

BARAŃSKI Sławomir¹
 BŁASZCZYK Piotr²

Bezobsługowe zawracanie pociągów metra na stacji końcowej

metro, system ATC,
 automatyka prowadzenia pociągu

Streszczenie

W artykule przedstawiono jedną z funkcji nowoczesnych systemów ATC - bezobsługowe (tzn. bez obecności maszynisty w kabinie) zawracanie pociągu metra na stacji końcowej. Wybrane elementy rozwiązania przedstawione zostały na przykładzie implementacji tej funkcji w systemie SOP-2P. Bezobsługowe zawracanie pociągów metra pozwala na zmniejszenie liczby maszynistów obsługujących daną linię oraz skrócenie czasu zawracania pociągów na stacji końcowej.

DRIVERLESS TURNOVER SUBWAY TRAINS ON THE END STATION

Abstract

This article presents one of the functions of modern ATC systems - driverless (i.e. without the presence of the driver in the cab) subway train turnover at the end station. Some elements of the solution are shown in the example implementation of this feature in SOP-2P system. Turnover of driverless subway trains allows reduction of number of drivers that supports particular line and shortens the time for turning trains back at the end station.

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. Oba systemy razem są systemem klasy ATC.

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 przy współpracy Politechniki Łódzkiej i firmy Bombardier Transportation Zwus, jest on produkowany w Katowicach. Część ATO systemu opracowana i wykonana została przez AŽD. Rozwiązania techniczne urządzeń tego systemu są oparte na systemie AVVČD wyprodukowanym przez AŽD i wdrażanym na Kolejach Czeskich.

Po przekazaniu do eksploatacji w 2006 r. systemu zainstalowanego na linii A metra w Pradze, rozpoczęto prace nad wprowadzeniem w systemie funkcji bezobsługowego (bez obecności maszynisty w kabinie pociągu) zawracania pociągów metra na stacji końcowej.

2. SYSTEM SOP-2P

Pod względem strukturalnym w systemie SOP-2P można wyróżnić [1,4] trzy podstawowe grupy urządzeń funkcjonalnych (rys. 1):

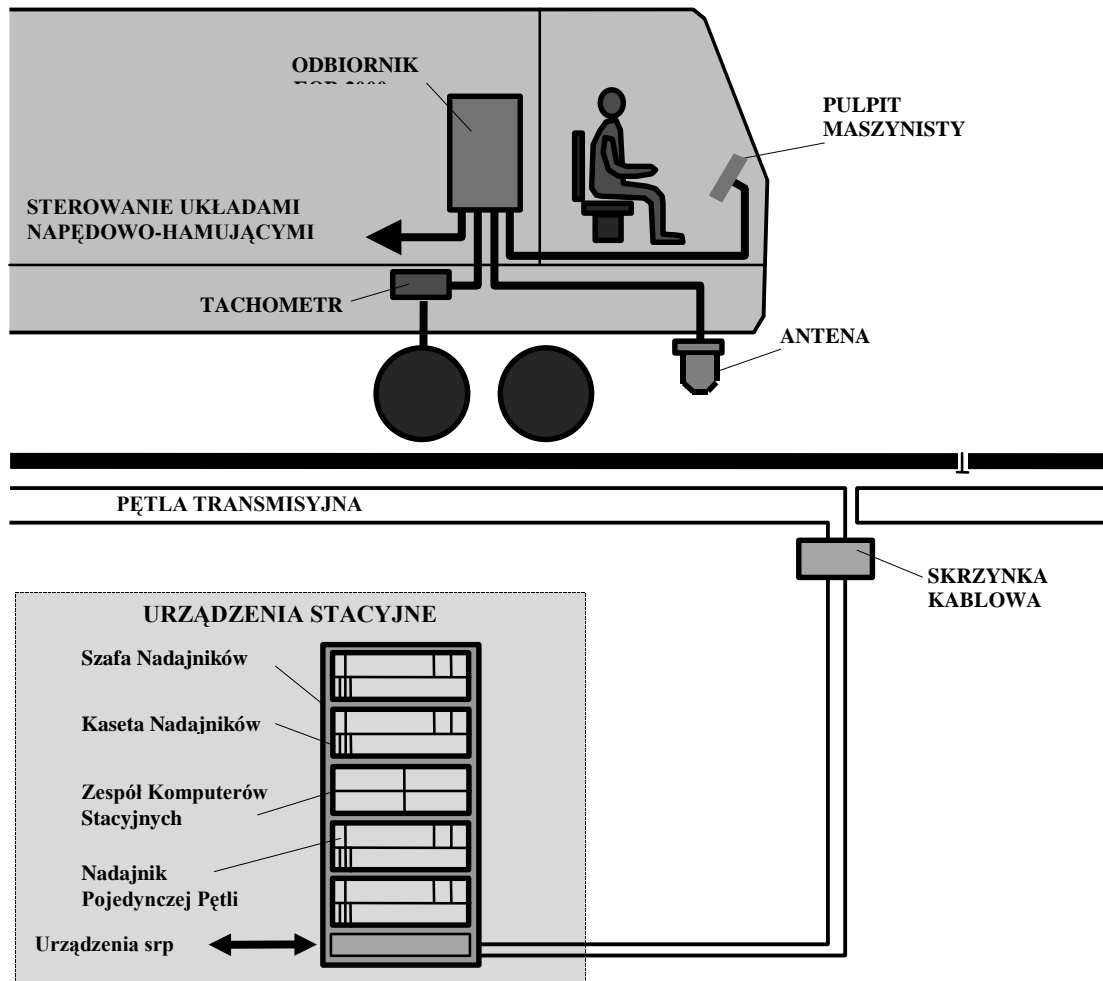
- urządzenia stacyjne (nadawcze), zlokalizowane w przekaźnikowni na stacji,
- urządzenia transmisyjne, którymi są pętle nadawcze ułożone symetrycznie w torze,
- urządzenia pojazdowe (odbiorcze), zabudowane na taborze metra.

