

EUROPEJSKI SYSTEM STEROWANIA RUCHEM KOLEJOWYM - ANALIZA TECHNICZNO-EKONOMICZNA

W artykule przedstawiono analizę techniczną systemu ERTMS/ETCS, jako zunifikowanego systemu sterowania, wdrażanego na liniach kolejowych w Polsce. Przedstawiona perspektywa rozwoju systemu, jego architektura i zastosowanie w obecnych realiach rozwoju rynku kolejowego, ukazuje możliwości płynące z interoperacyjności linii kolejowych różnych zarządów. Omówiono istotę European Train Control System (ETCS) poziomu 1, 2 i 3. Dokonano krótkiej charakterystyki wdrożenia systemu w Polsce z uwzględnieniem kosztów budowy i utrzymania.

WSTĘP

Od czasu, gdy w Europie zatarty się granice, Państwa Członkowskie Unii Europejskiej jednoczą się gospodarczo, kulturowo i politycznie. Można dostrzec jak dzięki integracji rozwija się współpraca wszystkich podmiotów. Ograniczenie barier prawnych, systemowych, technicznych powoduje rozwój poszczególnych regionów. Przepływ dóbr, towarów oraz migracje ludności wewnątrz Unii Europejskiej stały się niezwykle proste, dostępne. Dzięki rozwiązaniom prawnym i technicznym istnieje możliwość w krótkim czasie przetransportować dowolną ilość towarów bez zbędnych procedur. Transport stał się jedną z części integracji, a koordynacja i integracja systemów i procesów pozwala udoskonalać i kontrolować wewnętrzne procedury optymalizując je, korzystając z doświadczenia innych podmiotów. Takie działania są uzasadnione, biorąc pod uwagę to, że każdy, nawet najlepszy proces, można zawsze udoskonalić.



Rys. 1. Tor wyposażony w system ERTMS
Źródło: [6]

Działania ukierunkowane na integrację, standaryzację oraz rozwój systemów zarządzania, można zaobserwować w obszarze transportu kolejowego. Transport kolejowy od zawsze był fundamentem budowy gospodarki państw rozwijających się. Pomimo dynamicznego rozwoju infrastruktury drogowej, dziś można zaobserwować wzmożone inwestycje w nowoczesne rozwiązania logi-

styczne, usprawniające proces przewozowy. Zarządy oraz gałęzie przemysłu kolejowego dążą do interoperacyjności, która definiuje zgodność infrastruktury torowej, taborowej oraz systemów zarządzania w celu usprawnienia procesu przewozowego z jednoczesnym zwiększeniem poziomu bezpieczeństwa.

1. ISTOTA ETCS - EUROPEAN TRAIN CONTROL SYSTEM - ETCS POZIOM 1

Poziom pierwszy (ETCS1) jest poziomem podstawowym systemu ERTMS. Zapewnia on punkt wyjścia dla rozbudowy urządzeń pokładowych i przytorowych wyższych poziomów. ETCS 1 stanowi nakładkę na urządzenia liniowe i stacyjne. Zapewnia, że pociąg nie przejedzie miejsca końca zezwolenia na jazdę, oraz nie przekroczy prędkości dopuszczalnej na odcinkach, po których się porusza. Wyposażenie ETCS zestawiono w tab.1.

Tab. 1. Wyposażenie ETCS/ERTMS poziomu pierwszego

WYPOSAŻENIE POJAZDU	WYPOSAŻENIE TORU
<p>Poziom 1 (P1) obejmuje:</p> <ul style="list-style-type: none"> - panel zobrazowania dla maszynisty (MMI); - system pomiaru drogi i czasu (odometr); - system odbioru informacji z Balis; - rejestrator; - komputer obsługujący (ang. Maintenance Computer); - główny komputer pokładowy, European Vital Computer (EVC). 	<p>Poziom 1 (P1) obejmuje:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Balisy współpracujące z urządzeniami srk.

Źródło: Opracowanie własne na podstawie: [5]

Elementy wyposażenia lokomotywy, połączone są ze sobą znormalizowanym łączem zwanym ETCS-bus, dzięki któremu można włączyć podzespoły innych systemów narodowych.

Najprostsza konfiguracja ETCS opiera się na przekazywaniu informacji z systemów liniowych oraz stacyjnych, za pomocą balis, do urządzeń pokładowych. Logika systemów nastawczych oraz liniowych steruje wskazaniem semaforów w zależności od stanu wykazywania zajętości ostanianych odcinków. Detekcja zajętości odcinków odbywa się przez obwody torowe lub liczniki osi. System ETCS w celu pozyskania danych do obróbki, bazuje na sygnale z semafora, przyłączonego do kodera. Koder LEU, jako interfejs pomiędzy urządzeniami liniowymi i stacyjnymi, a eurobalisą przełą-

czalną, wstępnie przetwarza informację w telegram. Telegram ten podczas przejazdu pojazdu nad balisą zostaje odebrany przez antenę i przekazany do modułu transmisyjnego balis. Tam telegram zostaje zdekodowany, a zawarte w nim informacje przesłane do komputera EVC. Komputer na podstawie informacji odebranych z balis oraz innych podzespołów i systemów, oblicza rodziny statycznych profili prędkości, z pośród nich wyłaniany zostaje najbardziej restryktywny statyczny profil prędkości, na podstawie którego, zostaje obliczony dynamiczny profil prędkości. Profil ten porównywany z aktualną prędkością i położeniem zapewnia bezpieczeństwo ruchu dzięki połączeniu systemu z układem hamulcowym, co daje możliwość inicjacji hamowania służbowego i nagłego. Cała obróbka i analiza danych w ETCS przebiega w urządzeniach pokładowych. Nastęstwo ruchu pociągów regulowane jest w oparciu o stały odstęp blokowy.

