

Dr inż. Andrzej Białoń
Centrum Naukowo-Techniczne Kolejnictwa, Politechnika Śląska
Mgr inż. Paweł Gradowski
Centrum Naukowo-Techniczne Kolejnictwa
Mgr inż. Andrzej Toruń
Centrum Naukowo-Techniczne Kolejnictwa

NOWOCZESNY SYSTEM ZARZĄDZANIA RUCHEM KOLEJOWYM (ERTMS)

SPIS TREŚCI

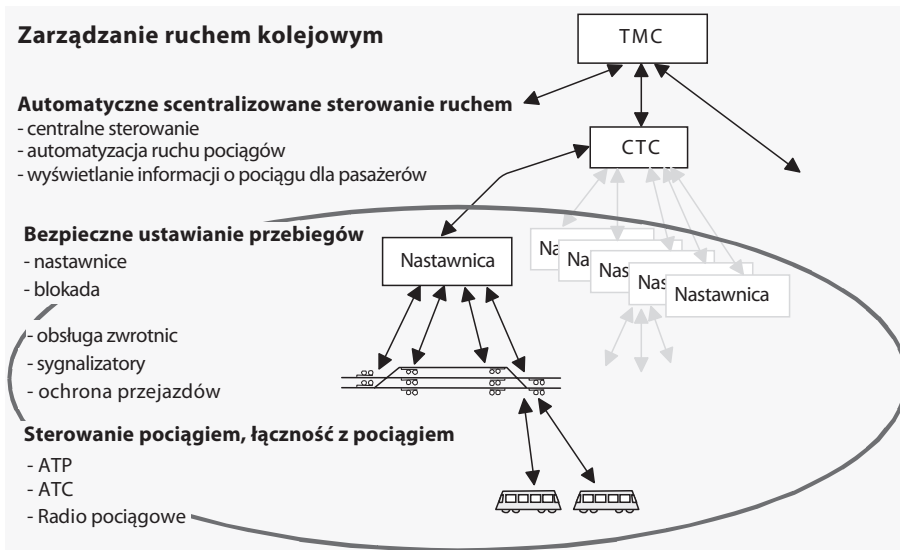
1. Wprowadzenie
2. System zarządzania ruchem kolejowym (ERTMS)
3. Europejski system sterowania pociągiem ETCS
4. Globalny system kolejowej radiokomunikacji ruchomej GSM-R
5. Interfejs zobrazowania dla maszynisty
6. Opis systemu ETML

STRESZCZENIE

W artykule omówiono założenia systemu ETCS, jego architekturę i realizowane funkcje. Opisano poziomy i konfigurację systemu ETCS. Zaprezentowano także system GSM-R oraz interfejs zobrazowania maszynisty dla systemów ETCS i GSM-R.

1. WPROWADZENIE

Zarządzanie ruchem kolejowym jest ważnym elementem kolejowych systemów transportowych. Przyczynia się znacząco do zapewnienia oczekiwanej jakości i wydajności usług kolejowych przy jednoczesnym zachowaniu wymaganego poziomu bezpieczeństwa ruchu. Aby sprostać współczesnym wymaganiom, systemy zarządzania ruchem kolejowym są budowane z zastosowaniem zaawansowanej technologicznie i funkcjonalnie techniki komputerowej. Typowa funkcjonalna struktura systemu strategicznego zarządzania ruchem kolejowym została przedstawiona na rysunku 1.



Rys. 1. Struktura systemu zarządzania ruchem kolejowym.

System zarządzania strategicznego harmonizuje wszelkie działania techniczne i organizacyjne w celu zapewnienia jakości i bezpieczeństwa prowadzenia ruchu kolejowego w podległym mu obszarze. Z technicznego punktu widzenia „cykl życia” aplikacji i elementów systemu zarządzania ruchem kolejowym jest krótszy niż innych systemów związanych, takich jak „intensywnie” eksploatowane elementy infrastruktury kolejowej lub taboru kolejowego. Dlatego też zarządzanie ruchem kolejowym jest kluczowym zagadnieniem dla krótkoterminowej optymalizacji usług kolejowych. Na wysokie koszty systemów strategicznego zarządzania ruchem mają wpływ przede wszystkim koszty urządzeń i systemów sterowania ruchem kolejowym. Składają się one z urządzeń zabezpieczenia ruchu, niezbędnych do zapewnienia kontroli przemieszczania się pociągu i systemów komunikacji pociągowej instalowanych po stronie infrastruktury oraz na poruszającym się taborze (pociągu).

W związku z tym, w celu zoptymalizowania kosztów ponoszonych na eksploatację tego typu systemów w trakcie całego „cyklu życia”, konieczne jest opracowanie konsekwentnej i planowej strategii wdrażania tych instalacji oraz ich utrzymania w przyszłości. Śledząc rozwój systemów zarządzania w innych europejskich zarządkach kolei, można zauważyć, że takie systemy powstawały, a następnie były eksploatowane głównie w danym kraju i były różne dla każdego kraju. Taki stan powodował zmniejszenie elastyczności procesu zarządzania, ograniczając go najczęściej do jednego kraju, a czasami do jednego zarządku kolei. Zgodnie z ideą interoperacyjności kolei europejskich, zapisanej w kolejnych Dyrektywach Unii Europejskiej, m.in. 91/440/EEC, 96/48/EC, 2001/16/EC, 2004/49/EC, 2004/50/EC, 2008/57/EC, w celu poprawy międzynarodowego transportu kolejowego istnieje potrzeba łączenia i harmonizacji działania narodowych systemów zarządzania. Rozpatrując warstwowy podział urządzeń srk, można zauważyć, że najsil-

niejsza potrzeba wdrożenia interoperacyjności w zakresie kontroli przemieszczenia się pociągu i systemów komunikacji pociągowej dotyczy warstwy najniższej (podstawowej). Jest to konsekwencją faktu, iż w przeszłości nieskoordynowany rozwój prowadził do powstania niejednorodnych technicznie różnych systemów kontroli pociągu.

Od początku lat dziewięćdziesiątych XX w. pod patronatem Unii Europejskiej są realizowane wspólne prace kolei i przemysłu, związane z opracowaniem opisu technicznego oraz strategii wdrożenia i rozwoju nowego, zharmonizowanego systemu kontroli pociągu ERTMS/ETCS oraz systemu komunikacji pociągowej ERTMS/GSM-R. Skutkiem tych działań jest wydanie przez UE dyrektyw dla interoperacyjności i Technicznych Specyfikacji dla Interoperacyjności (TSI), które harmonizują działania w tym zakresie wśród krajów UE, nadając jednocześnie wysokie priorytety dla kontroli/sterowania i przekazu informacji dla pociągu z wykorzystaniem łączności radiowej. Działania UE wymuszają również określone działania w poszczególnych krajach, które przygotowały lub przygotowują dla narodowych migracji do ETCS niezbędne strategie w tym zakresie. Strategie te muszą być zharmonizowane i skoordynowane z europejskimi, zwłaszcza w wypadku realizowania aplikacji i wdrożeń związanych z prowadzeniem ruchu w korytarzach transportowych. W zależności od posiadanego wyposażenia technicznego, poszczególne kraje mają różne priorytety dla instalacji przytorowych oraz taboru kolejowego. Programy i strategie wdrażania systemu ETCS są różne w różnych krajach. W niektórych krajach wdrażanie pełnych aplikacji następuje na dużą skalę, a w innych krajach sprowadza się wyłącznie do czystego planowania. Jednak we wszystkich zarządach kolejowych poszczególnych krajów można zauważyć duże zainteresowanie pozyskiwaniem wiedzy dotyczącej tych systemów, szczególnie w zakresie wymiany informacji o dobrych i złych doświadczeniach. Ponadto regularnie dostarczane są przez przemysł potrzebne informacje o krótko- i długoterminowym potencjalnym rynku dla komponentów ETCS.

Europejski System Zarządzania Ruchem Kolejowym (ERTMS) jest nowoczesnym systemem sterowania i zarządzania ruchem kolejowym i wpisuje się w dążenia Unii Europejskiej do powstania zunifikowanego europejskiego systemu transportu kolejowego. Należy przy tym zaznaczyć, że nie chodzi o organizacyjne stworzenie jednej „Kolei Europejskiej”, ale doprowadzenie do istnienia wielu zarządców infrastruktury, oferujących wielu przewoźnikom kolejowym do realizacji przewozów interoperacyjnym taborom interoperacyjną drogę kolejową. Kluczowe jest tu słowo „interoperacyjny”. Interoperacyjność to szeroko rozumiana zgodność:

- infrastruktury (tor, konstrukcje inżynieryjne, perony itp.),
- zasilania (sieć trakcyjna, pokładowe liczniki energii itp.),
- sterowania (systemy bezpiecznej kontroli jazdy pociągu, radiołączność pociągowa, kontrola czujności maszynistów itp.),
- zasad prowadzenia ruchu (przepisy ruchowe, sygnał końca pociągu, kompetencje personelu itp.),
- taboru (skrajnia, naciski na oś, parametry wytrzymałości itp.).

W świetle regulacji prawnych Unii Europejskiej, interoperacyjność dotyczy nie tylko nowo budowanych linii, ale także istniejących, np. modernizowanych lub włączonych do Transeuropejskiej Sieci Kolejowej (TEN lub TNT). W zakresie sterowania, w celu zapewnienia interoperacyjności w skali Unii Europejskiej, przewiduje się szerokie wdrożenie Europejskiego Systemu Zarządzania Ruchem Kolejowym.

2. SYSTEM ZARZĄDZANIA RUCHEM KOLEJOWYM (ERTMS)

Europejski System Zarządzania Ruchem Kolejowym (ERTMS) składa się z:

1. Europejskiego Systemu Sterowania Pociągiem (ETCS).
2. Globalnego Systemu Kolejowej Radiokomunikacji Ruchomej (GSM-R).
3. Europejskiej Warstwy Zarządzania Ruchem (ETML).

Przy czym ETCS i GSM-R są w pełni zdefiniowane w specyfikacjach ustanowionych Decyzją Komisji Europejskiej 2008/386/EC z dnia 23 kwietnia 2008 r. System ETML nadal nie jest w pełni zdefiniowany.

3. EUROPEJSKI SYSTEM STEROWANIA POCIĄGIEM ETCS

3.1. Główne założenia ETCS

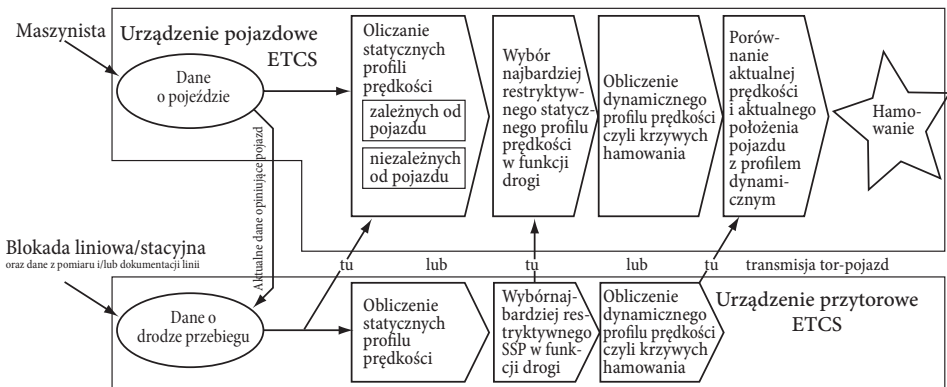
ETCS ma uzupełnić, a w przyszłości w dużej mierze zastąpić jednym wspólnym systemem zróżnicowane systemy Bezpiecznej Kontroli Jazdy Pociągów (BKJP). Ponieważ od początku prac nad systemem ETCS założono, że musi on być w pełni gotowy do zaakceptowania, przyjęto pewne ogólne zasady, które można streścić następująco:

- ETCS musi udostępniać wszystkie funkcje realizowane przez aktualnie stosowane systemy BKJP, przy czym niektóre funkcje podstawowe będą obowiązywać dla wszystkich linii wyposażonych w ETCS, a inne będą wykorzystywane w miarę potrzeby.
- ETCS musi zapewnić możliwość współpracy z różnorodnymi strukturami zarówno od strony pojazdu, jak i od strony infrastruktury, tak aby jego stosowanie było do zaakceptowania z ekonomicznego punktu widzenia.
- ETCS ma umożliwić prowadzenie ruchu zgodnie z wymaganiami i przepisami poszczególnych zarządów kolejowych oraz zapewniać wysoki poziom bezpieczeństwa, nie niższy niż dotychczas.

Konieczne jest także umożliwienie płynnego przekraczania granic państw (zarządów kolejowych) bez dłuższych postojów w celu wymiany lokomotywy, obniżenie kosztów inwestycyjnych i eksploatacyjnych przez zwiększenie rynku oraz wprowadzenie rynkowych zasad konkurencji między producentami systemów sterowania dla kolei, przez udostępnienie potencjalnym producentom pełnej dokumentacji interfejsów pomiędzy modułami systemu oraz funkcjonalnych i systemowych wymagań dotyczących poszczególnych modułów. Tak postawione cele realizuje się przez daleko idącą

modułowość struktury systemu i funkcji, otwartą architekturę sprzętową i programową oraz mechanizmy uwzględniania krajowych i lokalnych przepisów ruchowych.

ETCS wykorzystuje cyfrową transmisję sygnału pomiędzy torem i pojazdem. Transmisja może być realizowana przez eurobalisy, europętle, cyfrowy kanał radiowy oraz specjalizowane moduły transmisyjne (STM). Dane o infrastrukturze opisujące drogę przebiegu oraz dane o pociągu opisujące pojazd (np. masa pociągu, siła hamująca itp.) służą do obliczania statycznych i dynamicznych profili prędkości, które zostaną opisane w dalszej części artykułu. Obliczony profil dynamiczny jest ciągle porównywany z aktualną prędkością w funkcji położenia. Konieczna do tego funkcja lokalizacji opiera się na eurobalisach – jednoznacznie rozróżnialnych (przez unikalny numer) i precyzyjnie lokalizowanych urządzeniach do transmisji punktowej. Funkcje kontroli i nadzoru są zawsze realizowane według tych samych zasad niezależnie od kanału, którym została odebrana informacja z toru. Podstawowe funkcje spełniane przez urządzenia pokładowe i przytorowe przedstawiono na rysunku 2.