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 czy liniowych. Dla właściwej pracy systemu SOP-2P wystarczy jedynie powiązanie z urządzeniami srk, wykorzystujące po dwa zestawy następujących przekaźników: przekaźnika torowego każdego obwodu 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 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

¹ Instytut Elektroenergetyki Politechniki Łódzkiej, 90-924 Łódź, ul. Stefanowskiego 18/22,
 e-mail: slawomir.baranski@p.lodz.pl

² Instytut Elektroenergetyki Politechniki Łódzkiej, 90-924 Łódź, ul. Stefanowskiego 18/22,
 e-mail: piotr.blaszczyk@p.lodz.pl

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.



Rys.1. Urządzenia systemu SOP-2P

Pętla transmisyjna (przewodowa) jest jednocześnie anteną nadawczą. Długość pętli jest zwykle równa długości obwodu torowego, lecz pętla najczęściej 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 częstotliwości nośnej 36,6 kHz i wartości skutecznej około 150 mA. 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 kolejno 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. PRZYCZYNY WPROWADZENIA BEZOBSŁUGOWEGO ZAWRACANIE POCIĄGU

Bezobsługowe zawracanie pociągów na stacji Dejvicka na linii A metra w Pradze to zautomatyzowany obrót (zmiana kierunku jazdy) pociągów metra przy minimalnym udziale maszynisty, bez jego obecności w kabinie pociągu. Bezobsługowe zawracanie pociągów na stacji końcowej jest uzasadnione ekonomicznie. W godzinach szczytu przy

zawracaniu pociągów pracowało dwóch dodatkowych maszynistów obsługujących tylko zawracanie pociągu. Po wjechaniu pociągu na peron stacji końcowej wysiadł z niego maszynista, który prowadził pociąg na linii, natomiast do obu kabin z przodu i z tyłu pociągu wsiadali dodatkowi maszyniści, którzy wykonywali właściwy obrót pociągu. Wprowadzenie bezobsługowego obrotu pozwala zmniejszyć obsługę linii o tych maszynistów, ponadto obrót realizowany automatycznie jest wykonywany szybciej, krótszym czasie. Oszczędności czasowe wynikają głównie z tego, że przy obrocie automatycznym pociąg cały czas jest sterowany z tej samej kabiny – zarówno przy jeździe w tory odstawcze jak i z powrotem. Tak więc nie traci się czasu na zmianę i aktywację drugiej kabiny. W przypadku obrotu automatycznego zmiana kabiny następuje w czasie, gdy pociąg stoi już na peronie podczas wsiadania do niego pasażerów. Drugim elementem pozwalającym na skrócenie czasu zawracania jest zauważalnie krótszy czas reakcji urządzeń systemu, w porównaniu z czasem reakcji człowieka, pozwalający na optymalne wykorzystanie przepustowości torów odstawczych.

