

Wojciech Ulatowski, Rafał Golicki

Zarządzanie nowoczesną zajezdnią

W artykule przedstawiono podstawowe zagadnienia dotyczące technologii sterowania i zarządzania ruchem stosowanych w nowoczesnych zajezdniach tramwajowych, opisano strukturę systemu Automatycznego Zarządzania Zajezdnią i przedstawiono elementy wchodzące w jego skład. Opisano również cechy oraz właściwości proponowanego rozwiązania. Przedstawione koncepcje oparte są na doświadczeniach firm: TENS Sp. z o.o. oraz CONTEC GmbH (Niemcy).

Na przestrzeni ostatnich kilkunastu lat zwiększyło się w Polsce znaczenie komunikacji miejskiej, w tym również tramwajowej. Zarówno duże aglomeracje, jak i średniej wielkości miasta, wychodząc naprzeciw oczekiwaniom mieszkańców podejmują działania mające na celu z jednej strony podniesienie komfortu podróżowania, a z drugiej strony poprawę efektywności transportu miejskiego. Realizowane inwestycje dotyczą zarówno taboru tramwajowego, jak i infrastruktury torowej oraz utrzymaniowej.

Biorąc pod uwagę aktualne uwarunkowania (przede wszystkim dynamiczne zwiększenie natężenia ruchu tramwajowego w miastach), niezbędna jest modernizacja zaplecza technicznego, w tym unowocześnienie zajezdni. Potrzeba modernizacji zajezdni wynika również ze zmiany podejścia do zabudowy przestrzennej miast – tereny przeznaczone na zajezdnie i pętle tramwajowe powinny być jak najmniejsze i położone poza centrum. Oznacza to koncentrację taboru tramwajowego w jednej lub dwóch zajezdniach, obsługujących całe miasto. Przy tak dużym skomasowaniu ruchu tramwajowego na relatywnie niewielkiej powierzchni, ważną staje się automatyzacja maksymalnie dużej liczby procesów realizowanych na terenie zajezdni. Potrzeba automatyzacji wynika również ze zwiększających się kosztów pracy oraz utrzymania urządzeń infrastruktury.

Eksploatowane obecnie w Polsce zajezdnie zostały zaprojektowane i wybudowane kilkadziesiąt lat temu. W ostatnich latach przeprowadzono remonty kilku zajezdni tramwajowych w Polsce. Zakres robót ograniczał się najczęściej do odtworzenia stanu poprzedniego, bez gruntownej zmiany organizacji pracy i zastosowania nowych technologii sterowania oraz zarządzania ruchem. Nadal jest potrzeba budowy zupełnie nowych obiektów, a w obiektach już istniejących – wykonania kompleksowych modernizacji, łącznie z instalacją automatycznych systemów sterowania i zarządzania ruchem oraz systemów zarządzania pracą całej zajezdni.



Rys. 1. Warstwy systemu Automatycznego Zarządzania Zajezdnią (AZC)

Powazną barierą w procesie modernizacji zajezdni jest brak doświadczenia w realizacji złożonych projektów o takim charakterze, a także niewystarczająca znajomość najnowszych rozwiązań technicznych, stosowanych przy projektowaniu i budowie zautomatyzowanych zajezdni. Uzasadnione zatem jest umiejętne wykorzystanie wiedzy i doświadczenia w zakresie stosowania nowoczesnych technologii zdobytych w ostatnich kilku latach podczas modernizacji zaplecza tramwajowego w krajach Europy Zachodniej. Korzystając ze sprawdzonych rozwiązań, należy uwzględnić specyfikę polskiego rynku i zadbać o to, aby rozbudowane systemy automatyczne zainstalowane w zajezdni wspierały efektywnie jej funkcjonowanie.

Rozwiązania techniczne

Architektura systemu Automatycznego Zarządzania Zajezdnią

Zarządzanie zajezdnią jest bardzo złożonym procesem, do realizacji którego wykorzystuje się wiele połączonych ze sobą systemów. Priorytetem jest jak najszybsze ulokowanie tramwajów na torach postojowych oraz wykonanie niezbędnych – planowych i nieplanowych – prac technologicznych.

W proponowanym podejściu wyodrębniono pięć podstawowych warstw systemu Automatycznego Zarządzania Zajezdnią, co przedstawiono na rysunku 1.