ETCS poziomu pierwszego jest względnie tani w instalacji. Oferuje wzrost bezpieczeństwa, ale ogranicza przepustowość linii, na której jest instalowany. Na liniach wyposażonych w ETCS 1 można prowadzić ruch mieszany, czyli dopuszcza się ruch pojazdów niewyposażonych w urządzenia pokładowe systemu. Jego instalacja zalecana jest na liniach o małym natężeniu ruchu oraz drugorzędnych. Struktura systemu jest rozproszona, brak jednego ośrodka decyzyjnego po stronie infrastruktury torowej. Brak aktualizacji od miejsca pobrania danych (grupy balis) do semafora wymaga potwierdzenia sygnału wzrokowo przez maszynistę. Jest to ważne ze względu na możliwość zmiany obrazu semafora przez personel obsługi np. z powodu zmiany toru ze względu na sytuację ruchową. W takim przypadku maszynista musi polegać na znajomości przepisów ruchowych lokalnego zarządcy infrastruktury. Dlatego też system poziomu pierwszego nie podlega w pełni założeniom interoperacyjności. Zapewnia jedynie interoperacyjność techniczną (zgodność elementów infrastruktury), ale nie operacyjną. Tak, więc na tym poziomie zastosowania ERTMS/ETCS, nie można zrezygnować z urządzeń sygnalizacji świetlnej [1,2,3,4,13]

Istnieje możliwość rozbudowy ETCS1 o uaktualnienie. Uaktualnienie może odbywać się na dwa sposoby. Poprzez pobieranie danych przez urządzenia pokładowe z dodatkowo zamontowanych balis przełączalnych w drodze przebiegu od grupy balis które przekazały początkowy telegram o wskazaniach semafora, do semafora. Taka konfiguracja, pomimo uaktualnienia, ma nadal charakter punktowy, a weryfikacja wskazań semafora należy do maszynisty. Można również zastosować uaktualnienie odcinkowe, dzięki wykorzystaniu europętli. W tej konfiguracji wskazania semafora przekazywane są stale do pojazdu, na całym odcinku zbliżania się, aż do czasu jego minięcia. W tym przypadku spełnione są wymagania interoperacyjności operacyjnej oraz technicznej. Taki sposób uaktualnienia zapobiega zbędnym reakcją maszynisty, dzięki czemu zachowany jest jednostajny pobór energii z sieci trakcyjnej. Podczas projektowania linii, należy zwrócić uwagę na możliwość zastosowa-

nia w przyszłości systemu GSM-R na danym odcinku np. dla potrzeb komunikacji. W takim przypadku należy przeprowadzić analizy finansowe pod względem opłacalności inwestycji w uaktualnienia ETCS 1, czy wdrażania ETCS 2.

2. ISTOTA ETCS - EUROPEAN TRAIN CONTROL SYSTEM - ETCS POZIOM 2

Poziom drugi ETCS posiada wszystkie funkcje poziomu pierwszego. Dodatkowo umożliwia sterowanie ruchem pociągów przy pomocy ciągłej, cyfrowej dwukierunkowej transmisji radiowej. Zarówno pojazd jak i infrastruktura torowa musi zostać rozbudowana o urządzenia do obsługi cyfrowego kanału radiowego GSM-R.

ETCS 2 - podobnie jak jego poprzednik - opiera się na wskazaniach urządzeń liniowych oraz stacyjnych. Jednak przepływ informacji nie odbywa się już tylko przy pomocy balis, ale również dzięki cyfrowej transmisji radiowej GSM-R poprzez RBC (Radio Block Centre).

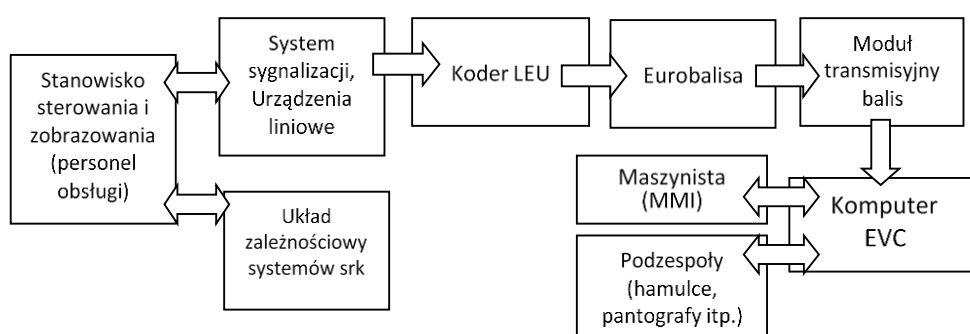
Tab. 2. Wyposażenie ETCS/ERTMS poziomu drugiego

WYPOSAŻENIE POJAZDU	WYPOSAŻENIE TORU
<p>Poziom 2 (P2) zawiera wszystkie elementy poziomu 1, dodatkowo:</p> <ul style="list-style-type: none"> - urządzenia do dwukierunkowej cyfrowej transmisji radiowej (EURORADIO-GSM-R). 	<p>Poziom 2 (P2) zawiera wszystkie elementy poziomu 1, dodatkowo:</p> <ul style="list-style-type: none"> - centrum sterowania radiowego (RBC); - system łączności GSM-R