4. DŁUGOŚĆ DROGI HAMOWANIA W TORACH ODSTAWCZYCH

Wymaganą długość drogi hamowania w torach odstawczych (gdzie wykonywany jest proces zawracania) można obliczyć dokładnie tak samo jak w przypadku torów szlakowych. Obliczając maksymalną drogę hamowania zawsze bierze się pod uwagę możliwość jednoczesnego wystąpienia następujących najbardziej niesprzyjających okoliczności [2,5]:

- 1) Przy wjeździe pociągu w obszar następnej pętli transmisyjnej przerywa się dopływ nowych informacji do pociągu, w wyniku tego zdarzenia wysłanie rozkazu hamowania służbowego następuje dopiero po przejechaniu maksymalnej dozwolonej drogi jazdy bez transmisji - czyli 25 m od początku niesprawnej pętli.
- 2) Wysłany przez system SOP-2P rozkaz hamowania nie dotrze do komputera pojazdowego, lub w pociągu zawiedzie hamowanie służbowe i w efekcie po zadanym czasie do urządzeń pojazdowych systemu SOP-2P nie dotrze zwrotna informacja potwierdzająca skuteczność zadanego hamowania służbowego. Reakcją systemu będzie odzwbudzenie elektrozaworu hamowania pneumatycznego nagłego.
- 3) Pociąg na końcu ostatniej pętli za sprawną transmisją osiągnął prędkość bliską $V_{max}+2\text{km/h}$, gdzie V_{max} oznacza maksymalną prędkość dozwoloną w tym punkcie toru.

Konsekwencją założenia drugiego (braku właściwej reakcji pociągu na rozkaz hamowania służbowego pełnego) jest mniej skuteczne zastępcze hamowanie pneumatyczne nagłe, które pojawi się z opóźnieniem 3,9 s od momentu wysłania rozkazu hamowania służbowego. Na opóźnienie to składa się czas oczekiwania na sygnał potwierdzenia skuteczności hamowania (1,9 s) oraz gwarantowany czas rozwinięcia się hamowania nagłego (2 s). W tych warunkach założenie trzecie lub nr , że pociąg na końcu tej pętli miał prędkość przekraczającą V_{max} , oznacza, że bierzemy pod uwagę możliwość dalszego wzrostu prędkości pociągu wskutek jazdy wybiegiem na spadku toru pomimo automatycznego, wcześniejszego wyłączenia napędu. Obliczona przy powyższych założeniach droga hamowania pociągu składa się z trzech elementów:

- s_z - drogi przejeżdżanej w czasie jazdy bez transmisji 25 m
- s_w - drogi przejeżdżanej w czasie jazdy wybiegiem (3.9s),
- s_h - drogi przejeżdżanej w czasie hamowania awaryjnego (pneumatycznego).

Sumaryczne drogi hamowania dla stopni prędkości występujących w torach odstawczych zebrano w tabeli pierwszej lub nr 1.

Tab. 1. Sumaryczna droga hamowania (na podstawie [2])

$V_{s.p.}$ [km/h]	s_z [m]	s_w [m]	s_h [m]	$s = s_z+s_w+s_h$ [m]
20	25,0	23,6	19,2	67,8
30	25,0	34,4	40,9	100,3
35	25,0	39,8	54,7	119,5
40	25,0	45,2	70,5	140,7