Rys. 2. Podstawowe funkcje pojazdowych i przytorowych urządzeń ETCS

Na rysunku 2 widać wyraźnie podział na urządzenia przytorowe, transmisję tor – pojazd i urządzenia pokładowe. Jest to podział występujący zawsze w systemach BKJP, opierających się na transmisji tor – pojazd. Należy jednak zwrócić uwagę, iż w wypadku systemu ETCS większość funkcji może być realizowana zarówno przez urządzenia przytorowe, jak i przez urządzenia pokładowe. ETCS dzieli się na trzy poziomy. Wypożyczenie linii kolejowych i pojazdów szynowych w ETCS może być realizowane stopniowo przez montowanie urządzeń kolejnych poziomów. W zależności od poziomu, urządzenia przytorowe są przygotowane do wykonywania tylko określonego zakresu funkcji. Zakres ten określa się przy projektowaniu wyposażenia linii w ETCS, biorąc pod uwagę między innymi potrzeby linii (np. wyrażane przez wymaganą przepustowość lub dopuszczaną prędkość pojazdu na linii) oraz koszty inwestycji i eksploatacji. Każdy pojazd wyposażony w urządzenia ETCS, w zależności od poziomu, zdolny jest do realizowania wszystkich funkcji po stronie oprzyrządowania pokładowego ETCS pokazanych na rysunku 2. Używanie lub nie używanie poszczególnych funkcji zależy od zawartości

informacji odebranej z toru, czyli od poziomu zastosowania systemu ETCS oraz konfiguracji urządzeń przytorowych. Nie oznacza to jednak, że każdy pojazd wyposażony w ETCS jest zdolny do poruszania się po każdej linii wyposażonej w ETCS (np. pojazd wyposażony w urządzenia poziomu 2 na pewno może poruszać się po linii wyposażonej w poziom 1, natomiast sytuacja odwrotna jest praktycznie niemożliwa).

Należy wyraźnie rozróżnić poziom urządzeń w torze od poziomu urządzeń na lokomotywie. Przykładowo, pojazd wyposażony w urządzenia poziomu trzeciego może poruszać się po liniach wyposażonych w urządzenia torowe pierwszego, drugiego lub trzeciego poziomu ETCS, ale lokomotywa wyposażona w urządzenia pierwszego poziomu ETCS może poruszać się tylko po liniach wyposażonych w urządzenia pierwszego poziomu ETCS, podczas gdy na linii wyposażonej w drugi lub trzeci poziom ETCS nie będzie mogła się poruszać, gdyż od pierwszej napotkanej eurobalisy odbierze sygnał „STÓJ”.

3.2. Architektura ETCS

Specyfikacja wymagań systemowych ETCS opisuje tak zwane jądro Europejskiego ETCS z jego interfejsami do:

- systemu radiowego GSM-R,
- liniowych urządzeń systemu zabezpieczenia ruchu,
- pokładowego wyposażenia pociągu.

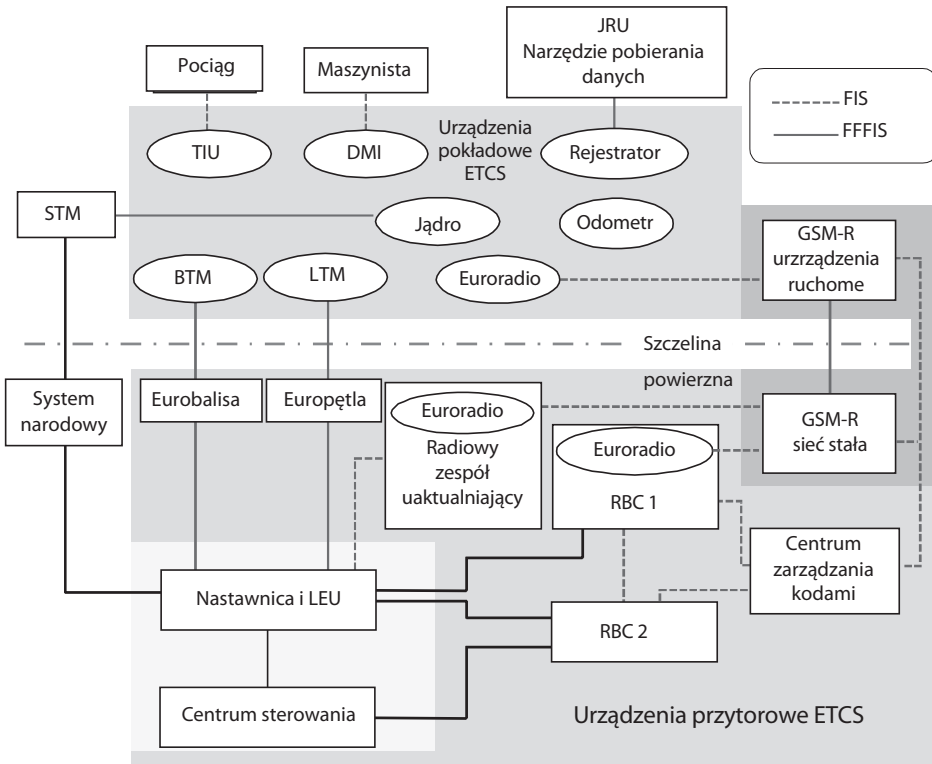
Ogólna struktura funkcjonalna wraz z powiązaniem jądra systemu i interfejsami jest przedstawiona na rysunku 3.

Urządzenia pokładowe, czyli tzw. eurokabina ETCS, zawiera urządzenia transmisyjne i anteny do wymiany danych z terenem: anteny do odczytu informacji z eurobalis, europętli oraz cyfrowe urządzenie radiowe GSM-R z urządzeniem powiązania z euro-radio. Urządzenia przytorowe ETCS zawierają urządzenia transmisji danych za pomocą balisy, pętli lub GSM-R oraz dodatkowo różne typy indywidualnego powiązania interfejsów ze stałymi instalacjami sterowania ruchem kolejowym. W ETCS wyróżnia się dwa rodzaje specyfikacji interfejsów:

- FIS (*Functional Interface Specification*): specyfikacja funkcjonalna interfejsu – zapewnia osiągnięcie logicznej interoperacyjności.
- FFFIS (*Form Fit Function Interface Specification*): specyfikacja interfejsu funkcjonalnego do utrzymania sprawności – zapewnia zarówno logiczną, jak i fizyczną interoperacyjność.

Specyfikacja FFFIS ETCS obejmuje następujące interfejsy:

- przerwa (propagacyjna) do transmisji danych za pomocą eurobalisy lub europętli,
- przerwa (propagacyjna) do transmisji danych za pomocą euroradia/GSM-R,
- interfejs do dodania Specjalnego Modułu Transmisyjnego (*Specific Transmission Module – STM*) do eurokabiny,
- interfejs pobierania danych do rejestratora prawnego (*Juridical Recorder Unit – JRU*).



Rys. 3. Struktura funkcjonalna ETCS

i następujące interfejsy FIS:

- interfejs pociągowy (*Train Interface Unit – TIU*),
- interfejs maszynisty (*Driver-Machine Interface – DMI*),
- interfejs pomiędzy odcinkami blokady radiowej (*Radioblock-Radioblock*),
- interfejs centrum zarządzania kluczami.

Wybór tych interfejsów był uzasadniony i wynikał z konieczności zachowania prawidłowego działania przy wyposażaniu linii i pojazdów trakcyjnych w urządzenia różnych producentów, a także zapewnienia interoperacyjności. Należy podkreślić, iż do obecnej chwili nie uzyskano w tym zakresie pełnej wymienności różnych podzespołów, niezbędnej do zapewnienia właściwego procesu utrzymania urządzeń w wymaganym stanie technicznym. Budowa urządzeń ERTMS według przedstawionego opisu umożliwia realizację wielu funkcji, jednak występują funkcje systemu, które są w znacznym stopniu niezależne od drogi transmisji (eurobalisa, europętla, lub GSM-R z interfejsem do euroradia), którą posługuje się ERTMS/ETCS. Do takich funkcji zaliczamy:

- obsługę transmisji balisa/radio,
- ustalenie położenia pociągu i sporządzenie raportu,
- zezwolenie na jazdę,
- opis właściwości szlaku,

- dynamiczne monitorowanie prędkości,
- działania specjalne (rozrząd, operacje pomocnicze itd.),
- funkcje zewnętrzne (obsługa Centrum Sterowania Radiowego – *Radio Block Centre* RBC).

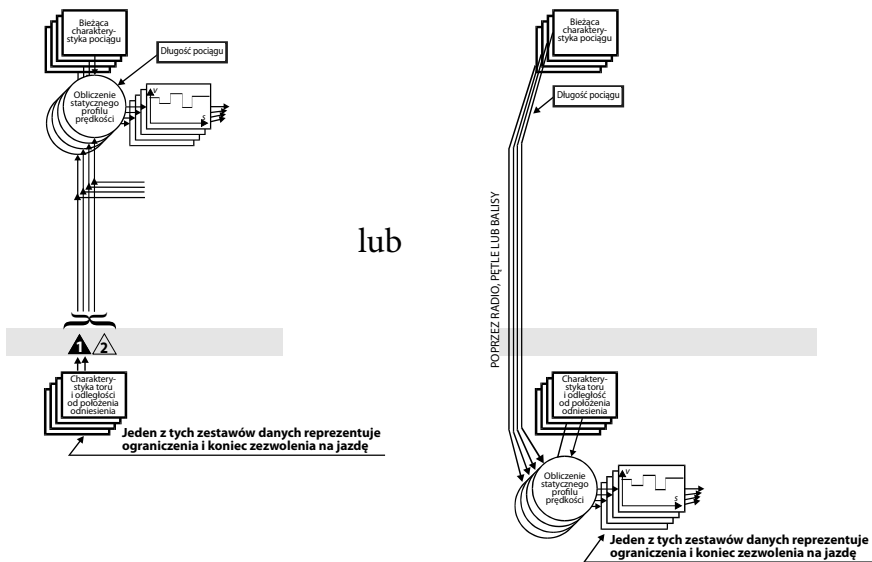
3.3. Podstawowe funkcje realizowane przez urządzenia ETCS

Do omówienia funkcji przedstawionych na rysunku 3 będą pomocne rysunki 4 – 8, na których poszczególne funkcje są przedstawione w formie kół, dane (zbiory informacji) w formie prostokątów, a przepływ informacji w formie strzałek. W postaci szarego pola przedstawiana jest schematycznie tzw. „przerwa powietrzna” pomiędzy urządzeniami przytorowymi i pojazdowymi, w której ma miejsce transmisja tor – pojazd. Na tle tego pola są zaznaczone eurobalisy w postaci trójkątów. Nad przerwą powietrzną przedstawiono funkcje realizowane przez urządzenia pokładowe, a poniżej – funkcje realizowane przez urządzenia przytorowe.

Działanie systemu jest oparte na obliczaniu i kontrolowaniu krzywych hamowania lub inaczej mówiąc, obliczaniu bezpiecznej prędkości, jej kontroli oraz bezpiecznej reakcji systemu przy jej przekroczeniu. Wspomniane krzywe zależą od bardzo wielu czynników. Projektując system założono, że te czynniki da się rozdzielić na zależne od infrastruktury i zależne od pojazdu. Zbiory informacji o pociągu obejmują takie dane, jak: masa pojazdu, maksymalne obciążenie pojedynczej osi, maksymalna dopuszczalna prędkość, parametry systemu hamulcowego itd. Informacje te są wprowadzane przez maszynistę przed rozpoczęciem jazdy pociągowej wraz z identyfikatorem maszynisty. Dane te nie są wymagane dla jazdy manewrowej. Zbiory informacji, które dla danego pokładowego oprzyrządowania ETCS pozostają niezmiennie, np. ze względu na konstrukcję pojazdu, mogą być wczytywane do pamięci operacyjnej z pamięci masowej. Jako najprostsze rozwiązanie wskazać jednak należy ręczne podanie danych przez maszynistę za pomocą DMI (*Driver – Machine Interface*) – interfejsu służącego do współpracy maszynisty z systemem ETCS.

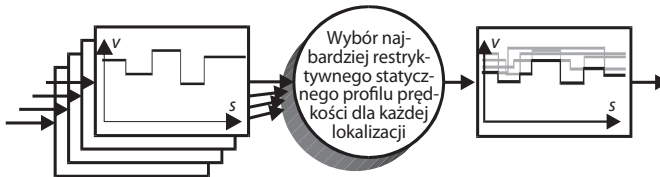
Dane o pojeździe podawane są raz, przed rozpoczęciem jazdy pociągowej, natomiast zbiory informacyjne o drodze przebiegu zmieniają się zarówno w czasie (zależnie od sytuacji ruchowej), jak i w przestrzeni (zależnie od położenia pojazdu). Informacje to przede wszystkim zezwolenie na jazdę, na które składa się maksymalna odległość, jaką może pokonać pojazd i dopuszczalna prędkość w funkcji odległości od punktu odniesienia. Mówiąc inaczej, pojazd informowany jest o tym, że otrzymał zezwolenie na pokonanie n_1 metrów z prędkością v_1 , n_2 metrów z prędkością v_2 itd., po czym musi się zatrzymać, jeśli przed osiągnięciem położenia wynikającego z aktualnego zezwolenia nie otrzyma kolejnego zezwolenia na jazdę. Razem z zezwoleniem na jazdę pojazd otrzymuje jeszcze inne informacje, które określają czynniki zależne od infrastruktury, wpływające na liczone przez system krzywe hamowania. Do takich informacji należą np.: profil toru (wzniesienia i spadki), stałe i czasowe ograniczenia prędkości, odległości do sąsiednich eurobalis czy informacje o innych kanałach transmisji tor – pojazd.