Źródło: Opracowanie własne na podstawie: [5]

Centrum sterowania radiowego (RBC) jest jednostką komputerową, zbierającą informacje z urządzeń systemu sterowania ruchem kolejowym (systemy liniowe i stacyjne) oraz urządzeń pokładowych pojazdów wyposażonych w Euroradio. Analizuje zgromadzone dane, a następnie za pośrednictwem systemu łączności GSM-R przekazuje w sposób ciągły do pojazdu. RBC posiada wiele funkcji umożliwiających podniesienie bezpieczeństwa ruchu kolejowego, np. wprowadzanie przez personel obsługi (dyżurny ruchu) ograniczeń prędkości ze względu na stan toru jak i prac w nim wykonywanych. Podstawą interoperacyjności centrum sterowania radiowego jest wymiana danych z pojazdem. Czerpanie danych z urządzeń liniowych i stacyjnych, ich analiza, oraz prezentacja wskazań operatorowi może odbywać się w sposób dowolny. TSI określają jedynie wymagania sposobu wymiany danych pomiędzy RBC, a pojazdem. Do tego celu należy użyć standardowego interfejsu ISDN-S2m [14]. Wymiana ta musi przebiegać identycznie na terenie każdego zarządu kolejowego, aby spełniać standardy interoperacyjności. Strukturę RBC stanowi samodzielna bezpieczna jednostka logiczna, połączona z systemem euroradia, montowana w pomieszczeniach nastawni.

Do podstawowych funkcji RBC należą :



Rys. 1. Przepływ informacji ETCS poziom 1

- Zarządzanie bazą danych pojazdów wyposażonych i zarejestrowanych w ETCS poziom 2;
 - Obsługa dwukierunkowej komunikacji radiowej z pojazdami wyposażonymi w urządzenia ETCS 2;
 - Czerpanie danych z systemu sterowania ruchem o utwierdzonych przebiegach;
 - Obliczanie wartości zezwolenia na jazdę, kodowanie oraz wysyłka telegramu;
 - Wysyłanie telegramu awaryjnego zatrzymania pociągu;
 - Zarządzanie i przechowywanie danych z tymczasowymi ograniczeniami prędkości;
 - Udostępnianie potrzebnych danych obsłudze poprzez panel operatorski CMI;
 - Obsługa poleceń wydawanych przez dyżurnego ruchu z panelu operatorskiego;
 - Rejestracja zdarzeń;
 - Diagnostyka;
 - Obsługa protokołu 'EURORADIO'. [13]
- Elementami wyposażenia pojazdów w Euroradio są:
- Manipulator: urządzenie, za pomocą którego maszynista obsługuje wszelkie funkcje euroradia;
 - Terminal kabinowy: każdy pojazd wyposażony w dwa terminale systemu GSM-R z funkcjami przewidzianymi w specyfikacji EIRENE FRS 7.0, SRS 15.0.
 - Moduł radia GSM-Rdata: moduł stosowany do komunikacji radiowej pomiędzy urządzeniami pokładowymi systemu ETCS, a RBC. Połączony z komputerem pokładowym EVC interfejsem MT2. Zawiera dwie części nadawczo – odbiorcze tak by móc umożliwić przełączanie pomiędzy dwoma RBC, oraz zapewnić wysoką dostępność operacyjną. Parametry: napięcie baterii 24-110V, pasmo przenoszenia: R-GSM: 876-915 MHz, ARFCN: 955-1023, 0-124.
 - Antena GSM-R: Antena nadawczo odbiorcza montowana na dachu pojazdu, podstawowe parametry: zakres częstotliwości 870-960 MHz, moc: 100W, polaryzacja pionowa, impedancja 50Ω. [11]

Podczas poruszania się po linii wyposażonej w ETCS poziomu drugiego, pojazd pobiera z balis nieprzełączanych telegram zawierający wszystkie zakodowane w niej informacje. Najważniejszą jest unikatowy identyfikator grupy balis (NID_BG – 14 bitów), identyfikator ten wraz z odczytami urządzeń pokładowych, stanowi podstawę lokalizacji pojazdu na linii, określenia kierunku jego jazdy, oraz kontroli poprawności pomiaru drogi przez odometr. Wszystkie informacje wprowadzone do systemu przez maszynistę oraz zebrane i wstępnie obrobione przez komputer pokładowy EVC, zostają przesłane do pokładowego urządzenia mobilnego (przez standardowy interfejs MT2), a następnie przez infrastrukturę GSM-R do RBC.

Centrum sterowania radiowego przechowuje tzw. „mapę drogi”, czyli informacje dotyczące: profilu toru, wzniesień i spadków, maksymalnej dopuszczalnej prędkości na danej linii, ograniczenia stałe, oraz dane wprowadzone przez personel (ograniczenia doraźne, prace torowe). Informacje te są w sposób ciągły przesyłane do urządzeń pokładowych w celu informowania maszynisty np. o potrzebie podawania sygnałów dźwiękowych, czy zwrócenia szczególnej uwagi na warunki lokalne.