Jak widać z danych zamieszczonych w tabeli, rzeczywista droga hamowania s_h to jedynie od 30% do 50% sumarycznej drogi hamowania s . W przypadku torów budowanych w tunelu dłuższa droga hamowania bardzo zwiększa koszty. Dlatego też starając się zmniejszyć długość sumarycznej drogi hamowania, zmianie musiały ulec dwa pierwsze składniki ponieważ ze względów oczywistych nie można zmniejszyć drogi hamowania awaryjnego. W torach odstawczych zawracający pociąg może realizować bardziej restrykcyjne ograniczenia, gdyż jazdy te odbywają się bez pasażerów. Maksymalna droga, która może być przejechana bez transmisji z urządzeń stacjonarnych została skrócona do kilku metrów a jej długość zależy od stopnia prędkości. Ponadto zrezygnowano ze stosowania przez system ATP hamowania służbowego, zastępując je od razu hamowaniem awaryjnym. Pozwoliło to na skrócenie o ponad połowę drogi jazdy wybiegiem przejeżdżanej w czasie rozwijania hamowania awaryjnego. Oczywiście hamowanie awaryjne jest używane tylko przez system ATP, system ATO prowadzący pociąg w czasie bezobsługowego obrotu wykorzystuje hamowanie służbowe. Powyższe założenia pozwoliły na wprowadzenie w torach odstawczych tak zwanych restryktywnych stopni prędkości (RSS), które mają taką samą wartość jak stopnie prędkości stosowane na szlaku ale charakteryzują się o wiele krótszymi sumarycznymi drogami hamowania. Oczywiście mimo takich samych wartości stopni prędkości są one inaczej

kodowane Tak więc urządzenia pojazdowe systemu zawsze wiedzą w jaki sposób realizować dane ograniczenie. Drogi hamowania obliczone dla restryktywnych stopni prędkości zebrano w tabeli drugiej.

Tab. 2. Sumaryczna droga hamowania dla stopni prędkości RSS (na podstawie [6])

$V_{s.p.}$ [km/h]	s_z [m]	s_w [m]	s_h [m]	$s = s_z+s_w+s_h$ [m]
20	5,0	11,1	17,2	33,4
30	6,0	16,7	38,2	60,8
35	6,5	19,4	51,7	77,7
40	7,0	22,2	67,3	96,5

5. OPIS FUNKCJONALNY BEZOBSŁUGOWEGO OBROTU

Proces realizacji funkcji bezobsługowego obrotu (RBO) można podzielić na kilka etapów [3]:

- etap 1 – inicjalizacja bezobsługowego obrotu rozpoczyna się po zatrzymaniu pociągu przy peronie stacji końcowej,
- etap 2 – jazda w tory odstawcze, ten etap rozpoczyna się po wyjściu maszynisty z pociągu, i wydaniu przez niego już z peronu polecenia odjazdu pociągu,
- etap 3 – zmiana kierunku jazdy, po zatrzymaniu się pociągu w miejscu docelowym w torach dostawczych zmiana kierunku jazdy, bez zmiany kabiny sterującej pociągu,
- etap 4 – jazda z powrotem do peronu stacji, po zmianie kierunku jazdy i ułożeniu nowej drogi przebiegu Bezobsługowy obrót kończy się po zatrzymaniu pociągu na peronie stacji, następuje wówczas wyłączenie urządzeń w kabinie, z której był sterowany obrót oraz przekazanie sterowania do drugiej kabiny do której po zatrzymaniu pociągu wsiadł maszynista.

Na rysunku drugim przedstawiono etapy realizacji bezobsługowego obrotu.