Na podstawie zbioru informacji o pojeździe i danych o drodze przebiegu jest obliczany statyczny profil prędkości. Styczny profil prędkości to schodkowy wykres dopuszczalnej prędkości w funkcji drogi. Nazwany został statycznym, gdyż skokowa zmiana prędkości (bez zmiany położenia) jest fizycznie niemożliwa – nie uwzględnia dynamiki ruchu. W ETCS rozróżnia się wiele statycznych profili prędkości, co widać na rysunku 4. Część z nich jest integralną częścią zbioru danych o drodze przebiegu, a część dopiero musi zostać obliczona na podstawie danych o pojeździe i informacji o drodze przebiegu. Przykładem pierwszych jest, np. bazowy profil, który może wynikać z informacji odbieranej od blokady liniowej. Przykładem drugich może być statyczny profil prędkości dla pociągów z wychylnym pudłem.



Rys. 4. Diagramy obliczania rodziny statycznych profili prędkości

Pojazd ma zawsze możliwość realizowania funkcji koniecznych do tych obliczeń, ale realizuje je tylko wówczas, gdy odbierze dane wejściowe. Oprzyrządowanie przytorowe może, ale nie musi być zdolne do realizowania części lub wszystkich tych funkcji.

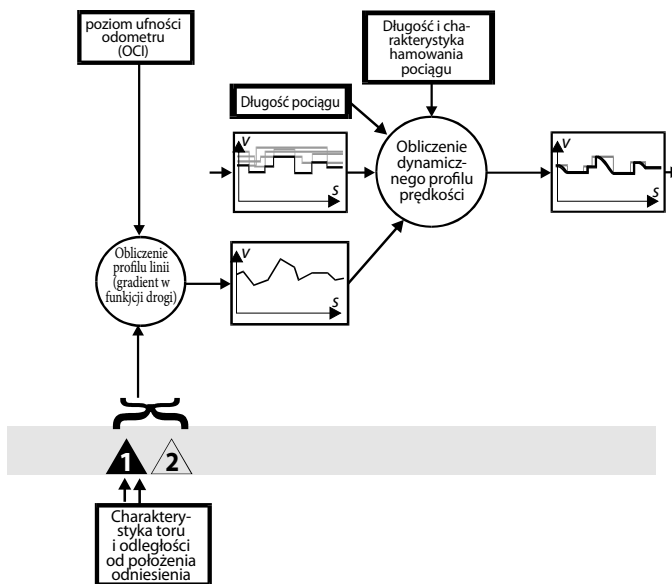


Rys. 5. Wybór najbardziej restrykcyjnego Statycznego Profilu Prędkości

Po obliczeniu statycznych profili prędkości powstaje pytanie, którego z nich należy przestrzegać. Wybór jednego z obliczonych profili statycznych jako najbardziej restrykcyjnego często nie jest możliwy ze względu na przecinanie się profili (rys. 5). Jest zatem

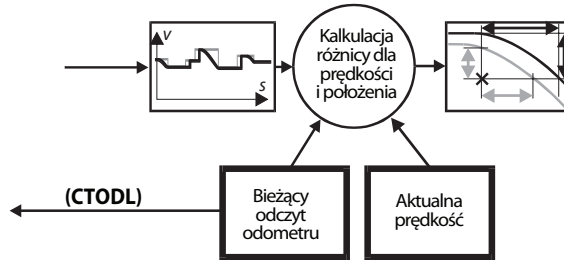
konieczne obliczenie jednego najbardziej restrykcyjnego statycznego profilu prędkości, który należy określić jako minimum z obliczonych profili w funkcji drogi. Konieczna jest funkcja, która wybiera minimalną wartość prędkości spośród statycznych profili prędkości dla każdego położenia pojazdu na drodze przebiegu. Tworzony w ten sposób profil wynikowy stanowi podstawę do obliczania dynamicznego profilu prędkości. Ta funkcja jest zawsze dostępna w urządzeniach pokładowych, ale może być także realizowana przez urządzenia przytorowe. Otrzymany najbardziej restrykcyjny statyczny profil prędkości pozostaje profilem, który zapewnia bezpieczeństwo, ale fizycznie jest niemożliwy do realizacji, ponieważ nie uwzględnia ruchu pojazdu. Zachodzi więc konieczność obliczenia dynamicznego profilu prędkości, czyli zespołu krzywych hamowania, względem których będzie możliwe kontrolowanie ruchu pojazdu.

Na podstawie wybranego wypadkowego, najbardziej restrykcyjnego statycznego profilu prędkości i z uwzględnieniem charakterystyki pociągu (a w szczególności układu hamulcowego) wylicza się dynamiczny profil prędkości. Dla konkretnego pociągu oblicza się maksymalną dopuszczalną prędkość dla każdego położenia, z uwzględnieniem czasu i drogi potrzebnych na zmianę prędkości (hamowanie). Do hamowania służbowego i nagłego są obliczane nie tylko podstawowe krzywe, ale także krzywe inicjalizacji hamowania. Dodatkowo oblicza się krzywą ostrzegania maszynisty przed wymuszeniem hamowania. Należy zaznaczyć, że zgodnie z rysunkiem 6, profil dynamiczny jest obliczany dla spadków prędkości dopuszczalnej. Z punktu widzenia bezpieczeństwa nie ma konieczności obliczania profilu dynamicznego przy wzroście dopuszczalnej prędkości. Rysunek 6 obrazuje także wpływ profilu linii (wzniesień/spadków) na dynamiczny profil prędkości. Przedstawiony na tym rysunku profil dynamiczny obli-

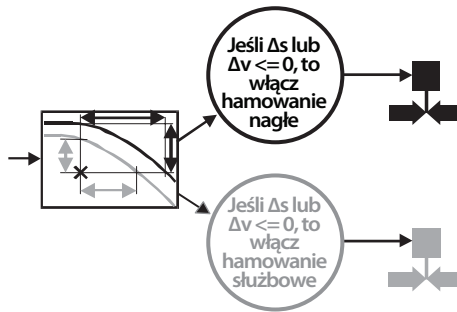


Rys. 6. Obliczanie dynamicznego profilu prędkości, czyli krzywych hamowania

czany jest przez urządzenia pokładowe, jednak możliwe jest również realizowanie tej funkcji przez urządzenia przytorowe (RBC).



Rys. 7. Bieżące porównywanie prędkości i położenia z profilem dynamicznym



Rys. 8. Wdrożenie polecenia hamowania pojazdu

Obliczony dynamiczny profil prędkości jest porównywany w sposób ciągły z bieżącą prędkością pojazdu i aktualnym położeniem. Przy określaniu aktualnego położenia i aktualnej prędkości uwzględniane są maksymalne dopuszczalne błędy pomiaru położenia i prędkości. Uzyskany punkt zaznaczony na rysunku 7 w postaci „x” służy do określenia czy ETCS powinien interweniować w pracę maszynisty. Z porównania położenia „x” z krzywą ostrzegania (niezaznaczona na rysunkach) wynika, czy ETCS ma ostrzec maszynistę, że może nastąpić inicjacja hamowania. Porównywanie aktualnej prędkości i aktualnego położenia z profilem dynamicznym zawsze odbywa się w urządzeniach pokładowych. Z porównania położenia „x” z krzywą inicjacji hamowania służbowego (rys. 7, dolna krzywa) wynika, czy ETCS ma uruchomić hamowanie służbowe, natomiast z porównania położenia „x” z krzywą inicjacji hamowania nagłego (rys. 7, górna krzywa) wynika, czy ETCS ma uruchomić hamowanie nagłe. Do uruchomienia hamowania nagłego może dojść tylko wówczas, gdy urządzenia hamowania służbowego zawiodą. ETCS gwarantuje wdrożenie hamowania służbowego przy takiej prędkości i położeniu, które są wystarczające do utrzymywania prędkości pojazdu w funkcji położenia mniejszej, niż powodująca inicjację hamowania nagłego.

Do podstawowych funkcji ETCS należy jeszcze zaliczyć rejestrację danych. W systemie ETCS przewiduje się zastosowanie dwóch rejestratorów. Jeden, określany jako „rejestrator prawny”, podlega pełnej normalizacji na poziomie europejskim. Rejestrator

ten ma gromadzić wszelkie dane konieczne do odtworzenia zdarzeń, np. przy postępowaniu powypadkowym. Zdefiniowane są zarówno gromadzone dane, format ich przechowywania, jak i interfejs pozwalający na odczytanie tych danych. Rejestracja prawna obejmuje następujące dane:

- dane wprowadzane przez maszynistę,
- dane wymieniane między pojazdem i urządzeniami przytorowymi,
- zdarzenia ruchowe (np. zmiany trybu pracy),
- parametry jazdy pojazdu,
- interwencje systemu (np. wdrożenie hamowania).

Te dane powinny być przechowywane przez rejestrator prawny co najmniej przez 15 dni. Jednocześnie dopuszcza się, a nawet zaleca, stosowanie przez producentów ETCS dodatkowych „rejestratorów technicznych”, służących do gromadzenia danych technicznych obejmujących, np. informacje wynikowe dotyczące procesu samodiagnostyki urządzenia pokładowego.

3.4. Poziomy i konfiguracje systemu ERTMS/ETCS

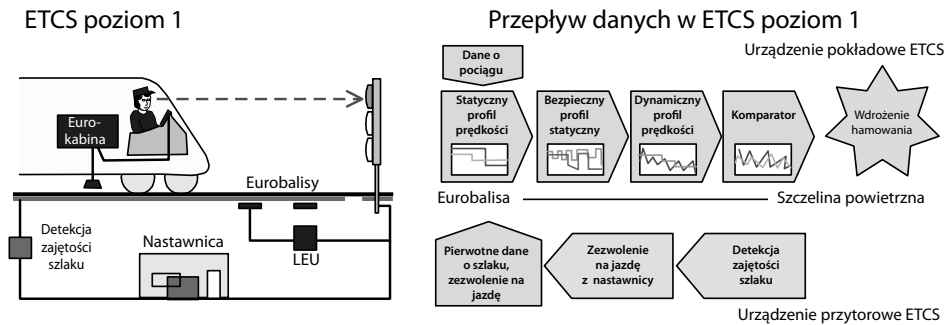
Poziomy zastosowania ERTMS/ETCS, zwane skrótowo „poziomami ERTMS/ETCS”, a także możliwe w ramach poszczególnych poziomów konfiguracje, można przedstawić korzystając z poprzednio omówionych funkcji. Wyróżnia się trzy podstawowe poziomy ERTMS/ETCS.

Poziom pierwszy stanowi nakładkę na urządzenia stacyjne i liniowe, zachowującą rozproszony charakter sterowania ruchem kolejowym. Urządzenia ETCS poziomu pierwszego zapewniają, że pociąg nie przejedzie poza miejsce ograniczające ustawioną i utwierdzoną drogę przebiegu oraz nie przekroczy prędkości dopuszczalnej na żądnym odcinku drogi przebiegu.

Lokomotywa, wyposażona w urządzenia pierwszego poziomu ETCS, jest wyposażona w: bezpieczny (spełniający wymogi dla 4 poziomu bezpieczeństwa) komputer pokładowy (*European Vital Computer* – EVC), komputer obsługujący (*Maintenance Computer*) – komputer zarządzający urządzeniami na pojeździe (np. odometr), interfejs maszynisty (*Driver Machine Interface* – DMI), rejestrator, urządzenie (jednostkę) pomiaru drogi i czasu (odometr) oraz antenę do odbioru informacji z eurobalis ułożonych w torze. Lokomotywa poziomu pierwszego może, ale nie musi być wyposażona w urządzenia do odczytu informacji z europętli oraz w cyfrowe urządzenia radiowe GSM-R lub specjalizowane moduły transmisyjne. Tor wyposażony w urządzenia poziomu pierwszego wykorzystuje eurobalisy przełączalne i nieprzełączalne. Dodatkowo może być wyposażony w europętle lub radio wykorzystywane do uaktualniania informacji przekazywanej przez eurobalisy lub do dwukierunkowej komunikacji tor – pojazd w celu prowadzenia wstępnej obróbki informacji przez urządzenia przytorowe.

Poziom 1 ETCS może być realizowany bez uaktualniania lub z uaktualnianiem informacji. Najprostsza konfiguracja przedstawiona na rysunku 9, to poziom pierwszy bez uaktualniania. Działanie ETCS w takiej konfiguracji polega na transmisji przez euro-

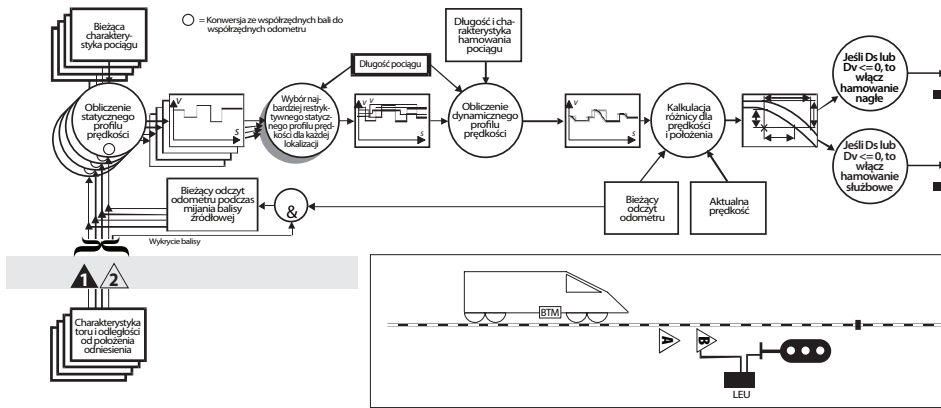
balisy zezwoleń na jazdę, wydawanych przez wyświetlenie sygnału zezwalającego na jazdę na sygnalizatorach świetlnych. Upraszczając, można powiedzieć, że za pośrednictwem kodera (*Lineside Electronic Unit* – LEU) do sygnalizatora jest dołączana przełączalna eurobalisa, która przekazuje do pokładowego urządzenia ETCS zezwolenie na jazdę, zależne od wskazania sygnalizatora. Urządzenie pokładowe ETCS, na podstawie otrzymanych informacji kontroluje, czy maszynista prowadzi pojazd zgodnie ze wskazaniem sygnalizatora. Taka wersja systemu jest tania, ale ogranicza przepustowość linii i wymaga od maszynisty znajomości sygnalizacji obowiązującej na danej kolei. Przewiduje się stosowanie jej przede wszystkim na liniach drugorzędnych i słabo obciążonych, gdzie nie kursują pociągi międzynarodowe lub pociągi dużych prędkości i nie ma problemów z przepustowością linii.