Warstwa sterowania ruchem

Ze względu na relatywnie duży obszar zajezdni, który obsługiwany jest przez system Automatycznego Zarządzania Zajezdnią (AZC), obiekt ten został podzielony na strefy. Podział ten jest definiowany indywidualnie dla konkretnej zajezdni i grupuje elementy systemu z danego obszaru (strefy). Celem takiego podziału jest minimalizacja kosztów budowy infrastruktury systemu, przede wszystkim okablowania, możliwość etapowej rozbudowy systemu oraz jego podatność utrzymaniowa. Podział na strefy implikuje podział Systemu Sterowania Ruchem (SSR) na lokalne oraz zdalne sterowanie. Lokalne sterowanie ruchem odpowiedzialne jest za sterowanie i kontrolę urządzeń zainstalowanych w pojedynczej strefie. Do urządzeń tych należą napędy zwrotnicowe, sygnalizatory oraz układy blokady torowej. Ponieważ w obszarze pojedynczej strefy może zostać zainstalowanych wiele urządzeń, celowy jest jej podział na mniejsze podstrefy, obsługiwane przez wspólny sterownik, który komunikuje się z oddalonymi modułami przez bezpieczną magistralę komunikacyjną *SafetyBUS*, tworząc podsystem rozproszony.

Jednostką łączącą wszystkie lokalne sterowniki jest sterownik zdalnego sterowania ruchem, odpowiedzialny za przejazd tramwaju między strefami – od punktu początkowego do punktu przeznaczenia. Na rysunku 2 przedstawiono architekturę Systemu Sterowania Ruchem.

Podobnie jak na liniach głównych, tak i w zajezdniach istotnym elementem infrastruktury torowej są napędy zwrotnicowe, sygnalizatory oraz układy blokady. W zajezdniach jednak nie rozpatruje się pojedynczych zwrotnic, jak to ma miejsce na liniach miejskich, lecz operuje się zespołem zwrotnic. Są one wspólnie



Rys. 2. Warstwa sterowania ruchem

blokowane i odblokowywane, a ich stan sygnalizowany na jednym, wspólnym sygnalizatorze. Rozmieszczenie elementów w torowisku oraz sposób sterowania to jedno z ważniejszych zagadnień do rozważenia na etapie projektowania zajezdni oraz wdrożenia systemu do eksploatacji. Nietrafnie przyjęte założenia ograniczą w przyszłości wydajność całej zajezdni.

Ponieważ ruch w zajezdni jest zdecydowanie większy niż na liniach miejskich, konstrukcja torowiska, w tym również rozjazdów, nie powinna być w żaden sposób naruszana. Naruszenie konstrukcji torowiska, pogorszenie jego stabilności spowodowane instalacją urządzeń automatyki powinny być dopuszczalne tylko w wyjątkowych sytuacjach. Wymogi te spełniają konstrukcje wiodących producentów, np. napęd CSV 24 firmy CONTEC o wysokości 180 mm, przedstawiony na rysunku 3.



Rys. 3. Napęd zwrotnicowy CSV 24 firmy CONTEC

Warstwa zarządzania ruchem

Przy większych zajezdniach wydaje się praktycznie niemożliwe, aby jeden lub dwóch dyspozytorów skutecznie i efektywnie zarządzało ruchem w zajezdni w porannych i wieczornych godzinach szczytu. Dyspozytorzy muszą być wspierani przez system zarządzania ruchem, który – biorąc pod uwagę aktualne oraz przyszłe uwarunkowania – wyznacza trasę oraz godzinę wyjazdu konkretnego tramwaju. Przy ustawianiu tramwajów na torach postojowych uwzględniany jest plan wyjazdów z zajezdni na następny dzień oraz harmonogram wymaganych prac technologicznych. System Zarządzania Ruchem (SZR), w oparciu o symulacje, planuje rozmieszczenie tramwajów na torach postojowych lub skierowanie ich na stanowiska prac technologicznych. Następnie system SZR zarządza przejazdami, w wyniku czego tramwaje dojeżdżają do miejsc przeznaczenia.