Etap 1

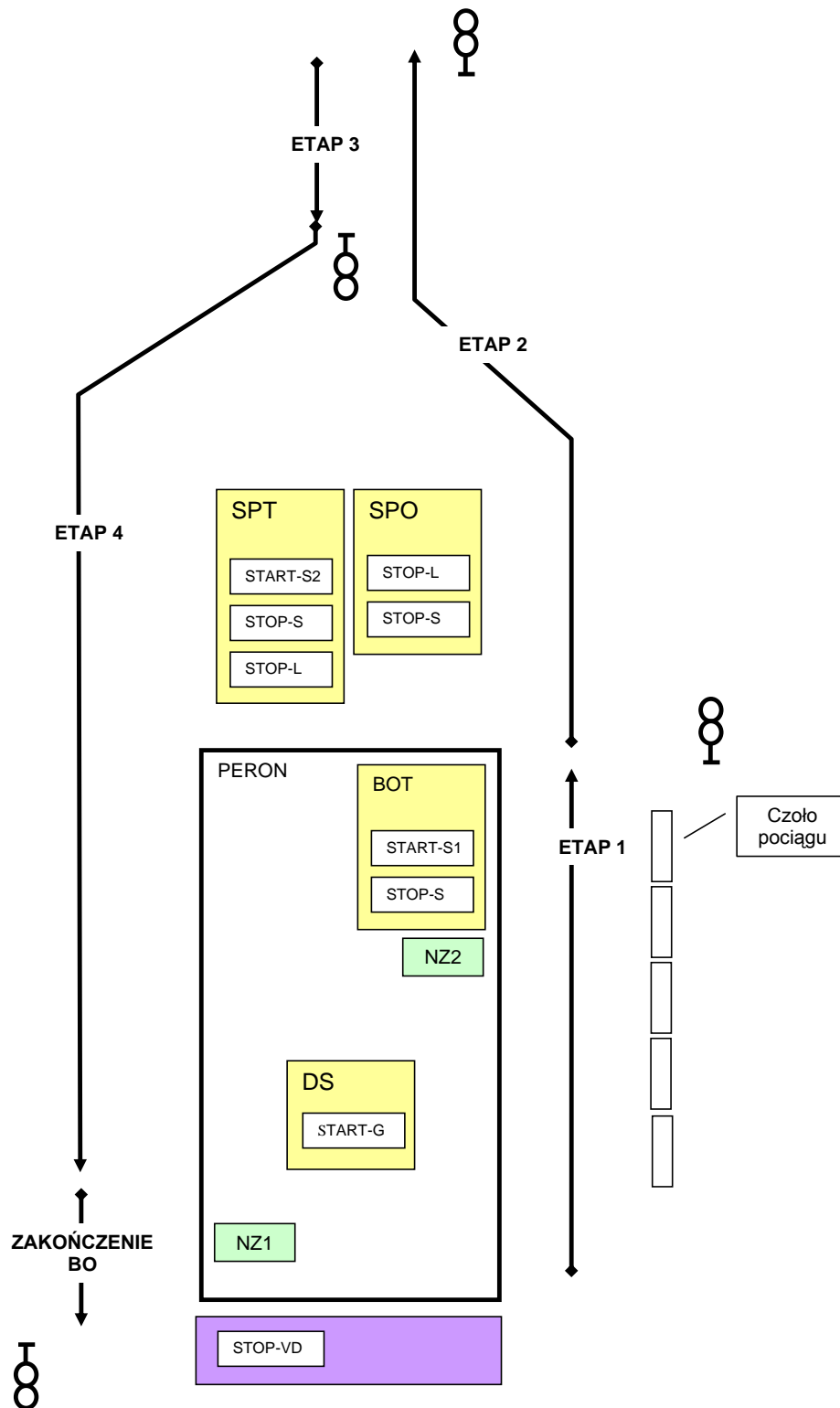
Przygotowanie pociągu do jazdy na tor odstawczy:

- a) Pociąg wjeżdża na peron stacji, na której będzie wykonywany bezobsługowy obrót. Zatrzymuje się na końcu peronu i otwierają się drzwi (automatycznie lub ręcznie). Dopóki na semaforze wyjazdowym z peronu jest wyświetlany sygnał stój, z części stacjonarnej systemu SOP-2P wysyłany jest rozkaz „BO dozwolony”. Po zmianie sygnału na semaforze na zezwalający, do pociągu zaczyna być wysyłany rozkaz „BO wprzód”. Gdy urządzenia pojazdowe systemu otrzymają ten rozkaz, na pulpicie maszynisty zostanie wyświetlona informacja „BO możliwy”. Ta sekwencja rozkazów jest możliwa tylko wtedy gdy dyspozytor nie zablokował możliwości wykonywania obrotu bezobsługowego i gdy wszystkie urządzenia uczestniczące w BO są sprawne.
- b) Maszynista odhamowuje pociąg (poprzednio było włączone hamowanie przy semaforze wskazującym stój) i przekłada przełącznik wybór reżimu pracy do pozycji BO. Następnie opuści pociąg i zamknie drzwi kabiny.
- c) Po opuszczeniu kabiny, i sprawdzeniu opuszczenia pociągu przez pasażerów maszynista podchodzi do pulpitu peronowego (BOT) na którym umieszczony jest stacyjny przycisk odjazdu. Pulpit jest odblokowywany kartą maszynisty.
- d) Jeśli karta została poprawnie rozpoznana i jest możliwa realizacja bezobsługowego obrotu zacznie migać lampka przycisku odjazdu umieszczonego na pulpicie BOT.