Rys. 9. Poziom 1 ETCS

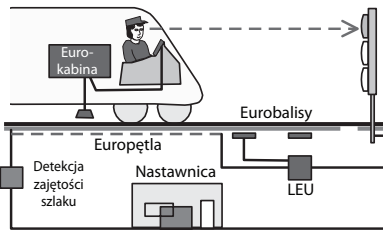
Poziom 1 z uaktualnianiem można realizować w różnych konfiguracjach sprzętowych, przy czym uaktualnianie może mieć charakter punktowy (np. uaktualnianie przez dodatkowe eurobalisy) lub charakter odcinkowy (np. uaktualnianie przez europętlę). Jest także możliwe uaktualnianie informacji z systemu narodowego przez Specjalny Moduł Transmisyjny (STM). Przykładowo, przy opracowywaniu na potrzeby PKP studium zastosowania ERTMS dla linii E-20 Warszawa – Kunowice, rozpatrywano wykorzystanie transmisji zastosowanej w systemie KHP do uaktualniania informacji w poziomie 1 ETCS. Przeływ informacji w poziomie 1 z uaktualnianiem jest pokazany na rysunkach 10 i 11.

Poziom drugi ETCS (rys. 12), to sterowanie ruchem wykorzystujące ciągłą, cyfrową, dwukierunkową transmisję radiową. Lokomotywa poziomu drugiego, oprócz oprzyrządowania jak dla lokomotywy poziomu pierwszego, musi być dodatkowo wyposażona w urządzenia do obsługi cyfrowego kanału radiowego GSM-R. Poza eurobalisami tor jest wyposażony dodatkowo w radiowe centra sterowania (RBC). Jednocześnie z toru można usunąć semafony, gdyż ich funkcje przejmuje ciągła transmisja cyfrowa. Informacje zmienne można łatwo przekazywać przez kanał radiowy, dzięki czemu eurobalisy nie muszą być przełączalne. Nie mogą jednak zostać usunięte, gdyż są podstawą lokalizacji pojazdów.

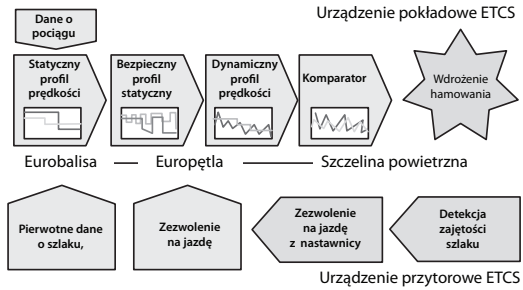


Rys. 10. Schemat przekazywania i obróbki danych w poziomie 1 ETCS

ETCS poziom 1 z uaktualnieniem przez europętle

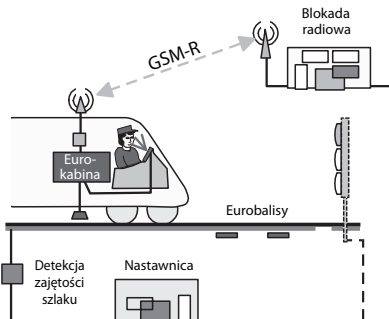


Przepływ danych w ETCS poziomie 1 z uaktualnieniem przez europętle

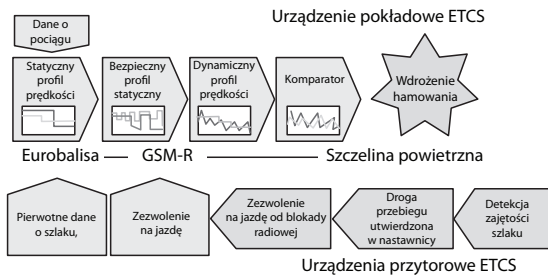


Rys. 11. Poziom 1 ETCS z uaktualnieniem

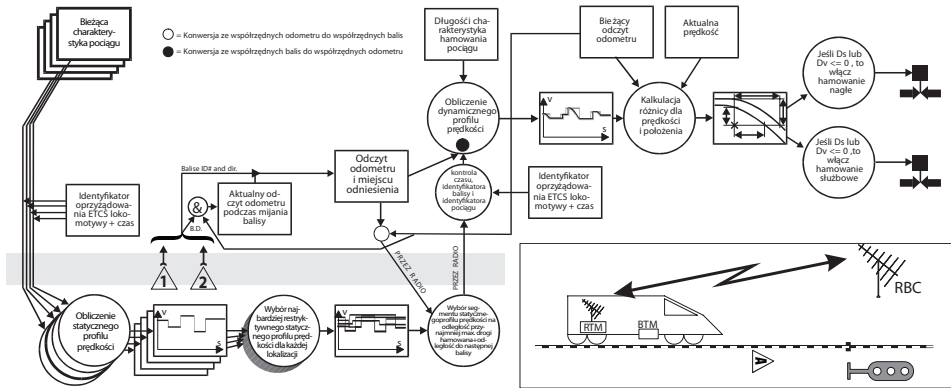
ETCS poziom 2



Przepływ danych w ETCS poziomie 2



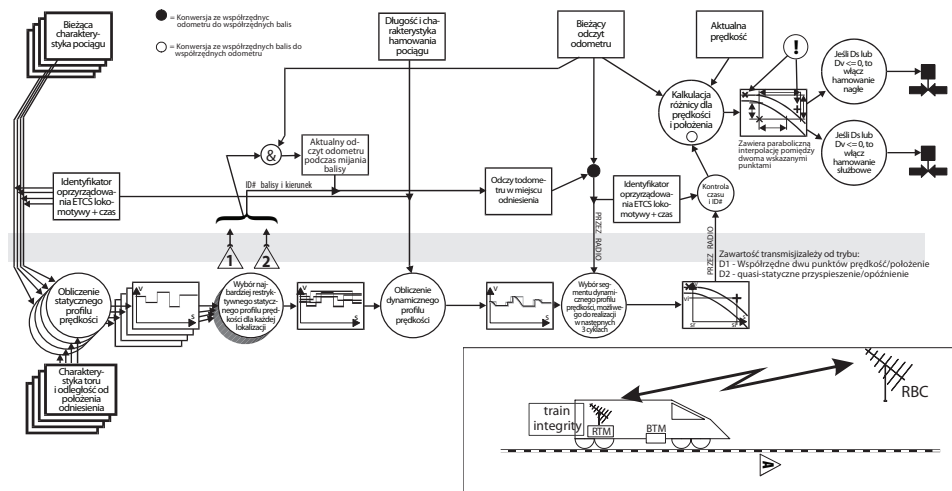
Rys. 12. Poziom 2 ETCS



Rys. 13. Schemat przekazywania i obróbki danych w poziomie 2 ETCS

Poziom 2 proponowany dla PKP opiera się na radiowej łączności GSM-R do wydawania zezwoleń na jazdę i na konwencjonalnej technice kontroli zajętości torów dla przygotowywania zezwoleń na jazdę, wykorzystującej istniejące urządzenia sterowania ruchem kolejowym warstwy podstawowej. Na rysunku 13 przedstawiono schemat przekazywania i obróbki danych w poziomie 2. Konfiguracje poziomu 2 są wyraźnie droższe od poziomu 1, gdyż dochodzą poważne koszty związane z systemem GSM-R. Należy jednak zaznaczyć, że GSM-R będzie wykorzystywany także do innych celów, np. do zapewnienia kanałów rozmównych radiołączności pociągowej. Poziom 2 nie ogranicza przepustowości linii i nie wymaga od maszynisty znajomości sygnalizacji obowiązującej na danej kolei. Przewiduje się stosowanie przede wszystkim dla linii międzynarodowych, linii dużych prędkości i innych linii znaczenia podstawowego.

Poziom trzeci stanowi rozwinięcie poziomu drugiego przez przeniesienie kontroli zajętości torów z urządzeń przytorowych do urządzeń pojazdowych. Pozwala to na sterowanie następstwem pociągów według zasady ruchomego odstępu blokowego oraz umożliwia rezygnację z obwodów torowych i liczników osi. Lokomotywa poziomu trzeciego, poza oprzyrządowaniem właściwym dla poziomu drugiego, musi być dodatkowo wyposażona w bezpieczny i niezawodny system kontroli całości składu pociągu. Głównym wyposażeniem toru poza eurobalisami pozostają radiowe centra sterowania (RBC), chociaż funkcje kontroli zajętości torów realizowane są w nieco odmienny sposób. Konfiguracja taka daje możliwość maksymalnego wykorzystania przepustowości linii, jednak uniemożliwia prowadzenie ruchu mieszanego, rozumianego jako wykorzystywanie linii dojazd pociągów wyposażonych i niewyposażonych w pokładowe urządzenia ETCS. Schemat przekazywania i obróbki danych dla poziomu 3 jest przedstawiony na rysunkach 14 i 15.

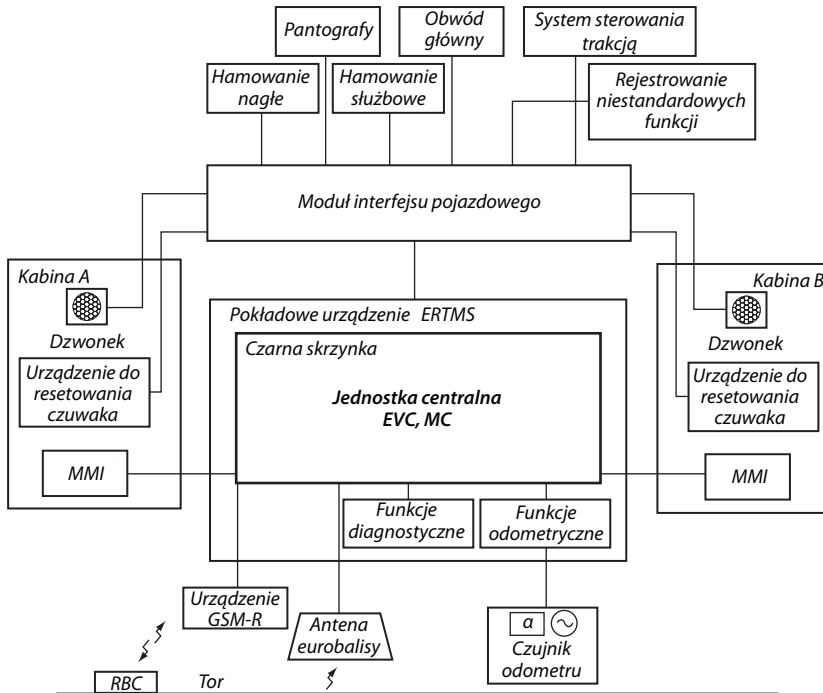


Rys. 15. Schemat oraz przekazywanie i obróbka danych w ETCS poziomie 3

W wypadku poziomym 1 cała obróbka danych ma miejsce w urządzeniu pokładowym, podczas gdy w konfiguracji dla poziomów 2 i 3 obróbka informacji odbywa się częściowo w urządzeniach pokładowych, a częściowo w urządzeniach przytorowych, czyli w Centrum Sterowania Radiowego (RBC). Dla poziomów 2 i 3, zależnie od konfiguracji, pewne kroki obróbki danych mogą mieć miejsce w urządzeniach pokładowych bądź w RBC. Nie uwzględniono tego na schematach, aby zachować ich przejrzystość.

Jak widać ze schematów na rys. 13 i 15, komunikacja w poziomach 2 i 3 systemu ETCS opiera się na dwóch jednocześnie wykorzystywanych kanałach transmisji tor – pojazd. Pierwszy z nich to cyfrowy kanał radiowy GSM-R, a drugi to transmisja za pomocą eurobalis. Kanał radiowy jest bardzo dobrym medium transmisyjnym, jednak nie daje możliwości określania aktualnego położenia pociągu na podstawie odbieranych informacji. Tymczasem niezawodne, bezpieczne, dokładne i aktualne określenie położenia pociągu jest konieczne do nadzorowania jego jazdy. Do tego celu zastosowano łańcuch eurobalis, który stanowi integralną część systemu ETCS. Łańcuch eurobalis teoretycznie można zastąpić, np. satelitarnym systemem określania pozycji (GPS), jednak do dzisiejszego dnia ta idea napotyka przeszkody techniczne i formalne. Dlatego w standardzie zakłada się wykorzystanie eurobalis i odometry (pokładowego systemu pomiaru drogi i prędkości) do określania położenia, natomiast do przesyłania innych informacji wykorzystuje się GSM-R. Na rysunku 16 pokazano przykładowe wyposażenie lokomotywy w urządzenia 2 poziomu ETCS.