System Zarządzania Ruchem może pracować w czterech trybach. Pierwszym, podstawowym trybem pracy, jest tryb automatyczny, w którym wszelkie czynności związane z ruchem w zajezdni realizowane są automatycznie. Drugim jest tryb półautomatyczny, gdzie proces sterowania ruchem, to znaczy sterowa-



Rys. 4. Terminal przy wjeździe do zajezdni



Rys. 5. Terminale na torach postojowych

nie zwrotnicami, sygnalizatorami itp., realizowany jest automatycznie, zaś proces zarządzania ruchem, czyli rozmieszczanie tramwajów na torach postojowych oraz kierowanie tramwajów do hali procesów technologicznych, realizowany jest przez dyspozytora. Kolejnym trybem pracy jest tryb manewrowy, który umożliwia operatorowi przestawianie zwrotnic za pomocą pulpitu ZWO, zaś personelowi obsługi i motorniczym – poprzez terminale rozmieszczone na terenie całej zajezdni (rys. 4 i 5).

Ostatnim trybem, w którym może pracować system SZR, jest tryb serwisowy, umożliwiający regulację systemu oraz przeprowadzanie napraw i przeglądów okresowych.

Warstwa zarządzania procesami

Nowoczesna zajezdnia to nie tylko automatyczny ruch tramwajów, lecz również zarządzanie wszystkimi procesami i pracami realizowanymi na terenie obiektu. Dotyczy to przede wszystkim zarządzania przeglądami okresowymi, planowymi oraz nieplanowymi naprawami taboru i infrastruktury, testami okresowymi oraz testami po naprawach. Dodatkową grupą podsystemów, które wspierają firmy przewozowe w codziennej działalności, są programy zarządzające pracą motorniczych i personelu obsługi oraz pozostałymi zasobami zajezdni.

Integracja wszystkich tych podsystemów w jedną całość pociąga za sobą wymaganie spójnej koncepcji zobrazowania w celu efektywnego dostępu do niezbędnych informacji i wspierania procesów decyzyjnych.

Warstwa dyspozytorska

W systemie Automatycznego Zarządzania Zajezdnią wyodrębniona jest warstwa wspierająca operatorów i dyspozytorów w ich co-

dziennej pracy. W warstwie tej głównym systemem jest Zespół Wizualizacyjno-Operatorski (ZWO), przeznaczony do obrazowania aktualnej sytuacji techniczno-ruchowej zajezdni oraz wprowadzania poleceń operatora. W skład ZWO wchodzi od 2 do 6 monitorów LCD, na których przedstawiany jest aktualny ruch tramwajów w zajezdni, stan urządzeń systemu sterowania ruchem (napędy zwrotnicowe, sygnalizatory, systemy zasilania itd.) oraz wszelkie niezbędne do zarządzania pracą w zajezdni informacje. Na monitorze ZWO operator widzi aktualny status tramwaju (m.in. do naprawy, naprawiony, zaparkowany), co umożliwia mu podejmowanie odpowiednich działań. Sterownik Zarządzania Ruchem oraz Sterownik Zarządzania Procesami, poprzez łącze sieciowe Ethernet, dostarczają danych niezbędnych do zobrazowania aktualnej sytuacji ruchowej, a także informacji o stanie technicznym urządzeń kontrolno-sterujących.

Warstwa diagnostyki i utrzymania

W warstwie diagnostyki i utrzymania wyodrębnione zostały dwa podstawowe systemy:

- Zespół Rejestratora (ZR),
- System Utrzymania i Diagnostyki (SUIID).

W Zespole Rejestratora dostępnych jest wiele danych użytecznych do analizy ruchowej i systemowej zajezdni. Z modułu ZR mogą być uzyskane archiwalne informacje o tramwajach, błędach systemu i wydawanych przez operatora poleceniach. Dane zarejestrowane w bazie można przeglądać w różny sposób, tworząc listy, raporty i odpowiednie zestawienia wykorzystywane w analizie ruchu tramwajów oraz pracy zajezdni. Komunikacja z Zespołem Rejestratora odbywa się poprzez łącze sieciowe, wykorzystujące protokół TCP/IP.

Systemem ważnym z punktu widzenia efektywności i dostępności zajezdni jest System Utrzymania i Diagnostyki. Podstawowym założeniem przy konstrukcji systemów monitoringu i diagnostyki jest brak ich oddziaływania na monitorowane obiekty oraz wysoki poziom niezawodności, gwarantujący wiarygodność dostarczanych informacji. Typową cechą oferowanych rozwiązań jest ich elastyczność (podatność na rozbudowę w zakresie realizowanych funkcji) oraz skalowalność (podatność na dopasowanie do różnej liczby obiektów). System Utrzymania i Diagnostyki zapewnia:

- cykliczną akwizycję danych o stanie systemu i jego elementach,
- ocenę zgromadzonych informacji,
- wykrywanie i sygnalizowanie stanów nieprawidłowych,
- rejestrację informacji diagnostycznych,
- realizację testów diagnostycznych.