Etap 2

Jazda pociągu na tory odstawcze:

- a) Maszynista wciskając przycisk BOT wydaje stacjonarnej części SOP-2P rozkaz „BO odjazd”, który jest następnie przekazywany do pociągu. W urządzeniach pojazdowych rozkaz ten jest traktowany tak jak wciśnięcie przycisku TOD w kabinie, tzn. rozpoczyna się automatyczny odjazd pociągu z peronu w tory odstawcze. Wciśnięcie przycisku BOT jest w pociągu nadzorowane, przycisk musi być wciśnięty tak długo, aż pociąg nie opuści peronu – czoło pociągu musi przejechać 100m. Po zajęciu (lub zwolnieniu) przez pociąg określonego obwodu torowego (skojarzonego z kontrolowaną odl. 100m od krawędzi peronu), urządzenia stacjonarne sygnalizują możliwość puszczenia przycisku BOT przez zgaszenie zielonej diody LED. Maszynista wyjmuje swoją kartę, zamyka pulpit i udaje się na przeciwległy koniec peronu, gdzie zatrzymują się pociągi wyjeżdżające z torów odstawczych.
- b) Wcześniejsze puszczenie przez maszynistę przycisku BOT, tak samo jak w przypadku przycisku TOD, powoduje włączenie hamowania nagłego i zatrzymanie pociągu. Ponowne wciśnięcie przycisku BOT spowoduje zwolnienie hamowania nagłego (tylko dla pociągu stojącego) i kontynuowanie procesu bezobsługowego zawracania.



Rys. 2 Etapy realizacji bezobsługowego zawracania

Użyte na rysunku oznaczenia to:

- BOT – pulpit maszynisty sterujący zawracaniem znajdujący się na peronie stacji,
- DS – stanowisko dyspozytora peronowego,
- SPO – stanowisko dyspozytora maszynistów,
- SPT – stanowisko dyspozytora sterowania miejscowego srk,
- START-S1 – przycisk rozpoczynający sekwencję bezobsługowego obrotu,
- START-S2 – przycisk umożliwiający wznowienie bezobsługowego obrotu,
- START-G – przyciski zezwolenia/wznowienia bezobsługowego obrotu,
- STOP-S – przycisk zatrzymania bezobsługowego obrotu na torze parzystym,
- STOP-L – przycisk zatrzymania bezobsługowego obrotu na torze nieparzystym,
- STOP-VD – sygnał od dyspozytora linii zabraniający/zatrzymujący bezobsługowy obrót.

Etap 3

Automatyczna zmiana kierunku jazdy:

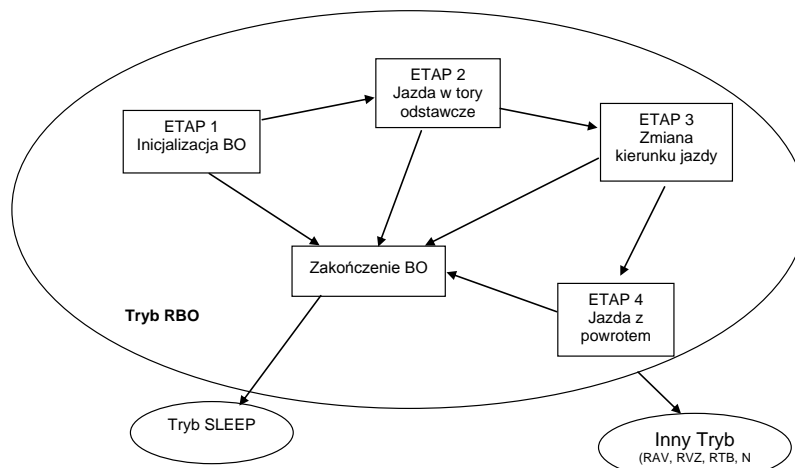
- Po wjechaniu w tory odstawkowe pociąg automatycznie zatrzymuje się. Po ułożeniu drogi przebiegu do zawracania, urządzenia stacjonarne wysyłają do pociągu (do wszystkich pętli znajdujących się w drodze przebiegu oraz do pętli, nad którą znajduje się czoło zatrzymanego pociągu) rozkaz „BO wstecz”. Po otrzymaniu tego rozkazu urządzenia pojazdowe przełączają anteny odbiorcze i zaczynają odbierać sygnały z anten umieszczonych w tylnej części pociągu. Poprawny odbiór adresowanych telegramów z anten tylnych zezwala na przełączenie kierunku jazdy pociągu i rozpoczyna się wyjeżdżanie pociągu z torów dostawczych na peron.
- Po pomyślnym przełączeniu anten odbiorczych, system sprawdza czy również i pozostałe systemy sterujące pociągiem (tzn. system ATO - ACBM3 oraz komputer sterujący pociągiem – VP) przełączyły się do jazdy wstecz.