Pokładowe urządzenia ETCS umożliwiają maszyniście prowadzenie pociągu w różnych sytuacjach ruchowych bez konieczności wyłączenia lub odłączenia systemu, dostosowując swoje algorytmy pracy do różnych warunków ruchowych, np. do manewrowania lub przejazdu obok uszkodzonego semafora. W związku z tym wyróżniono różne tryby pracy, z których część może być inicjowana przez maszynistę (np. przejście



Rys. 16. Przykładowe wyposażenie lokomotywy w urządzenia ERTMS/ETCS

do trybu manewrowania), a niektóre są inicjowane przez informacje odbierane z toru (np. jazda na widoczność).

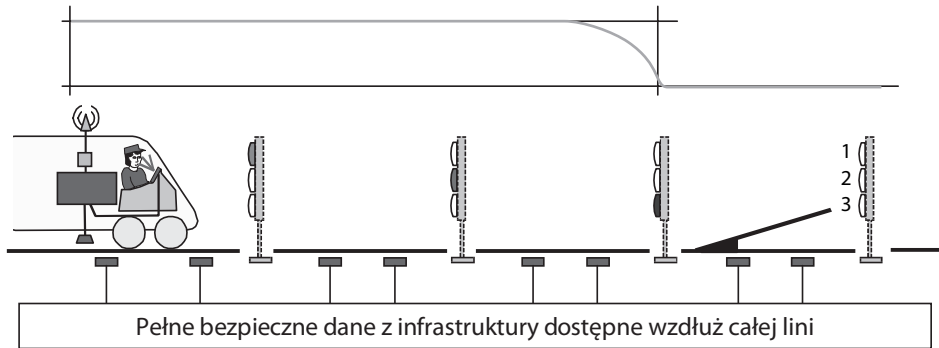
3.5. Sposoby prowadzenia ruchu

Niezależnie od poziomów aplikacji, specyfikacja ETCS rozróżnia kilka sposobów prowadzenia ruchu. Trzy podstawowe, typowe sposoby prowadzenia ruchu pociągów na linii są przedstawione na rysunkach 17, 18 i 19.

3.5.1. Tryb Pełnego Nadzoru

W Trybie Pełnego Nadzoru maszynista nie jest już uzależniony od informacji na sygnalizatorach przytorowych. ETCS wyświetla na DMI informację o prędkości rzeczywistej, jak również o prędkości maksymalnej, dozwolonej dla danego odcinka drogi. W wypadku, gdy rzeczywista prędkość pociągu przekracza wartość krytyczną dozwolonej prędkości dla tego odcinka drogi, system ETCS oddziałuje automatycznie na hamulce. Tryb Pełnego Nadzoru jest niezbędny na liniach, na których istnieje potrzeba dużej prędkości i/lub wysokiej przepustowości. Tryb Pełnego Nadzoru jest również uzasadniony ekonomicznie na liniach z przestarzałymi urządzeniami zabezpieczania ruchu, na których ETCS z pełnym nadzorem stworzy możliwość całkowitej zależności

od sygnalizacji kabinowej, a zatem rezygnacji z sygnalizatorów przytorowych. W trybie Pełnego Nadzoru system ETCS wykorzystuje kompletne dane pochodzące z infrastruktury. Te dane są odbierane z eurobalis podczas przejazdu na całej długości linii i przesyłane do ETCS w bezpiecznym formacie.

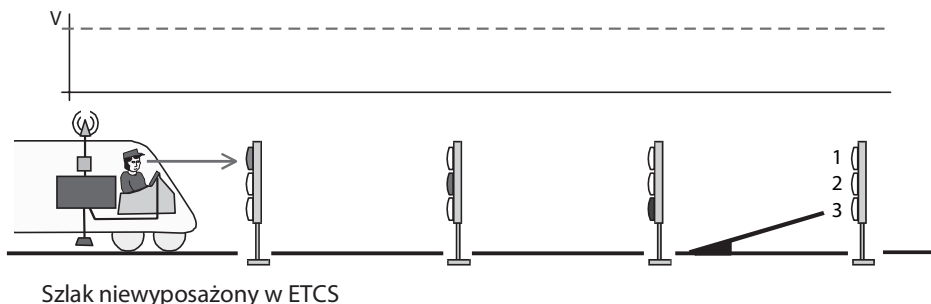


Rys. 17. Sposób prowadzenia ruchu. Ciągłe nadzorowanie dozwolonej prędkości na całej długości linii: 1) światło zielone, 2) światło żółte, 3) światło czerwone

Na rysunku 17 przedstawiono zasadę Pełnego Nadzoru w konfiguracji z ETCS poziomu 1, z transmisją danych za pomocą eurobalis.

3.5.2. Tryb Niewyposażony

W Trybie Niewyposażonym nie ma wyposażenia liniowego ETCS. Maszynista postępuje (prowadzi pociąg) zgodnie ze wskazaniami na sygnalizatorach przytorowych (rys. 18). DMI ETCS wyświetla tylko wskazanie dotyczące prędkości rzeczywistej. ETCS nadzoruje maksymalną (konstrukcyjną) prędkość pociągu, ale nie jest zdolny do wypełnienia jakiegokolwiek dalszej funkcji ochrony pociągu lub nadzorowania prędkości, ponieważ nie otrzymuje informacji z urządzeń przytorowych (w wypadku przekroczenia dozwolonej prędkości nie następuje więc automatyczne hamowanie pojazdu).

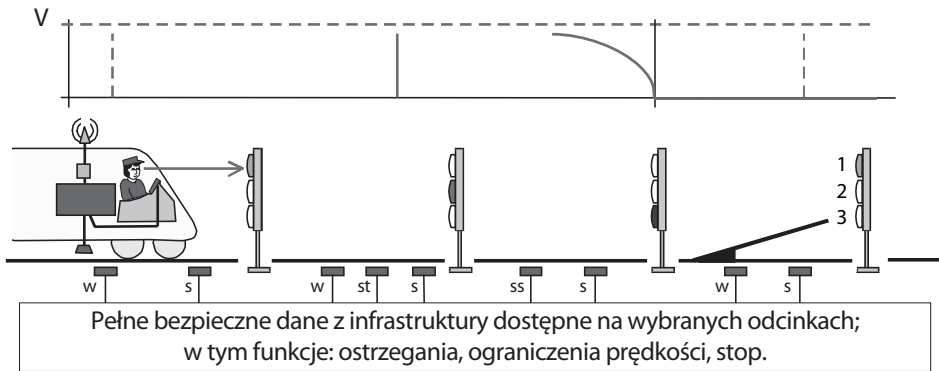


Rys. 18. Sposób prowadzenia ruchu. Nadzorowanie maksymalnej dozwolonej prędkości, brak ostrzegania i osłony pociągu: 1) światło zielone, 2) światło żółte, 3) światło czerwone

W Trybie Niewyposażonym ETCS nie może praktycznie przyczynić się do podwyższenia bezpieczeństwa ruchu pociągu.

3.5.3. Tryb Ograniczonego Nadzoru

Jak wynika z rysunku 19, maszynista podstawowo prowadzi pociąg na podstawie wskazań z sygnalizatorów przytorowych. ETCS jest systemem ochrony wskazującym tylko prędkość rzeczywistą. Na dedykowanych odcinkach linii o większym potencjalnym ryzyku, wyposażenie przytorowe dostarcza wszystkich danych, niezbędnych do ciągłego nadzorowania prędkości. Na odcinkach o małym ryzyku przekroczenia prędkości lub kolizji, wyposażenie przytorowe dostarcza tylko informacje o ostrzeżeniach, które mogą być połączone z punktową kontrolą prędkości następującą po przebyciu określonej odległości. Inne możliwe proste funkcje to „pułapka prędkości – ograniczenie prędkości od góry i od dołu” (*speed trap*) lub zatrzymanie pociągu.



Rys. 19. Sposób prowadzenia ruchu. Nadzorowanie maksymalnej dozwolonej prędkości pociągu.

Ciągłe nadzorowanie prędkości (ss) na wybranych odcinkach linii, ostrzeżenie (w), pułapka prędkości (st) lub zatrzymanie (s) mogą być używane na pozostałych odcinkach:

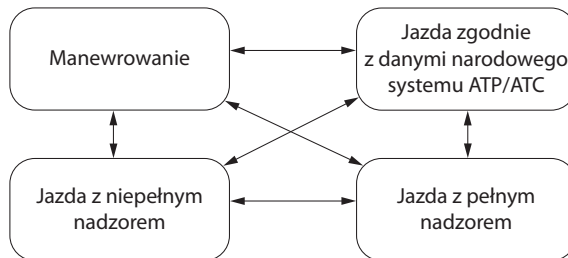
1) światło zielone, 2) światło żółte, 3) światło czerwone

W trybie Ograniczonego Nadzoru nie ma konieczności bezpiecznego przekazywania do systemu ETCS kompletnych danych pochodzących z urządzeń przytorowych, rozmieszczonych wzdłuż całej linii. Na wybranych odcinkach linii za wystarczające uznaje się rozmieszczenie eurobalis przekazujących stałe dane (np. o ograniczeniu prędkości) w formie uproszczonej. Charakteryzują się one niskimi kosztami zespołów koderów (LEU). Dlatego ten tryb, w odniesieniu do urządzeń przytorowych, czyni system ETCS bardziej skalowalnym, co pozwala na jego wdrożenie w krótszym czasie i mniejszym koszcie. Takie rozwiązanie jest rekomendowane dla linii, które są już wyposażone w kompletne klasyczne urządzenia zabezpieczenia ruchu pociągów i gdzie istniejące systemy sterowania ruchem zapewniają dokładnie funkcjonalność pracy trybu Ograniczony Nadzór. W rzeczywistości taki stan istnieje na większej części europejskiej konwencjonalnej i regionalnej sieci kolejowej. Tryb Ograniczonego Nad-

zoru umożliwi adaptację istniejących na linii kolejowej urządzeń sterowania ruchem kolejowym do poziomu 1 ETCS po najniższych możliwych kosztach. Zapewnia to równocześnie spełnienie potrzeb interoperacyjności. Urządzenia pokładowe ETCS muszą zapewniać następujące tryby pracy:

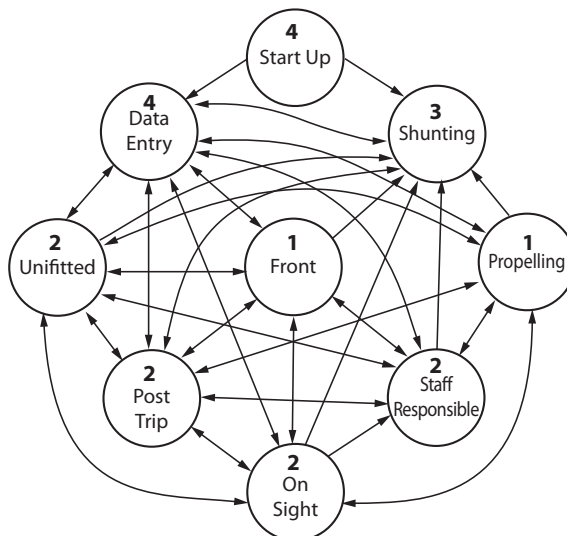
- Manewrowanie.
- Jazda z niepełnym nadzorem.
- Jazda z pełnym nadzorem.
- Jazda zgodnie z danymi narodowego systemu ATP/ATC.

Na rysunku 20 pokazano możliwe przejścia pomiędzy poszczególnymi trybami pracy.



Rys. 20. Możliwe przejścia pomiędzy poszczególnymi trybami pracy

Wszelkie przejścia pomiędzy trybami, które mają miejsce podczas jazdy pociągu, muszą odbywać się automatycznie w czasie jazdy. Przejścia następujące w czasie postoju mogą być, zależnie od potrzeb, inicjowane automatycznie lub ręcznie. Na rysunku 21 pokazano przejścia pomiędzy wybranymi trybami pracy lokomotywy wyposażonej w ERTMS.



Rys. 21. Wybrane tryby pracy lokomotywy wyposażonej w ERTMS i przejścia pomiędzy nimi:

- | | |
|---|-----------------------------|
| 1) Pełny Nadzór (Full Supervision), | 3) Manewrowanie (Shunting), |
| 2) Niepełny Nadzór (Partial Supervision), | 4) inne |

Tłumaczenia poszczególnych trybów pracy zamieszczonych na rysunku 21.

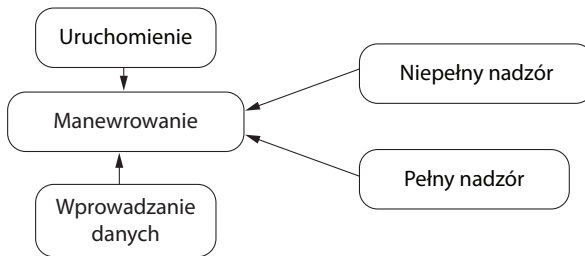
<i>Start Up</i>	Rozruch
<i>Data Entry</i>	Wprowadzanie Danych
<i>Shunting</i>	Manewrowanie
<i>Unfitted</i>	Niewyposażony
<i>Front</i>	Ciągnięcie
<i>Propelling</i>	Pchanie
<i>Post Trip</i>	Po wyłączeniu awaryjnym
<i>Staff Responsible</i>	Odpowiedzialność Personelu
<i>On Sight</i>	Na Widoczność

Lokomotywa wyposażona w ETCS może pracować w następujących trybach.

<i>Start Up</i>	()	Rozruch
<i>Data Entry</i>	()	Wprowadzanie Danych
<i>Full Supervision</i>	(FS)	Pełny Nadzór
<i>On Sight</i>	(OS)	Na Widoczność
<i>Staff Responsible</i>	(SR)	Odpowiedzialność Personelu
<i>Shunting</i>	(SH)	Manewrowanie
<i>Unfitted</i>	(UN)	Niewyposażony
<i>Front</i>	()	Ciągnięcie
<i>Propelling</i>	()	Pchanie
<i>Sleeping</i>	(SL)	Nieaktywny
<i>Stand By</i>	(SB)	Oczekiwanie
<i>Trip</i>	(TR)	Wyłączenie Awaryjne
<i>Post Trip</i>	(PT)	Po wyłączeniu awaryjnym
<i>System Failure</i>	(SF)	Awaria Systemu
<i>Isolation</i>	(IS)	Odlączenie
<i>No Power</i>	(NP)	Brak Zasilania
<i>Non Leading</i>	(NL)	Nie Prowadzący
<i>STM European</i>	(SE)	STM Europejski
<i>STM National</i>	(SN)	STM Narodowy
<i>Reversing</i>	(RV)	Jazda do tyłu

*W nawiasach podano skrót pochodzący od angielskiej nazwy, stosowany do oznaczania danego trybu pracy urządzeń pokładowych ETCS.