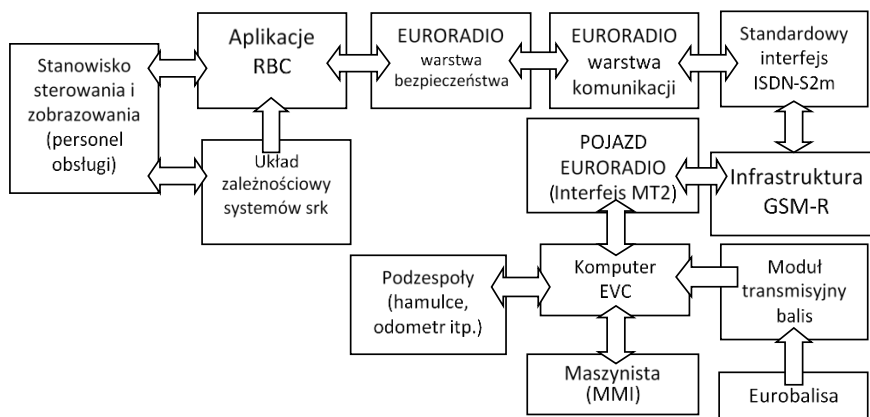
Charakterystyka pociągu oraz jego lokalizacja jest nieprzerwanie przesyłana do RBC, wraz z zapytaniem o zezwolenie na jazdę. Tam zostaje zestawiona z informacjami przechowywanymi w pamięci centrum. RBC oprócz danych na temat pociągu i toru w sposób ciągły pobiera informacje związane ze stanem urządzeń liniowych, stacyjnych oraz sygnalizacji przejazdowych. Dzięki kontroli niezajętości toru, na podstawie liczników osi i obwodów torowych, zostaje określony stan odcinków za następnym punktem lokalizacyjnym (grupą balis). Na podstawie wszystkich zebranych danych RBC określa statyczne profile prędkości, wyznacza wynikowy statystyczny profil prędkości i wraz z zezwoleniem na jazdę, nieprzerwanie przekazuje go przez standardowy interfejs ISDN-S2m za pośrednictwem GSM-R do pojazdu. [2]

Zezwolenie na jazdę z RBC zawiera :

- Identyfikator grupy balis, względem których określone jest zezwolenie;
- Odległość do końca zezwolenia na jazdę z daną prędkością;
- Czas ważności zezwolenia na jazdę;
- Prędkość w końcowej części zezwolenia na jazdę;
- Informacje określające prędkość dojazdu do końca zezwolenia;
- Wszystkie dane dotyczące infrastruktury i stanu technicznego toru;
- Polecenia i ostrzeżenia. [3]

Tak skonstruowana informacja transmitowana do urządzeń pokładowych, po odebraniu z RBC zostaje uaktualniona o drogę i czas przebytu podczas radiowej wymiany danych, w celu obliczenia dynamicznego profilu prędkości. Obliczony w ten sposób profil dynamiczny jest porównywany z aktualną prędkością, oraz odczytami odometru. W każdej chwili podczas niedostosowania się maszynisty do danych przesłanych z RBC, urządzenia pokładowe podejmują odpowiednie działania (sygnalizacja, hamowanie służbowe, hamowanie nagłe).

System zobrazowania dla personelu obsługi RBC opiera się na urządzeniach komputerowych połączonych z monitorami ciekłokrystalicznymi. System musi prezentować plan schematyczny linii i stacji z zaznaczonym aktualnym położeniem pociągów wraz z ich identyfikatorem, zezwoleniami na jazdę oraz ustawionymi drogami przebiegu. Zezwolenie na jazdę zobrazowane musi być tak, aby przedstawić jego wszystkie parametry (identyfikatory grup balis, odległości zezwolenia, prędkość itd.). Stanowisko operatora umoż-



Rys. 2. Przepływ informacji ETCS poziom 2

liwia wprowadzenia ograniczeń i ostrzeżeń bezpośrednio z nastawni, za pomocą panelu sterowania, bez potrzeby montowania w torze balis.

Dzięki modułowej budowie systemu ERTMS/ETCS można w pełni wykorzystać potencjał już istniejącej infrastruktury przez jej rozbudowę. Połączenie z istniejącymi urządzeniami warstwy podstawowej (blokady liniowa, obwody torowe, liczniki osi) pozwalają na redukcję kosztów związanych z ich przeprojektowaniem bądź wymianą oraz pozwalają bazować na urządzeniach sprawdzonych, prostych i mało zawodnych. System ETCS poziomu drugiego w odróżnieniu od ETCS1 przenosi wiele funkcji (np. obliczanie statycznych profili prędkości, wybór najbardziej restryktywnego profilu prędkości) poza urządzenia pokładowe, czyli do RBC. Ciągła transmisja przez GSM-R sprawia, że maszynista jest stale informowany o sytuacji ruchowej i zezwoleniach na jazdę, dzięki czemu można zrezygnować z sygnalizatorów przytorowych oraz balis przelączalnych, jednak ich pozostawienie umożliwia prowadzenie ruchu mieszanego (pojazdów niewyposażonych w ETCS). ETCS 2 zapewnia interoperacyjność techniczną i operacyjną, więc maszynista nie musi posiadać znajomości sygnalizacji na zarządzanym przez system obszarze. Pozwala to sprowadzić do minimum infrastrukturę przytorową.