Infrastruktura komunikacyjna i zasilająca

Głównym łączem komunikacyjnym w systemie Automatycznego Zarządzania Zajezdnią, integrującym wszystkie jego warstwy, jest łącze ethernetowe. Fizyczne połączenie wszystkich urządzeń światłowodem zapewnia wiarygodność danych i dużą szybkość transmisji. Dodatkowo, w celu zwiększenia poziomu niezawodności transmisji, w proponowanym rozwiązaniu stosuje się sieć typu Ring, co w razie uszkodzenia fragmentu sieci zapewnia ciągłość transmisji między wszystkimi urządzeniami. Komunikacja w lokalnej warstwie sterowania ruchem realizowana jest w oparciu o bezpieczną magistralę *SafetyBUS*, wykorzystującą standard CAN.

Zarówno z ekonomicznego, jak i z technicznego punktu widzenia uzasadnione jest, aby urządzenia systemu Automatycznego Sterowania Zajezdnią zasilane były standardowym napięciem 230 V AC. Preferowana jest dedykowana sieć obejmująca swym zasięgiem całą zajezdnię, która jest niezależnie zabezpieczona i w której w czasie awarii napięcie może być podtrzymywane przez określony czas.

Podsumowanie

Podstawową cechą zajezdni jest duże natężenie ruchu na relatywnie małym obszarze, szczególnie w godzinach porannych (wyjazd tramwajów na trasy) i wieczornych (powrót tramwajów do zajezdni). To z kolei oznacza, że konieczne jest stosowanie rozwiązań zapewniających wysoki poziom niezawodności i dyspozycyjności. Konsekwencją adekwatnego podejścia w tym zakresie są znaczne nakłady związane z utrzymaniem systemu na wymaganym poziomie dyspozycyjności, co w konsekwencji generuje bardzo wysokie koszty eksploatacji.

Przyjęte na etapie projektowania i budowania nowych zajezdni rozwiązania będą wykorzystywane przez następne kilkadziesiąt lat, dlatego trudno zaakceptować brak staranności zarówno w definiowaniu docelowej funkcjonalności, jak i doborze technologii. Od strony technicznej szczególnie brzemienne w skutki może być bezkrytyczne powielanie rozwiązań stosowanych na liniach tramwajowych. Aspekty ekonomiczne to głównie kwestia zdefiniowania oczekiwanych kosztów funkcjonowania zajezdni po modernizacji. Rozłożone na lata koszty eksploatacyjne i utrzymaniowe, będące konsekwencją wybranego poziomu automatyzacji i wybranych urządzeń, mogą być wielokrotnie większe niż nakłady inwestycyjne.

Biorąc pod uwagę etapową realizację dużych projektów, istotną kwestią jest przyjęcie rozwiązań podatnych na przyszłą rozbudowę, tak aby już po zakończeniu pierwszego etapu rozbudowy personel obsługi był wyposażony w efektywne narzędzie, które w przyszłości będzie mogło być w miarę potrzeb uzupełniane o nowe funkcje. W aspekcie organizacyjnym doświadczenie z realizacji podobnych przedsięwzięć pozwala stwierdzić, że kluczowym dla pomyślnego wdrożenia nowych technologii sterowania i zarządzania ruchem jest zbudowanie dobrych, opartych na kompetencjach i wiedzy, relacji zamawiającego oraz użytkownika z podmiotem budującym system.

Obecnie polskie miasta przygotowują się do modernizacji zaplecza tramwajowego niedostępnego dla podróżnych – zajezdni. Należy pamiętać o tym, że dziś podjęte decyzje zdeterminują efektywność i jakość transportu tramwajowego na wiele kolejnych lat. Zatem niezwykle ważne jest uwzględnienie w nich wielu czynników zarówno ekonomicznych, jak i technicznych.

Literatura

- [1] Materiały informacyjne firmy Tens Sp. z o.o., www.tens.pl.
- [2] Materiały firmy Contec Transportation Systems, www.contec-ts.com.

Autorzy

dr inż. Wojciech Ulatowski – TENS Sp. z o.o.
wojciech.ulatowski@tens.pl

mgr inż. Rafał Golicki – TENS Sp. z o.o.
rafal.golicki@tens.pl