Tryb Manewrowanie może być wybrany w trybie: Uruchamiania, Wprowadzania Danych, Niepełnego Nadzoru, Pełnego Nadzoru, co pokazano na rysunku 22.

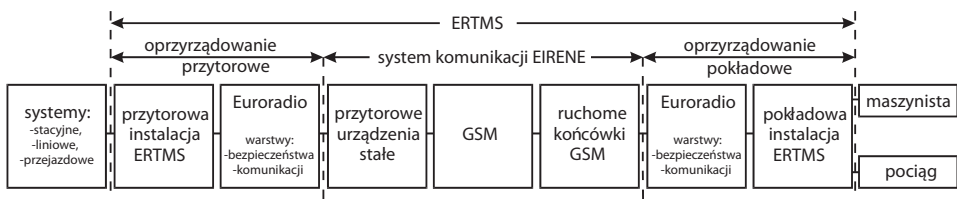


Rys. 22. Możliwości włączania trybu manewrowanie

4. GLOBALNY SYSTEM KOLEJOWEJ RADIOKOMUNIKACJI RUCHOMEJ GSM-R

GSM-R to kolejowa wersja systemu GSM (R – *Railway* – kolej), pracującego w paśmie 900 MHz. GSM-R odpowiada funkcjonalnie wersji GSM 2+, udostępniającej użytkownikom oprócz kanału rozmównego, cyfrowy kanał radiowy do przesyłania danych, wywołania grupowego, określania priorytetów wywołań, adresowania funkcjonalnego (np. numerami pociągów) i innych specjalizowanych funkcji przeznaczonych dla takich służb jak kolej lub policja.

Architektura systemu GSM-R jest typową siecią komórkową GSM i składa się z głównego Podsystemu Komutacyjno–Sieciowego (*Network Switching Subsystem – NSS*) i Podsystemu Zarządzania Siecią (*Network Management Subsystem – NMS*) na poziomie głównym oraz z Podsystemu Stacji Bazowych (*Base Station Subsystem – BSS*) składającego się z peryferyjnych grup Sterowników Stacji Bazowych (*Base Station Controller – BSC*) i peryferyjnych grup Radiowych Stacji Bazowych (*Base Transceiver Station – BTS*). Z punktu widzenia ETCS, system GSM-R stanowi kanał transmisyjny, który umożliwia przesyłanie zezwoleń na jazdę wydawanych przez Radiowe Centrum Sterowania (*Radio Block Centre – RBC*) poszczególnym pociągom znajdującym się na obszarze danego RBC. Miejsce GSM w systemie ERTMS/ETCS obrazuje rysunek 23.



Rys. 23. Miejsce GSM w systemie ERTMS/ETCS

Jednak system GSM-R to nie tylko kanał transmisyjny dla systemu ETCS. GSM-R jako zaawansowana platforma komunikacyjna znajduje wiele zastosowań zarówno w obszarze transmisji mowy, jak i transmisji danych. Unijne regulacje prawne wymagają, aby na transeuropejskiej sieci kolejowej system GSM-R zapewniał łączność rozmówną obejmującą radiołączność pociągową, manewrową, ratunkową, obszarową i wszelką inną. Natomiast poszczególni zarządcy infrastruktury, zaawansowani we wdrażaniu systemu GSM-R (jak np. DB Netz), planują wykorzystanie zunifikowanej platformy komunikacyjnej dla różnego rodzaju aplikacji wspomagających usługi kolejowe (w zakresie bezpieczeństwa, informacji podróżnych, gromadzenia danych, rozliczeń, śledzenia wagonów i przesyłek itp.). Dla specjalistów od radiołączności jedną z takich aplikacji jest system ETCS.

System GSM został wprowadzony do użytku publicznego w 1992 r., jako druga generacja systemów komórkowych (systemy komórkowe pierwszej generacji – analogowe, były wprowadzane w Europie w latach osiemdziesiątych; przykładem takiego systemu w Polsce jest NMT-450i). Podobną ewolucję przechodzą systemy radiołączności kolejowej w Europie: od pierwszych, pionierskich systemów pracujących na różnych dostępnych w danym kraju częstotliwościach, przez systemy rozwijane bardziej metodycznie, np. pracujące w paśmie 150 MHz, do najpopularniejszych obecnie w Europie systemów opartych na standardzie UIC 751-3 (450 MHz). Były to systemy analogowe, projektowane do realizacji podstawowej usługi: połączenia głosowego punkt – punkt, a ponadto cechowały się niskim stopniem wzajemnej zgodności (nie zapewniały interoperacyjności).

Konieczność modernizacji kolejowych sieci radiowych wynika z potrzeb rozwojowych i integracji europejskich kolei (wprowadzanie coraz szybszych pociągów, podwyższanie bezpieczeństwa, wymóg interoperacyjności itp.), a także z przesłanek ekonomicznych w warunkach zaostrzającej się konkurencji (wyższa sprawność zarządzania, niższe koszty). Dotychczasowe środki łączności okazały się do tego celu niewystarczające, stąd też pod koniec lat osiemdziesiątych, Międzynarodowa Unia Kolei (UIC) podjęła prace zmierzające do stworzenia projektów nowoczesnego systemu sterowania ruchem kolejowym. Zatwierdzono system bazujący na publicznym, cyfrowym systemie komórkowym GSM-900, w zastosowaniu kolejowym oznaczany jako GSM-R. Wymagania dotyczące systemu opracowano w UIC w projekcie EIRENE (*European Integrated Railway Radio Enhanced Network*). Na potrzeby tego systemu ETSI zarezerwowała dwa pasma częstotliwości „przylegające” do odpowiednich pasm systemu publicznego GSM. W celu koordynacji poczynań weryfikujących w praktyce tworzone standardy, zawiązała się grupa MORANE (*MOBILE RADIO FOR RAILWAY NETWORKS IN EUROPE*), zrzeszająca ekspertów z europejskich organizacji kolejowych i przemysłu, która opracowała, uruchomiła i przebadła na próbnym odcinkach prototypy elementów systemu GSM-R. Te działania zaowocowały opublikowaniem ostatecznych wersji wymagań funkcjonalnych (FRS wersja 7.0) i systemowych (SRS wersja 15.0) dla systemu EIRENE. Obecnie zarządcy kolei państw z dotychczasowego obszaru Unii Europejskiej są w różnych fazach wdrażania projektów.

4.1. Podstawowe informacje o systemie GSM-R

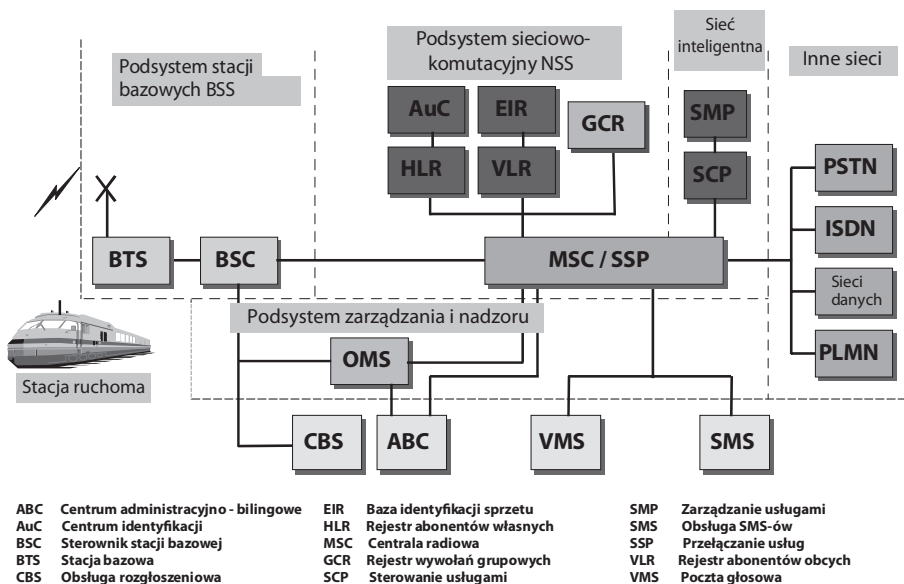
Spośród głównych cech funkcjonalnych, odróżniających systemy komórkowe od tradycyjnej, przewodowej łączności telefonicznej, można wymienić:

- wykorzystanie radia jako medium transmisyjnego między centralą a terminalem użytkownika,
- wbudowanie w system mechanizmów umożliwiających mobilność terminalu użytkownika,
- rozdzielenie informacji o użytkowniku od informacji o sprzęcie.

Jednym z podstawowych wymogów systemu GSM-R jest konieczność obsłużenia dużej liczby abonentów przy użyciu ograniczonych zasobów widmowych. Jest to realizowane trojako:

- przez wykorzystanie 19 różnych częstotliwości nośnych (wielodostęp z podziałem częstotliwości),
- na każdej z kanałowych częstotliwości nośnych uzyskano zwielokrotnienie dostępnych kanałów metodą TDMA (*Time Division Multiple Acces*), tj. przez ustanowienie ośmiu szczelin czasowych (8 kanałów rozmównych),
- dany zasób (częstotliwość nośna i szczelina czasowa) może być współdzielony przez wielu użytkowników rozdzielonych przestrzennie, tj. przebywających w różnych obszarach, nie sąsiadujących ze sobą komórek.

Wielkości komórek (promienie) wahają się od około 30 km w równinnym terenie pozamiejskim do kilkuset metrów w centrach miast. W takich skupiskach dużej liczby abonentów, jak centra handlowe, dworce kolejowe czy lotnicze, instaluje się tzw. piko-komórki o rozmiarach rzędu 100 m lub mniejszych.



Rys. 24. Schemat sieci GSM-R

Podstawowe elementy systemu GSM-R pokazano na rysunku 24. Są to:

- Terminale abonenckie (MS – *Mobile Station*) obejmujące radiotelefon oraz kartę abonenta (karta SIM).
- Radiostacja stała obsługująca komórkę lub inaczej stacja bazowa (BTS – *Base Transceiver Station*), realizująca łączność ze stacjami ruchomymi na swoim obszarze. BTS może zawierać kilka zespołów nadawczo-odbiorczych (tzw. TRX) i może wtedy obsługiwać kilka częstotliwości. W warunkach kolejowych można rozróżnić stacje bazowe szlakowe (liniowe, pokryciowe) oraz stacyjne (obszarowe, pojemnościowe).
- Sterownik stacji bazowych (BSC – *Base Station Controller*), zapewniający sterowanie wieloma stacjami bazowymi i pośredniczący w połączeniu z centralą radiową. Stacje bazowe wraz z ich sterownikami tworzą podsystem stacji bazowych.
- Centrala radiowa (MSC – *Mobile Switching Centre*), realizująca funkcje komutacyjne (połączenia pomiędzy abonentami), dostęp do usług, a także zasadnicze funkcje kontrolno-sterujące w systemie. W tym celu, w skład podsystemu komutacji wchodzi oprócz samej centrali, odpowiednie rejestry z niezbędnymi bazami danych. W sieci danego operatora GSM zwykle istnieje kilka central MSC. Przynajmniej jedna z nich (GMSC) zapewnia połączenie z innymi sieciami telekomunikacyjnymi, w tym także z publiczną siecią telekomunikacyjną.
- Rejestr abonentów własnych (HLR – *Home Location Register*) – baza danych zawierająca informacje o abonentach danego operatora wraz z informacją o ich aktualnej lokalizacji.
- Rejestr abonentów obcych (VLR – *Visitor's Location Register*) – baza danych o abonentach przemieszczających się po obszarze MSC. Zawiera m.in. informacje o stanie każdego terminalu, identyfikatorze obszaru przywołań, adresie macierzystego HLR, kategorii abonenta, parametrach procedur identyfikacji abonenta i szyfrowania transmisji. Pojawienie się stacji ruchomej w nowym obszarze lokalizacji rozpoczyna procedurę rejestracji.
- Centrum identyfikacji (AuC – *Authentication Centre*) – baza danych umożliwiająca identyfikację abonenta, ma na celu zapobieganie połączeniom abonentów nieuprawnionych i nadużyciom ze strony abonentów.
- Rejestr sprzętu (EIR – *Equipment Identification Register*) – baza danych, która umożliwia identyfikację, np. radiotelefonów skradzionych, uszkodzonych, bez homologacji itp.
- Rejestr wywołań grupowych (GCR – *Group Call Register*) – baza danych o utworzonych grupach abonentów, wspomagająca usługę połączeń grupowych.
- Centrum eksploatacji i utrzymania sieci (OMC – *Operation and Maintenance Centre*), – wyposażenie do bieżącego zarządzania i nadzoru nad pracą sieci, umożliwiające identyfikację uszkodzeń i rekonfigurację.
- Centrum obsługi krótkich komunikatów (SMS – *Short Message System*).

Łączność radiowa odbywa się zawsze pomiędzy terminalem abonenta (MS) a stacją bazową (z reguły najbliższą, tzn. obsługującą komórkę, na terenie której znajduje się abonent). W celu zapewnienia optymalnej jakości połączenia bez zakłóceń łączności w sąsiednich kanałach, w systemie stosuje się mechanizmy pomiaru zniekształceń oraz regulacji mocy zarówno nadajników stacji bazowych, jak i ruchomych. Generalnie nie ma możliwości realizacji bezpośredniego połączenia radiowego pomiędzy radiotelefonami GSM. Wyjątkiem jest opcjonalny dla systemu GSM-R tryb bezpośredni, możliwy do wykorzystania w sytuacji braku zasięgu (lub np. uszkodzenia) sieci.