Etap 4

Jazda z toru odstawkowego na drugi tor przyperonowy:

- Pociąg wyjeżdża z torów dostawczych, wjeżdża w peron i zatrzymuje się w krótkiej pętli. Po zatrzymaniu pociągu, urządzenia w kabinie, z której sterowany był obrót przechodzą do stanu nieaktywnego.
- Do kabiny znajdującej się obecnie z przodu pociągu (tzn. tylnej kabiny pociągu jadącego do obrotu) wsiada maszynista, który po wyprawieniu pociągu (etap 2) w czasie, gdy pociąg zawracał przeszedł wzdłuż peronu na drugi koniec stacji. Maszynista po wejściu do kabiny otwiera drzwi pociągu tak, aby mogli do niego wsiadać pasażerowie i rozpoczyna standardową procedurę przejęcia sterowania w kabinie.

Na rysunku trzecim przedstawiono uproszczony graf pracy urządzeń pojazdowych systemu SOP-2P podczas realizacji bezobsługowego obrotu.



Rys. 3 Uproszczony graf pracy urządzeń pojazdowych systemu SOP-2P w trybie RBO

6. PODSUMOWANIE

Zaimplementowana w systemie SOP-2P funkcja bezobsługowego zawracania pociągu na stacji końcowej pozwala na w pełni automatyczne, przy minimalnym udziale człowieka zawracanie pociągów na stacji Dejwicka na linii A metra w Pradze. Stacja ta jest stacją typu otwartego, dlatego też położono bardzo duży nacisk na bezpieczną realizację tej funkcji, przy jednoczesnym zapewnieniu spodziewanych efektów ekonomicznych. Bezobsługowe zawracanie pociągów na stacji końcowej pozwala na: zmniejszenie liczby maszynistów obsługujących daną linię, skrócenie czasu zawracania pociągów, a w efekcie na zmniejszenie o jeden skład liczby pociągów wymaganych do obsługi linii w godzinach szczytu.

7. BIBLIOGRAFIA

- Barański S.: *System ATP typu SOP-2P dla linii A metra praskiego*. Materiały Konferencji Naukowej Trakcji Elektrycznej Semtrak 2002. Zakopane 2002.
- Barański S., Karbowski H.: *Metoda obliczania stopni prędkości w systemie ATP typu SOP-2P dla linii A metra praskiego*. Prace Naukowe Instytutu Konstrukcji i Eksploatacji Maszyn Politechniki Wrocławskiej 2002 nr 86 T.1.
- Barański S., Karbowski H.: *Bezpieczeństwo ruchu w transporcie*. Monografie Politechniki Łódzkiej. Łódź 2011.
- Barański S., Kubik.: *Systemy ATP typu SOP dla metra*. Materiały VI Międzynarodowej Konferencji Naukowej „Nowoczesna Trakcja Elektryczna w zintegrowanej Europie XXI wieku” MET’2003. Warszawa 2003.
- Bergiel K., Karbowski H.: *Automatyzacja prowadzenia pociągu*. EMI-PRESS, Łódź 2005.
- Bryła W.: *SOP-2P Metodyka wyznaczania stopni prędkości*. Materiał wewnętrzny BT ZWUS, Katowice 2004.