Pomimo tego koszt ERTMS/ETCS 2 jest dużo wyższy, przez centralizację struktury oraz potrzebę zabudowy systemu GSM-R. Jednak nienależny zapominać, iż dzisiejszy analogowy system łączności w paśmie 150 MHz jest przestarzały i mocno wyeksploatowany. Zgodnie z europejskimi trendami oraz wytycznymi należy zmienić obecny system, na nowy (900 MHz), który poza możliwością przekazu rozmów, będzie mógł być wykorzystywany do prac eksploatacyjnych i komercyjnych np. do zbierania danych diagnostycznych, czy przekazu informacji do centrów obsługi pasażerskiej. System ETCS 2 ponadto nie ogranicza przepustowości linii, dzięki czemu znajdzie zastosowanie na liniach dużych prędkości, liniach międzynarodowych oraz innych strategicznych odcinkach gdzie przepustowości linii musi być zwiększona. ETCS/ERTMS poziomu drugiego jest najczęściej wdrażanym w Europie systemem zarządzania ruchem kolejowym dzięki zdobyciu wszelkich możliwych dopuszczeń zarządców kolejowych. Jest najbardziej optymalnym rozwiązaniem pod względem koszty/korzyści dzięki możliwości pełnego wykorzystania potencjału infrastruktury torowej oraz komunikacyjnej. Pozwala dostosować każdy pojazd torowy do poruszania się po linii z jego wykorzystaniem, a zwłaszcza biorąc pod uwagę pociągi dużych prędkości [4, 13].

3. ISTOTA ETCS - EUROPEAN TRAIN CONTROL SYSTEM - ETCS POZIOM 3

ETCS poziomu trzeciego reprezentuje najbardziej zaawansowaną technologią w dziedzinie automatycznego sterowania ruchem kolejowym, dlatego też jest on rozbudowany o podzespoły przedstawione w tab. 3.

Tab. 3. Wyposażenie ETCS/ERTMS poziomu trzeciego

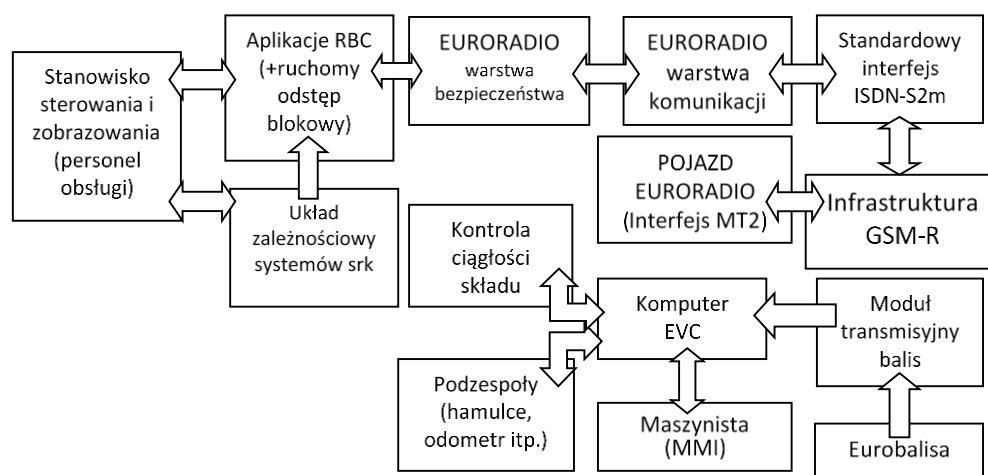
WYPOSAŻENIE POJAZDU	WYPOSAŻENIE TORU
Poziom 3 (P1+P2) dodatkowo: - system kontroli ciągłości składu (Train Integrity Unit).	Poziom 3 (P1+P2) dodatkowo: - „ruchomy odstęp blokowy” (funkcja RBC) Poziom 3 pozwala usunąć: -sygnalizatory świetlne i urządzenia do stwierdzania niezajętości toru.

Źródło: Opracowanie własne na podstawie: [5]

ERTMS/ETCS 3 - jako główne medium transmisji informacji oraz zezwoleń na jazdę - wykorzystuje cyfrowy kanał radiowy GSM-R. Urządzenia pokładowe stale komunikują się z centrum sterowania radiowego w celu wymiany informacji dotyczących drogi przebiegu, aktualnych odczytów urządzeń, oraz rzeczywistych parametrów jazdy pociągu. Lokalizowanie pociągu na linii nadal oparte jest o grupy balis. Rozważano wykorzystanie lokalizowania za pomocą GPS, jednak idea ta stwarza wiele problemów technicznych oraz prawnych [1].

W projektowaniu infrastruktury torowej poziomu trzeciego zrezygnowano z detekcji zajętości odcinków za pomocą obwodów torowych lub liczników osi. Funkcję określania wolnego odstępu przed czołem pociągu przejęło RBC oraz system kontroli ciągłości składu. System kontroli ciągłości składu ma za zadanie określić integralność całego składu, co oznacza jego kompletność na całej drodze przebiegu. System ten sprawia najwięcej problemów projektowych ze względu na szczegółowość, restrykcyjność oraz różnorodność przepisów zarządców infrastruktury. System tego typu musiałby diagnozować stan wszystkich elementów, dla których istnieje prawdopodobieństwo odseparowania się w czasie jazdy od pojazdu, a ich pozostawienie na torze mogłyby zakłócić przejazd innych pojazdów. Tak więc nie tylko chodziłoby o wykazanie zagubienia np. pojedynczego wagonu czy całego członu, ale również osi, czy zderzaka. Tego typu elementy mogłyby spowodować poważne zagrożenie w ruchu pociągów.