Do łączności pomiędzy BTS a BSC wykorzystuje się różne techniki: stacjonarną, cyfrową sieć telekomunikacyjną lub gdy brak sieci – radiolinię. Dalsza łączność na drodze BSC – MSC powinna wykorzystywać szkieletową sieć telekomunikacyjną zapewniającą odpowiednią przepustowość (w praktyce – sieć światłowodową). Ważną zaletą systemów GSM w stosunku do systemów analogowych jest wyższy poziom zabezpieczenia informacji przed podsłuchem lub ingerencją w jej treść. Spośród środków zastosowanych w tym celu warto wymienić:

- dostęp do sieci jest możliwy na podstawie potwierdzonej autentyczności abonenta, ale bez przesyłania przez sieć klucza identyfikacyjnego Ki (klucze Ki znajdują się na karcie SIM abonenta i w rejestrze HLR),
- szyfrowanie przesyłanych informacji od i do abonenta,
- używanie wewnątrz sieci tymczasowych numerów abonenta TMSI.

Po włączeniu zasilania radiotelefonu następuje automatyczna weryfikacja i rejestracja abonenta w sieci na podstawie danych zawartych w karcie SIM abonenta. Sieć akceptuje abonentów własnych (mających umowę, konto u danego operatora komórkowego) lub abonentów innych operatorów (w tzw. roamingu, tzn. abonentów operatorów innych sieci, mających umowę roamingową z danym operatorem). Sieć GSM będzie realizowała połączenia od i do zarejestrowanego abonenta zgodnie z jego uprawnieniami (tzn. zgodnie z zakresem usług zawartych w umowie abonamentowej z operatorem). Sieć cyklicznie sprawdza status abonentów, tzn. weryfikuje czy istnieje z nimi łączność, czy też abonent ma wyłączony radiotelefon lub znajduje się poza zasięgiem radiowym sieci. Z kolei radiotelefon abonencki odbiera informacje cyklicznie nadawane przez stacje bazowe sieci, zawierające identyfikator operatora, informacje o tzw. obszarze przywołania i inne niezbędne dane. Zmiana obszaru przywołania (np. przejazd z jednego miasta do drugiego lub wyjazd za granicę państwa) powoduje, że terminal abonencki automatycznie łączy się z siecią i informuje o swoim nowym położeniu.

Zestawianie połączeń od i do abonenta obejmuje wiele złożonych procedur. Terminal abonencki zgłasza żądanie połączenia w specjalnym kanale sygnalizacyjnym w aktualnej komórce, a w wypadku połączenia ze strony sieci wywołanie następuje w specjalnym kanale przywoławczym wszystkich stacji bazowych na obszarze wywołania, w którym znajduje się abonent. Następnie uruchamiane jest połączenie w kanale sygnalizacyjnym pomiędzy terminalem abonenta a siecią (centrala radiową MSC), w trakcie którego następuje identyfikacja abonenta, ustalenie parametrów połączenia i przy-

dział roboczego kanału radiowego dla właściwego połączenia. Połączenie może być realizowane zarówno pomiędzy abonentami ruchomymi, jak i abonentami innych sieci telekomunikacyjnych. Transmisja odbywa się zawsze przez sieć stałą. W czasie trwania połączenia sieć kontroluje jakość transmisji w kanale radiowym i odpowiednio reguluje moce nadajników radiowych lub przełącza połączenie między stacjami bazowymi – komórkami (tzw. operacja *handover*, gdy w czasie połączenia abonent ruchomy przemieszcza się między komórkami sieci). Sieć może także realizować transmisję krótkich komunikatów tekstowych (SMS) w specjalnym kanale sygnalizacyjnym, bez zestawiania normalnego połączenia. Rozbudowany system sterowania pozwala na realizację różnego rodzaju usług dodatkowych związanych z przełączaniem połączeń między abonentami, zestawianiem połączeń konferencyjnych, tworzeniem grup abonentów itp.

Sieć GSM-R umożliwia transmisję danych z wykorzystaniem różnych technik. Pierwotna technika wykorzystująca jeden kanał, zestawiany tak jak kanał rozmówny, tj. przez komutację łączy, ograniczała szybkość transmisji danych do 9 600 b/s. Jej rozwinięciem jest technologia HSCSD (*High Speed Circuit Switched Data*), umożliwiająca zwiększenie przepływności przez przydzielenie kilku kanałów rozmównych dla transmisji danych (przepływność do 57,6 kb/s). Kanały te pozostają jednak zajęte wyłącznie na potrzeby danego połączenia i przez cały czas jego trwania. Efektywniejsza jest technologia GPRS (*General Packet Radio Service*), wykorzystująca znaną z sieci teleinformatycznych komutację pakietów. Oferuje ona prędkość transmisji teoretycznie do 115 kb/s, a praktycznie do ok. połowy tej wartości.

4.2. Cechy i usługi charakterystyczne dla GSM-R

Wersja kolejowa GSM-R radiokomunikacji ruchomej GSM ma następujące charakterystyczne cechy:

Częstotliwość

Zakresy częstotliwości przydzielone na potrzeby kolejowego systemu GSM to 876 – 880 MHz do łączności od stacji ruchomych do stacji bazowych oraz 921 – 925 MHz w relacji odwrotnej. Odstęp międzykanałowy wynosi 200 kHz, a odstęp między częstotliwościami dla relacji „w dół” i „w górę” systemu duplexowego wynosi 45 MHz. Umożliwia to ustanowienie 19 kanałów o częstotliwościach określonych następująco:

$$F_1(n) = 890 + 0,2 * (n-1024) \text{ dla } 955 \leq n \leq 973$$

$$F_u(n) = F_1(n) + 45$$

gdzie:

$F_1(n)$ – dolna, a $F_u(n)$ – górna częstotliwość z pary o numerze n tworzącej kanał duplexowy.

Ponieważ istnieje wymóg, aby terminale ruchome pracowały również w paśmie publicznego GSM, zatem praktyczny zakres pracy terminali GSM-R obejmuje pasma 876 – 915 MHz i 921 – 960 MHz.

Właściwości głosowych wywołań grupowych i zbiorowych

Wszystkie urządzenia powinny zapewniać te usługi według odpowiedniej definicji w standardach fazy 2+ GSM. Usługi powinny być głównie stosowane do:

- rozsiewania wiadomości od dyżurnych do ustalonej grupy pociągów w obszarze podległym dyżurnemu,
- kierowania wywołaniami grupowymi między maszynistami pociągów i dyżurnymi na ustalonych z góry obszarach,
- zarządzania wywołaniami grupowymi między pracownikami torowymi, członkami zespołu manewrowego, personelem stacyjnym i podobnymi grupami na obszarach lokalnych.

Wielopoziomowa hierarchia ważności i priorytetów

Ta usługa standardu GSM-R umożliwia przypisywanie priorytetów określonym wywołaniom w celu umożliwienia realizacji połączeń mających wyższy priorytet (połączenia związane z niebezpieczeństwem, awariami) kosztem nieobsłużenia (lub nawet rozłączenia trwających) połączeń o niższych priorytetach.

Transfer (przekazywanie) adresu i informacji o miejscu

Wielu pracowników kolejowych powinno być adresowanych przez sprawowane funkcje, a nie przez numer personalny. Numery funkcyjne mogą zmieniać się regularnie. Typowym przykładem takiej zmiany są maszyniści, których należy adresować przez bieżące numery pociągów, mogące ulegać zmianie podczas każdego przebiegu. W celu pokonania tych trudności powinny być zapewnione mechanizmy translacyjne, pozwalające na przesyłanie numerów funkcyjnych do większości numerów osobistych w danym czasie.

Zdalne uaktualnianie numerów zapamiętanych w SIM

Maszyniści pociągów powinni mieć możliwość połączenia się z dyżurnymi i innym personelem po naciśnięciu jednego przycisku. Urządzenia pociągowe i inne urządzenia ruchome muszą mieć dodatkową możliwość rozpoznania, czy są, lub nie są uczestnikami wywołań grupowych lub zbiorowych, które były realizowane. W celu dostarczenia tych właściwości, na karcie SIM są zapamiętywane odpowiednie zasady. Na przykład, kiedy maszynista naciśnie przycisk „Wywołanie dyżurnego”, z karty SIM jest wyodrębniony numer właściwego miejscowo dyżurnego, a połączenie jest automatycznie przypisane do tego numeru. W trakcie przemieszczania się pociągu bieżący adres dyżurnego podlega ciągłym zmianom. Jest więc niezbędne, aby numery na karcie SIM były zdalnie uaktualniane, zgodnie z lokalizacją pociągu.

Interpretacja ustalonych z góry krótkich telegramów

Istnieje grupa standardowych telegramów tekstowych często przesyłanych między dyżurnymi i maszynistami. Z powodu standaryzacji zawartości takich telegramów jest możliwe zastosowanie krótkiego kodu przesyłanego w miejsce całej treści telegramu.

Po stronie odbiorczej następuje interpretacja tego kodu i wyświetlenie pełnego tekstu telegramu w języku odpowiednim dla odbiorcy.

Tryb bezpośredni

Każde kolejowe urządzenie ruchome może (opcjonalnie) realizować tryb bezpośredniej łączności po to, aby można było z niego połączyć się z innymi kolejowymi urządzeniami ruchomymi w lokalnym obszarze, bez użycia infrastruktury GSM. Taki tryb będzie stosowany tam gdzie:

- nie ma infrastruktury GSM,
- infrastruktura GSM jest uszkodzona.

Należy zwrócić uwagę, że jednym z głównych powodów wdrażania systemu GSM-R jest jego zastosowanie w charakterze medium transmisyjnego dla europejskiego systemu sterowania pociągami ETCS. Takie zastosowanie stawia podwyższone wymagania dotyczące pewności pokrycia radiowego, w stosunku do sieci radiołączności wykorzystywanych tylko do połączeń głosowych. Czynniki pogarszające warunki propagacji mogą mieć naturę stałą (np. ukształtowanie terenu), zmienną w sposób systematyczny (np. w zależności od pory roku – liście na drzewach lub ich brak) lub przypadkową (warunki pogodowe, zakłócenia, uszkodzenia). W celu ograniczenia wpływu tych czynników stosuje się zagęszczenie stacji bazowych tak, aby ich zasięgi wykazywały wyraźne przekrycie. Korzystne jest takie ich zagęszczenie, aby przy wyłączeniu z pracy jednej z nich (np. w wyniku uszkodzenia), pojazd znajdował się w zasięgu pokrycia którejś z najbliższych sąsiednich stacji.

4.3. Możliwości wykorzystywania cyfrowej transmisji danych systemu GSM-R w ERTMS

Kolejowy system radiołączności GSM-R zapewnia łączność foniczną oraz cyfrową transmisję danych. Transmisja ta może być wykorzystywana do zaspokojenia różnych potrzeb w zakresie łączności, zarówno pomiędzy obiektami stałymi, jak i dla połączeń z urządzeniami znajdującymi się na pojazdach. Cyfrowa transmisja danych udostępniana przez system GSM-R może być wykorzystywana do:

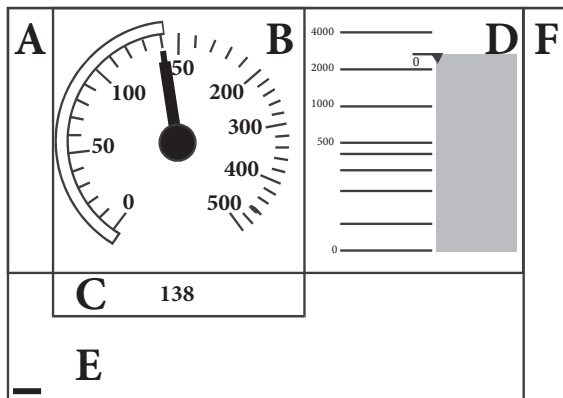
- transmisji „tor – pojazd” na potrzeby europejskiego systemu sterowania ERTMS/ETCS,
- łączności pomiędzy urządzeniami warstwy podstawowej srk (nastawnice, blokady, urządzenia zabezpieczenia przejazdów) i centrum sterowania radiowego RBC,
- aplikacji związanych ze śledzeniem przesyłek,
- łączności na potrzeby wirtualnych sieci spisywaczy, pomiędzy biurami odpraw pociągów a spisywaczami i odprawiaczami w terenie,
- transmisji „tor – pojazd” na potrzeby pokładowego systemu informacji podróży,
- łączności RBC z warstwą ETML,

- łączności RBC z urządzeniami informacji podróży na stacjach objętych zdalnym sterowaniem,
- transmisji danych diagnostycznych taboru,
- transmisji danych na potrzeby innych, dzisiaj niezdefiniowanych aplikacji.

Jak już wspomniano wcześniej, transmisja danych oparta na technice komutacji pakietów (GPRS) jest korzystniejsza niż transmisja danych wykorzystująca kanał rozmówny, gdyż umożliwi lepsze wykorzystanie zasobów widma radiowego. Spośród 13 analizowanych kolei europejskich większość (8) deklaruje wykorzystanie trybu GPRS – jedynie Norwegia deklaruje niewykorzystywanie GPRS, a pozostałe koleje, chociaż obecnie nie przewidują jego wykorzystania, to w przyszłości nie wykluczają takiej możliwości.

