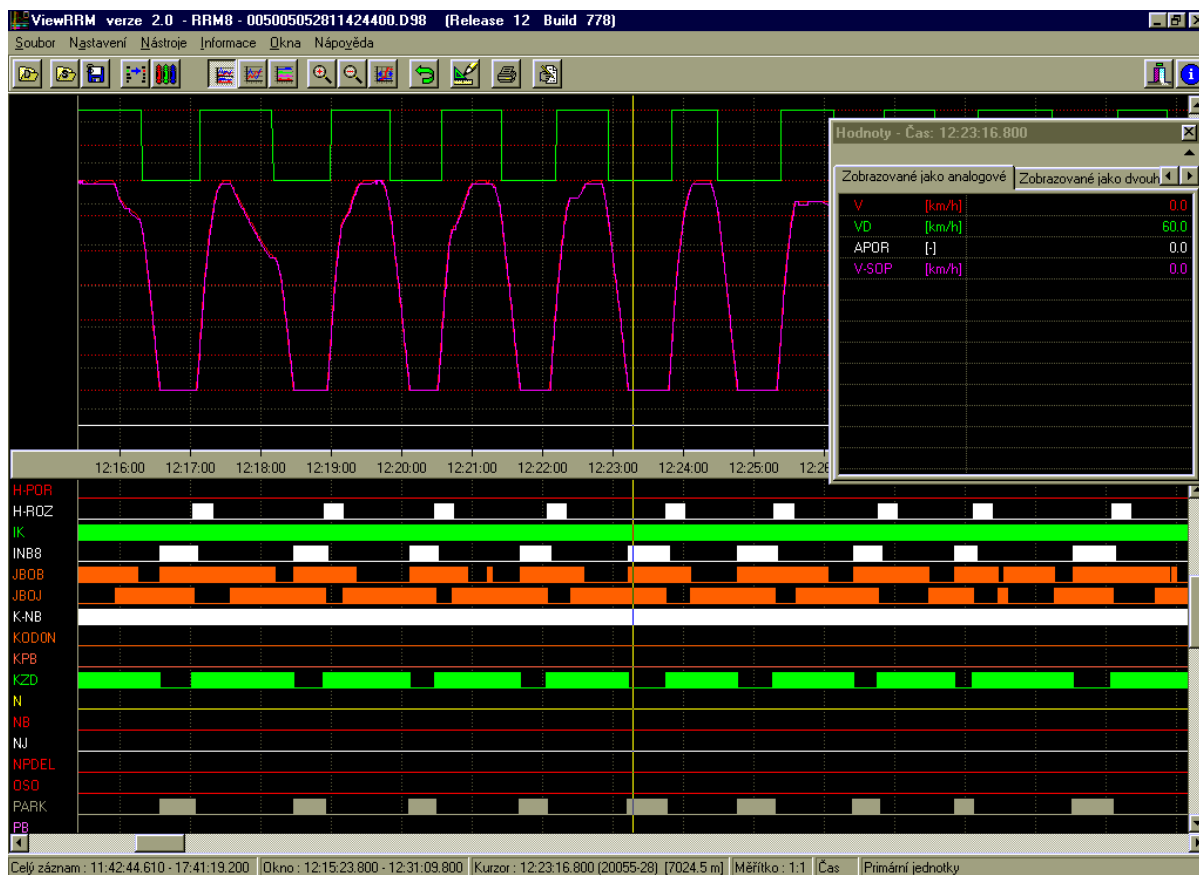
- [1]. S. Barański: Współpraca systemu ATP z pociągiem na linii A metra w Pradze, Pojazdy Szynowe nr 2/2005.
- [2]. S. Barański: Struktura bezpieczeństwa urządzeń systemu ATP typu SOP-2P, Konferencja Naukowo – Techniczna SEMTRAK, Zakopane 2004 r.
- [3]. S. Barański, S. Kubik: Systemy ATP typu SOP dla metra, Konferencja MET'2003, Warszawa 2003r.
- [4]. S. Barański, H. Karbowski: Metoda obliczania stopni prędkości w systemie ATP typu SOP-2P dla linii A metra praskiego, XV Konferencja Naukowo – Techniczna Pojazdy Szynowe, Szklarska Poręba 2002 r.
- [5]. S. Barański: System ATP typu SOP-2P dla linii A metra praskiego, Konferencja Naukowo – Techniczna SEMTRAK, Zakopane 2002 r.

Autorzy

dr inż. Sławomir Barański,
 dr inż. Piotr Błaszczuk,
 Zakład Transportu i Przetwarzania Energii, Instytut Elektroenergetyki Politechniki Łódzkiej,
 email: slawomir.baranski@p.lodz.pl,
 piotr.blaszczuk@p.lodz.pl



Rys. 4. Wykres zmian napięcia z anten odbiornika i sprawności transmisji z programu diagnostycznego systemu SOP-2P



Rys. 5. Wykres zmian sygnałów w odbiorniku z pojazdowego programu diagnostycznego