RBC w sposób ciągły wysyła zapytanie o lokalizację, pojazd określa ją na podstawie przebytej drogi od ostatnio napotkanej balisy. Dane te zostają zweryfikowane i sprawdzone przez komputer



Rys. 3. Przepływ informacji ETCS poziom 3

EVC, który zbiera informacje z podzespołów jednocześnie stale przekazuje je z i do panelu MMI. System kontroli ciągłości składu pociągu stale analizuje integralność podzespołów, za które odpowiada, oraz raportuje ich stan do EVC. Dane te przesłane za pomocą GSM-R, przy użyciu standardowych interfejsów, przez euroradio, trafiają do RBC. Tam na podstawie wskazań urządzeń stacyjnych, informacji odebranych z pojazdu (w tym raport o ciągłości składu), oraz mapie drogi z parametrami technicznymi toru zostają przygotowane statyczne profile prędkości. Jeden z nich zostaje wyliczony na podstawie informacji na temat położenia innych pociągów na linii. RBC zbiera raporty z urządzeń systemu kontroli ciągłości składu wszystkich pociągów znajdujących się aktualnie na linii. Na podstawie tych raportów, odległości składu od ostatnio miniętych balis oraz długości pociągów określa długość wolnego odcinka pomiędzy nimi. Odcinek ten wraz z porównaniem prędkości dwóch kolejnych pociągów stanowią ruchome odstępy blokowe. Analizując charakterystykę zezwolenia na jazdę poprzedzającego pociągu (prędkość, punkt końcowy itd.) oraz długość wolnego odcinka, biorąc pod uwagę mapę drogi (wzniesienia, spadki, profil toru), statyczne profile prędkości, określa długość zezwolenia na jazdę (do punktu końcowego, którym jest koniec poprzedzającego pociągu + droga hamowania), jego prędkość oraz inną charakterystykę dla kolejnego pojazdu wyznaczoną najbardziej restryktywnym profilem statycznym prędkości. Informacje na temat toru, polecenia oraz statyczny wynikowy profil prędkości przekazany jest do urządzeń pokładowych gdzie wyznacza się dynamiczny profil prędkości. Ten jest podstawą do ciągłego wyznaczania dozwolonej w danej chwili prędkości oraz realizacji kontroli nieprzekraczania tej prędkości.

ETCS poziomu trzeciego przez swoją zaawansowaną budowę posiada wiele przeszkód do jego wdrożenia na większą skalę niż odcinki doświadczalne. Na dzień dzisiejszy istnieje problem z określeniem systemu kontroli ciągłości składu, elementów poddanych detekcji oraz regulacji prawnych, gdyż nie opracowano jeszcze precyzyjnie systemu tego typu, który w pełni byłby do zaakceptowania przez wszystkie zarządy kolejowe. Istnieje możliwość poruszenia się pojazdów bez modułu integralności składu, ale jedynie pod warunkiem dołączenia do składu pociągu lokomotywy w trybie Rear Integrity (kontrola końca), która przejmie funkcje systemu kontroli ciągłości składu. Stosowanie ETCS 3 byłoby uzasadnione jedynie w chwili poruszania się pojazdów ze zbliżoną prędkością rozkładową. W przeciwnym razie system nie będzie spełniał swoich zadań, jakimi są wzrost bezpieczeństwa wraz ze wzrostem przepustowości linii przy współmiernych kosztach instalacji i utrzymania. Poziom trzeci nie dopuszcza ruchu mieszanego. Pojazdy niewyposażone w urządzenia pokładowe systemu nie mogą poruszać się po liniach wyposażonych w ETCS 3, gdyż brak jest tradycyjnych urządzeń stwierdzenia niezajątości odcinków, oraz sygnalizatorów przytorowych.

Zastosowanie poziomu trzeciego pozwala osiągnąć najwyższą możliwą przepustowość linii jednak wysokie koszty projektowe oraz wdrożeniowe zahamowały rozwój ETCS poziomu trzeciego. W dzisiejszych czasach interoperacyjność ma wysokie znaczenie, jednak budowa i bezpieczeństwo infrastruktury oraz koszty są ważniejszym aspektem w dziedzinie sterowania ruchem kolejowym.

4. PERSPEKTYWY ETCS W POLSCE

Rada Ministrów w dniu 6 marca 2006 przyjęła Narodowy Plan Wdrażania ERTMS, który zakłada wdrożenie ETCS, jak i innego systemu GSM-R. Plan zakłada otrzymanie dofinansowania UE dla wdrażania ERTMS na poziomie 80%.

Koszty wdrożenia i budowy infrastruktury pod ERTMS są szacowane na poziomie:

- GSM-R ok. 4,6 mld zł (dla 15 000 km linii kolejowych i 3777 pojazdów trakcyjnych),
- ETCS ok. 14,2 mld zł (dla 5000 km linii kolejowych i 1513 pojazdów trakcyjnych).

Oczywiście z wdrożeniem związane jest jeszcze późniejsze utrzymanie, którego koszty to ok 180 mln zł rocznie na GSM-R oraz ok 120 mln zł rocznie na ETCS.