5. INTERFEJS ZOBRAZOWANIA DLA MASZYNISTY

Dla systemów ETCS i GSM-R międzynarodowe zrzeszenie kolei UIC proponuje wspólny interfejs obrazowania dla maszynisty (*Driver Machine Interface* – DMI). W proponowanym urządzeniu obrazowania zastosowano podzielony na obszary ekran dotykowy, na których są wyświetlane ikony. Główne obszary DMI przedstawiono na rysunku 25. Każda ikona pojawia się w określonym miejscu ekranu, w kolorze odpowiednim do sytuacji. Ikona biała to sytuacja normalna i brak potrzeby reakcji maszynisty. Ikona żółta to sytuacja nadal normalna, ale z potrzebą reakcji maszynisty. Ikona pomarańczowa to sytuacja wyjątkowa, wskazująca na pilną potrzebę reakcji maszynisty. Jeśli ikona staje się czerwona to znaczy, że nastąpiła interwencja systemu, który zastąpił maszynistę prowadzącego pojazd w sposób niezgodny z przekazanymi informacjami. Kolory są stosowane zarówno do ikon rozumianych klasycznie, jak i do strzałki i słupka prędkościomierza.



Rys. 25. Główne obszary DMI wspólnego dla ETCS i GSM-R

Obszary DMI: A (dane dotyczące hamowania), B (prędkościomierz) i C (wartości prędkości) dotyczą systemu ETCS, podczas gdy obszary D (planowanie – opis szlaku), E (nadzór – obsługa urządzeń pojazdowych) i F (klawiatura maszynisty) są użytkowane zarówno przez system ETCS, jak i przez system GSM-R. Przykładowo obszar F znajdujący się po prawej stronie monitora stanowi klawiaturę maszynisty. Zawiera ona przyciski ETCS takie jak „tryb pracy lokomotywy”, „przejazd obok sygnalizatora wskazującego Stój” lub „wprowadzanie danych o pociągu” oraz przyciski GSM-R takie, jak „funkcje radia pokładowego”, „łącz z pierwszym operatorem”, „łącz z drugim operatorem”, „łącz z nadzorem zasilania” i „pilne ostrzeżenie dla wszystkich pociągów w danym obszarze”. Ten ostatni przycisk można uznać za leżący na pograniczu systemu ETCS i GSM-R.

6. OPIS SYSTEMU ETML

Pierwotnie oczekiwano, że trzecim składnikiem systemu ERTMS będzie europejski system obszarowego zarządzania ruchem. Koleje nie potrafiły jednak ustalić, jakie funkcje mają wejść w skład systemu zarządzania, a tymczasem poszczególne zarządy kolejowe tworzyły własne systemy. Telematyczne systemy zarządzania ruchem kolejowym poszczególnych zarządów kolejowych rozwinęły się na tyle, że standaryzacja całej warstwy zarządzania stała się niemal utopijna. W związku z tym na poziomie Komisji Europejskiej podjęto decyzję, że ERTMS będzie zawierał interfejs, który pozwoli narodowym telematycznym systemom zarządzania ruchem kolejowym, na wymianę informacji z wykorzystaniem standardowych łączy i standardowych komunikatów. Fakt, że w ramach ERTMS będzie opracowywany tylko interfejs między telematycznymi systemami zarządzania ruchem kolejowym oznacza, że poszczególne koleje potrzebują własnych systemów zarządzania ruchem i nie powinny oczekiwać standardowych rozwiązań europejskich w tym zakresie.

BIBLIOGRAFIA

1. Białoń A., Gradowski P., Pawlik M.: *Aspekty prawne wdrażania ERTMS*, 7th International Conference Modern Electric Traction in Integrated XXIst Century Europe, Politechnika Warszawska Wydział Elektryczny, 2005.
2. Białoń A., Gradowski P., Pawlik M.: *Wstępne studium transgranicznej eksploatacji „ERTMS”*, Temat CNTK nr 4019/10, Warszawa, 2002.
3. Białoń A., Gradowski P., Toruń A.: *Koncepcja wdrożenia interoperacyjności w zakresie sterowania ruchem kolejowym (ERTMS) na PKP – Etap I*. Temat CNTK nr 4035/10, Warszawa, 2003.
4. Białoń A., Gradowski P., Toruń A.: *Koncepcja wdrożenia interoperacyjności w zakresie sterowania ruchem kolejowym (ERTMS) na PKP – Etap II*. Temat CNTK nr 4035/10, Warszawa, 2004
5. Białoń A., Gradowski P., Toruń A.: *Problematyka wdrażania ERTMS*, 7th International Conference Modern Electric Traction in Integrated XXIst Century Europe, Politechnika Warszawska Wydział Elektryczny, 2005
6. Białoń A., Gradowski P., Toruń A.: *Koncepcja wdrożenia interoperacyjności w zakresie sterowania ruchem kolejowym (ERTMS) na PKP – Etap III*. Temat CNTK nr 4035/10, Warszawa, 2004.
7. Białoń A., Gradowski P.: *System zarządzania ruchem kolejowym (ERTMS)*, „Telekomunikacja i Sterowanie Ruchem”, 2007, nr 1.
8. Białoń A., Gradowski P.: *Zmienne narodowe w systemie ERTMS/ETCS*, „Telekomunikacja i Sterowanie Ruchem”, 2007, nr 1.
9. Białoń A., Gradowski P.: *Aktualny stan prac nad wdrażaniem ERTMS na PKP*, Zjazd Służby PKP PLK S.A., 2004.
10. Białoń A., Pawlik M., Wielowiejski B.: *Określenie możliwości wprowadzenia systemu GSM-R (GSM kolejowego) w Polsce*. Temat CNTK nr 4047/10, Warszawa, 2003.
11. Corridor VI, section Katowice – Bohumin, ERTMS Cross-border Operation Pre-study, Final Report, UIC 2002.
12. Decyzja 2004/447/WE z dnia 29 kwietnia 2004 r. modyfikująca załącznik A do decyzji Komisji 2002/731/WE z dnia 30 maja 2002 r. i ustanawiająca główną charakterystykę systemu klasy A (ERTMS) podsystemu kontrolno-decyzyjnego oraz sygnalizacyjnego transeuropejskiego systemu kolei konwencjonalnych, o którym mowa w dyrektywie 2001/16/WE, Dz.U. L155 z 30.4.2004, s. 65-79 (EN), Polskie wydanie specjalne, Rozdział 13, Tom 34 P. 811-823.¹
13. Decyzja Komisji Europejskiej 2001/260/EC: Commission Decision of 21 March 2001 on the basic parameters of the command-control and signalling subsystem of the trans-European high-speed rail system referred to as „ERTMS characteristics” in Annex II (3) to Directive 96/48/EC. Dz.U. L93 z 3.4.2001, s. 53-56.

¹ [Od redakcji: bezpośredni dostęp do prawa Unii Europejskiej, publikowanego w Dzienniku Urzędowym Unii Europejskiej (seria L – dyrektywy, decyzje, rozporządzenia, seria C – informacje i zawiadomienia) umożliwia strona internetowa www.eur-lex.europa.eu]

14. Decyzja 2008/386/WE Komisji z dnia 23 kwietnia 2008 r. zmieniająca załącznik A do decyzji 2006/679/WE dotyczącej technicznej specyfikacji dla interoperacyjności odnoszącej się do podsystemu sterowania ruchem kolejowym transeuropejskiego systemu kolei konwencjonalnych oraz załącznik A do decyzji 2006/860/WE dotyczącej specyfikacji technicznej interoperacyjności podsystemu „Sterowanie” transeuropejskiego systemu kolei dużych prędkości. Dz.U. L136 z 24.05.2008, s. 11-17.
15. Decyzja 2002/730/EC Komisji z 30 maja 2002 r. dotycząca specyfikacji technicznej interoperacyjności podsystemu konserwacji transeuropejskiego systemu kolei dużych prędkości, określonej w art. 6 ust. 1 dyrektywy 96/48/WE. Dz.U. L245 z 12.0.2002, s. 1-36. Polskie wydanie specjalne, Rozdział 13, Tom 30 P.3.
16. Decyzja 2002/731/EC Komisji z dnia 30 maja 2002 r. dotycząca specyfikacji technicznej interoperacyjności podsystemu kontrolno-decyzyjnego oraz sygnalizacyjnego transeuropejskiego systemu kolei dużych prędkości, o którym mowa w art. 6 ust. 1 dyrektywy Rady 96/48/WE. Dz.U. L245 z dnia 12.9.2002 s. 37-142. Polskie wydanie specjalne Rozdział 13 Tom 30 P. 41.
17. Decyzja 2002/732/EC Komisji z dnia 30 maja 2002 r. dotycząca TSI odnoszącej się do podsystemu infrastruktury transeuropejskiego systemu kolei dużych prędkości, określonej w art. 6 ust. 1 dyrektywy Rady 96/48/WE. Dz.U. L245 z 12.9.2002, s. 143-279. Polskie wydanie specjalne Rozdział 13 Tom 30 P. 149-288.
18. Decyzja 2002/733/EC Komisji z dnia 30 maja 2002 r. dotycząca specyfikacji technicznej dla zapewnienia interoperacyjności podsystemu energetycznego transeuropejskiego systemu kolei dużych prędkości, o którym mowa w art. 6 ust. 1 dyrektywy 96/48/WE. Dz.U. L245 z 12.9.2002, s. 280-369. Polskie wydanie specjalne Rozdział 13 Tom 30 P. 289-381.
19. Decyzja 2002/734/EC Komisji z dnia 30 maja 2002 r. dotycząca specyfikacji technicznej interoperacyjności podsystemu działania transeuropejskiego systemu kolei dużych prędkości, o której mowa w art. 6 ust. 1 dyrektywy Rady 96/48/WE. Dz.U. L245 z 12.9.2002, s. 370-401. Polskie wydanie specjalne Rozdział 13 Tom 30 P. 382-415.
20. Decyzja 2002/735/EC Komisji z dnia 30 maja 2002 r. dotycząca specyfikacji technicznej dla zapewnienia interoperacyjności podsystemu taboru transeuropejskiego systemu kolei dużych prędkości, o którym mowa w art. 6 ust. 1 dyrektywy 96/48/WE. Dz.U. L245 z 12.9.2002, s. 402-506. Polskie wydanie specjalne Rozdział 13 Tom 30 P. 416.
21. Dyduch J., Pawlik M., „Systemy automatycznej kontroli jazdy pociągu”, Radom, Wydawnictwo Politechniki Radomskiej, 2002.
22. Dyrektywa 2004/49/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 29 kwietnia 2004r. w sprawie bezpieczeństwa kolei wspólnotowych oraz zmieniająca dyrektywę Rady 95/18/WE w sprawie przyznawania licencji przedsiębiorstwom kolejowym oraz dyrektywę 2001/14/WE w sprawie alokacji zdolności przepustowej infrastruktury kolejowej i pobierania opłat za użytkowanie infrastruktury kolejowej oraz certyfikację w zakresie bezpieczeństwa (Dyrektywa w sprawie bezpieczeństwa kolei).

- Dz.U. L164 z 30.4.2004, s. 44-113. Polskie wydanie specjalne. Rozdział 07 Tom 08 P. 227-250.
23. Dyrektywa 2004/50/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 29 kwietnia 2004 r. zmieniająca dyrektywę Rady 96/48/WE w sprawie interoperacyjności transeuropejskiego systemu kolei dużych prędkości i dyrektywę 2001/16/WE Parlamentu Europejskiego i Rady w sprawie interoperacyjności transeuropejskiego systemu kolei konwencjonalnej. Dz.U. L 164 z 30.4.2004, s. 114-163. Polskie wydanie specjalne. Rozdział 13 Tom 34 P. 838-858.
 24. Dyrektywa 2001/16/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 19 marca 2001 r. w sprawie interoperacyjności transeuropejskiego systemu kolei konwencjonalnych. Dz.U. L110 z 20.4.2001 s. 1-27. Polskie wydanie specjalne Rozdział 13 Tom 26 P. 243-269.
 25. Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2008/57/WE z dnia 17 czerwca 2008 r. w sprawie interoperacyjności systemu kolei we Wspólnocie (przekształcenie). Dz.U. L191 z 18.7.2008, s. 1-45.
 26. Dyrektywa Rady 91/440/EC z dnia 29 lipca 1991 r. w sprawie rozwoju kolei wspólnotowych. Dz.U. L237 z 24.8.1991, s. 25-28. Polskie wydanie specjalne Rozdział 07 Tom 001 P. 341-344.
 27. Dyrektywa Rady 96/48/WE z dnia 23 lipca 1996 r. w sprawie interoperacyjności transeuropejskiego systemu kolei dużych prędkości. Dz.U. L235 z 17.9.1996, s. 6-24. Polskie wydanie specjalne Rozdział 13 Tom 017 P. 152-170.
 28. ERTMS pilot installation on the Kunowice – Warsaw E-20 line, Implementation Study, Final Report, Italferr 1998.
 29. ERTMS Strategic Study for the Central and East European Countries, Final Report, Tractebel 1999.
 30. Gradowski P.: *Korytarze transportowe – strategia wdrażania interoperacyjności w zakresie srk*. XII Ogólnopolska Konferencja Naukowa Trakcji Elektrycznej, Politechnika Krakowska, Wydział Inżynierii Elektrycznej i Komputerowej, 2006.
 31. Gradowski P.: *Strategia wdrażania interoperacyjności w zakresie urządzeń sterowania*, V International Conference Transport Systems Telematics TST'05, Politechnika Śląska, Wydział Transportu, 2005.
 32. Pilotowa instalacja ERTMS na linii E-20 Kunowice Warszawa (studium wdrożeniowe), Warszawa, 1997.
 33. Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 29 czerwca 2004 r. w sprawie zasadniczych wymagań dotyczących interoperacyjności kolei oraz procedur oceny zgodności dla transeuropejskiego systemu kolei dużych prędkości, Dz.U. 2004, nr 162, poz. 1697.
 34. Ustawa z dnia 20 kwietnia 2004 r. o zmianie ustawy o transporcie kolejowym, Dz.U. 2004, nr 92, poz. 883.
 35. Ustawa z dnia 30 sierpnia 2002 r. o systemie oceny zgodności, Dz.U. 2002, nr 166, poz. 1360.