Pierwsze linie, na których ma być wdrażany system ETCS to:

ETCS poziom 1 – linia 4 (CMK) odcinek Grodzisk Mazowiecki – Zawiercie 223,8 km. 26 sierpnia 2009 przetarg na wdrożenie ETCS na tej trasie wygrało konsorcjum firm Thales Rail Signalling Solutions Sp. z o.o. z Poznania oraz Thales Rail Signalling Solutions GmbH z Austrii. Koszt wdrożenia wynosi 41 mln PLN. Wdrażanie ETCS jest częściowo finansowane przez Unię Europejską w ramach projektu Transeuropejska Sieć Transportowa TEN-T. Jest to pierwsza w Polsce z powodzeniem zakończona inwestycja dotycząca zaprojektowania i budowy systemu ETCS poziom 1. Dzięki tej inwestycji możliwe było podniesienie maksymalnej prędkości do 200 km/h.

ETCS poziom 2 – linia E30 odcinek Legnica – Węglińiec – Bielawa Dolna 84,4 km. 17 grudnia 2009 r. podpisano umowę na „Pilotażowe wdrożenie ERTMS w Polsce na odcinku Legnica – Węglińiec – Bielawa Dolna – w części ETCS II”. Wykonawcą jest konsorcjum firm Bombardier Transportation Sweden AB i Bombardier Transportation (ZWUS) Polska. Firma Bombardier uznawana jest za pioniera w zakresie rozwoju oraz wdrażania systemu ERTMS na świecie. Wartość kontraktu wynosi 53 mln zł netto i jest współfinansowana z Funduszu Spójności w ramach Programu Operacyjnego Infrastruktura i Środowisko.

Zakres prac obejmujący odcinek 84,4 km od stacji Legnica do granicy państwa (Bielawa Dolna) przewiduje zaprojektowanie i zainstalowanie urządzeń systemu ERTMS/ETCS poziom 2, którego elementami będą m.in.: urządzenia RBC (komputer sterujący systemem), eurobalisy (punktowe urządzenia przekazujące informacje z toru do urządzeń kabinowych pojazdu) oraz kodery LEU (urządzenia przetwarzające sygnały z urządzeń przytorowych na odpowiednie sygnały eurobalis). Uzupełnieniem systemów zainstalowanych w infrastrukturze są odpowiednie urządzenia pokładowe w lokomotywach wspomagające i kontrolujące pracę maszynisty. Zgodnie z umową prace mają być wykonane w ciągu 52 miesięcy (czyli do kwietnia 2014)[5,7,8].

Instalacja ERTMS będzie wsparta pierwszym systemem GSM-R na który został ogłoszony oddzielny przetarg na zaprojektowanie, wybudowanie, wyposażenie, uruchomienie oraz skonfigurowanie funkcjonalne i przetestowanie infrastruktury ERTMS/GSM-R dla potrzeb radiołączności kolejowej i systemu ERTMS/ETCS poziom 2. Kontrakt o wartości brutto 11 mln euro, czyli 44,2 mln złotych, podpisała firma Kapsch CarrierCom.

W ramach projektu powstanie centralna część systemu składająca się z dwóch jednostek: podstawowej w Warszawie i rezerwowej w Poznaniu (z uwagi na konieczność zapewnienia wyższego poziomu bezpieczeństwa niż w przypadku tradycyjnego GSM), zapewniających obsługę połączeń głosowych, transmisję danych (GPRS) oraz SMS-ów. System ten jest przewidziany dla obsługi sieci GSM-R w całym kraju. Lokalnym elementem systemu, objętym niniejszym postępowaniem będzie podsystem radiowy składający się ze sterownika stacji bazowej (przewidzianego do instalacji we Wrocławiu) oraz kilkunastu stacji bazowych na odcinku 84 km linii kolejowej E30 Legnica – Węglińiec – Bielawa Dolna [7, 8].

Ponieważ wszystkie realizacje ETCS w Polsce są na etapie prac projektowych, a niektóre przetargi nie zostały jeszcze rozstrzygnięte nie można stwierdzić, jakie są faktyczne koszty ich wykonania, a jedynie odnosić się do preliminarzy wydatków. Koszty odno-

szą się jedynie do prac związanych z instalacją ETCS – i nie uwzględniają remontu samej linii, systemów sterowania ruchem, zasilania itd, które zwykle im towarzyszą lub wręcz wyprzedzają jedynie do instalacji infrastrukturalnych i nie uwzględniają niezbędnego wyposażenia pojazdów trakcyjnych i wynoszą:

- ETCS 1 – 183 tys. zł za 1 km linii,
- ETCS 2 – 1,14 mln zł za 1 km linii [9].

W przypadku innych linii koszty te mogą być zupełnie inne, m.in. z następujących powodów:

pionierski charakter inwestycji i nieznaną poziom faktycznych komplikacji oraz konieczność wykonania prac, które potem będą wykorzystywanych dla następnych inwestycji (np. ustalenie polsko-języcznego interfejsu), zróżnicowanie zakresu prac na różnych liniach z uwagi na np. stopień skomplikowania układów torowych, liczba stacji kolejowych, warunki geograficzne, wielkość odcinków blokady samoczynnej, jedyna umowa na ETCS 1 była podpisywana w okresie bessy gospodarczej, co powodowało spadek cen ofert w przetargach w całym roku 2009.

Nie można określić jednoznacznie kosztu modernizacji samej linii kolejowej, gdyż zależy on od wielu czynników. Przykładowo – koszt projektu i modernizacji 1 kilometra linii E30 na odcinku Podłęże – Biadoliny wyniósł średnio (w roku 2010) 27 mln zł, a Sosnowiec – Trzebina 17 mln zł, czyli koszt instalacji ETCS 2 może zwiększyć cenę inwestycji o ok. 4-7%. [10]

PODSUMOWANIE

W Europie widać wzmożony wzrost inwestycji w infrastrukturę kolejową. Jednak najczęściej nowo zabudowywanym systemem AKJP jest system ERTMS/ETCS. Spełnia on wszystkie założenia interoperacyjności, w zależności od konfiguracji, dzięki czemu inwestycje taborowe i infrastrukturalne stają się jedną z dziedzin integracji społeczeństwa Unii Europejskiej.

Najbardziej optymalną jest instalacja ETCS poziomu drugiego. Poziom drugi pozwala prowadzić ruch pociągów wyposażonych w urządzenia ETCS jak i tych niewyposażonych w urządzenia pokładowe. W odróżnieniu od poziomu trzeciego, jego architektura opiera się na standardowych rozwiązaniach, jak choćby detekcja zajętości odcinków za pomocą obwodów torowych, czy liczników osi. Poziom drugi przeszedł liczne fazy testów oraz został dopuszczony przez zarządców kolejowych do stosowania na liniach modernizowanych i nowobudowanych. W Polsce również zaleca się stosowanie systemu ETCS 2, a jego odcinek pilotażowy, Legnica – Węglińiec – Bielawa Dolna, jest już w fazie testów. Poziom trzeci ze względu na prowadzenie ruchu pociągów o podobnych parametrach, oraz możliwości poruszania się jedynie pojazdów wyposażonych w ETCS3 swoje zastosowanie znajdzie na liniach wydzielonych, dużych prędkości.

BIBLIOGRAFIA

1. Białoń A., Gradowski P., System Zarządzania Ruchem Kolejowym, kwartalnik Telekomunikacja i Sterowanie Ruchem, nr 1/2007, Łódź, 2007, s. 8-9. 16.
2. Dąbrowa-Bajon M., Podstawy Sterowania Ruchem Kolejowym, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa, 2002.
3. Dyduch J., Kornaszewski M., Systemy Sterowania Ruchem Kolejowym, Politechnika Radomska, Radom, 2003.

4. Dyduch J., Pawlik M., Systemy Automatycznej Kontroli Jazdy Pociągu, Politechnika Radomska, Radom, 2002.
5. Harassek A., Pawlik M., Założenia i ogólny opis systemu ERTMS/ETCS, Konferencja Naukowo – Techniczna, Poznań, 28-29 października 1999, wyd. SITK, s. 10.
6. <https://www.sbb.ch/en/group/the-company/responsibility-society-environment/customers/sbb-and-safety/train-safety-etcs.html> (dostęp dnia: 17.02.2017)
7. <http://www.rynek-kolejowy.pl/wiadomosci/rusza-pilotazowe-wdrozenie-cyfrowego-systemu-gsmr--51933.html>
8. http://www.wolnadroga.pl/index.php?s=7&arch_nr=2010-12-24&arch_r=30&n=316033&stab=1
9. https://pl.wikipedia.org/wiki/Europejski_System_Sterowania_Poci%C4%85giem
10. Informacja Prasowa PKP PLK – Zawarcie umowy na ERTMS | Polskie Koleje Państwowe S.A.
11. Koncepcja wdrożenia ETCS/ERTMS: "Modernizacja linii kolejowej E 30, etap II. Pilotażowe wdrożenie ERTMS/ETCS i ERTMS/GSM-R w Polsce na odcinku Legnica - Węglińiec - Bielawa Dolna", Wrocław 2010, s 73.
12. Narodowy Plan Wdrażania Europejskiego Systemu Zarządzania Ruchem Kolejowym w Polsce, Warszawa, Marzec 2007.
13. Pawlik M., Europejski System Zarządzania Ruchem Kolejowym. Przegląd Funkcji i rozwiązań technicznych – od idei do wdrożenia i eksploatacji, KOW Sp.z.o.o. Warszawa 2015.
14. UIC ERTMS Conference "On Track for Success", SIEMENS, 10 - 11 December 2003, Leipzig. http://www.uic.org/cdrom/2003/ertms_conference_2003/docs/report.pdf (dostęp dnia: 17.05.2016)

European train control system (ETCS) technical and economic analysis

The article presents the technical analysis of the ERTMS / ETCS system as a unified control system, implemented on railway lines in Poland. The presented perspective of system development, its architecture and its application in the present developments of the railway market, shows the possibilities of the interoperability of railway lines of various boards. The essence of the European Train Control System (ETCS) was discussed at Levels 1, 2 and 3. A brief description of the system implementation in Poland was made, taking into account the construction and maintenance costs.

Autorzy:

dr hab. inż. **Ewa Kulińska**, prof. PO - Politechnika Opolska, Wydział Inżynierii Produkcji i Logistyki, Katedra Logistyki; e.kulinska@po.opole.pl

mgr inż. **Małgorzata Dendera - Gruszka** – Politechnika Opolska, Wydział Inżynierii Produkcji i Logistyki, Katedra Logistyki; m.dendera-gruszka@po.opole.pl

dr **Lilianna Wojtynek** - Politechnika Opolska, Wydział Inżynierii Produkcji i Logistyki, Katedra Logistyki; l.wojtynek@po.opole.pl

mgr inż. **Dariusz Masłowski** – Politechnika Opolska, Wydział Inżynierii Produkcji i Logistyki, Katedra Logistyki; d.maslowski@po.opole.pl

inż. **Mariusz Szczurek** – Politechnika Opolska, Wydział Inżynierii Produkcji i Logistyki, Katedra Logistyki.