

SIERGIEJCZYK Mirosław<sup>1</sup>

## Wybrane zagadnienia systemów sterowania ruchem i łączności dla Kolei Dużych Prędkości w Polsce

### 1. WSTĘP

W ramach regulacji europejskich wyróżnić należy dwie grupy wymagań, które będą miały bezpośredni wpływ na technologie stosowane w Polsce dla potrzeb KDP. Obie związane są bezpośrednio z tworzeniem w Unii Europejskiej wspólnego rynku w zakresie produktów i usług dla transportu kolejowego:

1. Procedury postępowania podczas projektowania oraz modernizacji i budowy zarówno linii kolejowych jak i taboru kolejowego.
2. Wymagania techniczne i eksploatacyjne dotyczące KDP.

Ogólne wymagania dla procedur, których stosowanie w końcowym efekcie ma doprowadzać do odpowiedniego przekazywania do eksploatacji zawarte są w:

- Regułach „nowego podejścia” legislacyjnego (Rezolucja Rady UE z 1985 dot. harmonizacji i standaryzacji z późniejszymi zmianami); oraz
- Warunkach zunifikowanej oceny zgodności (Rezolucja Rady UE z 1989 dot. certyfikacji i badań z późniejszymi zmianami); które łącznie zostały przeniesione do polskiego prawa Ustawa o systemie oceny zgodności z dnia 30 sierpnia 2002 r. z późniejszymi zmianami.

Szczegółowe procedury, jak i szczegółowe wymagania techniczne i eksploatacyjne definiowane są dla poszczególnych podsystemów transeuropejskiego systemu kolei dużych prędkości. Podsystemy te zdefiniowano w Dyrektywie 96/48/WE zmienionej dyrektywa 2004/50/WE a odpowiednie zapisy przeniesiono do polskiego prawa (Ustawa o transporcie kolejowym rozdział 4a). Dla wszystkich wspomnianych podsystemów opracowano szczegółowe regulacje UE wydane w formie Decyzji Komisji Europejskiej określane, jako Techniczne Specyfikacje Interoperacyjności (TSI).

W szczególności w zakresie referatu mają znaczenie obowiązujące następujące Decyzje Komisji Europejskiej:

- **w zakresie sterowania ruchem kolejowym** dla KDP definiujące wymagania techniczne, eksploatacyjne i proceduralne, a w szczególności w zakresie stosowania zunifikowanych europejskich systemów łączności (GSM-R) i bezpiecznej kontroli jazdy (ETCS) łącznie tworzących Europejski System Zarządzania Ruchem Kolejowym ERTMS (TSI HS CCS: Decyzja KE 2006/860/WE z 07.11.2006 r., Decyzja KE 2007/153/WE z 06.03.2007 r.)
- **w zakresie aplikacji telematycznych** dla KDP definiujące wymagania techniczne, eksploatacyjne i proceduralne w zakresie aplikacji telematycznych dla przewozów pasażerskich (przyjęta rozporządzeniem Komisji Europejskiej 454/2011. i Rozporządzenie Komisji (UE) nr 454/2011 z dnia 5 maja 2011 r. w sprawie technicznej specyfikacji interoperacyjności odnoszącej się do podsystemu „Aplikacje telematyczne dla przewozów pasażerskich” transeuropejskiego systemu kolei).

### 2. ERTMS – OGÓLNA CHARAKTERYSTYKA I CEL WDRAŻANIA

#### 2.1. Uwarunkowania techniczne wdrażania systemu ERTMS

ERTMS – Europejski System Zarządzania Ruchem Kolejowym (ang. *European Rail Traffic Management System*) – został zaprojektowany w celu ustanowienia jednolitego systemu zarządzania ruchem kolejowym na obszarze Wspólnoty Europejskiej<sup>2</sup>. Ma on zapewnić interoperacyjność transportu kolejowego, tzn. możliwość bezpiecznego i płynnego poruszania się pociągów na sieciach kolejowych poszczególnych państw (właścicieli infrastruktury) bez konieczności zatrzymywania się na granicach oraz wymiany lokomotyw lub maszynistów. Aby taka sytuacja była możliwa, powinna być zapewniona na poziomie europejskim zgodność:

- infrastruktury (tor, konstrukcje inżynierskie, 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 wytrzymałościowe, itp.);
- utrzymania (prace konserwacyjne);
- telematyki (aplikacje telematyczne dla usług pasażerskich i towarowych).

<sup>1</sup> Wydział Transportu Politechnika Warszawska, Zakład Telekomunikacji w Transporcie, Instytut Kolejnictwa w Warszawie.

<sup>2</sup> Włodkowska J. *Pierwsze wdrożenia systemu ERTMS/ETCS w Polsce*. Transport i Komunikacja 2010, nr 2

U podstaw opracowania i wdrażania systemu ERTMS leży różnorodność i całkowita niekompatybilność narodowych systemów bezpieczeństwa ruchu kolejowego. Przekraczanie granic państw (lub zarządców infrastruktury) wymaga instalowania systemów różnych typów na jednym pojeździe trakcyjnym, wszystkich certyfikowanych odrębnie w danym kraju i z urządzeniami posiadającymi stosowne dopuszczenia typu<sup>3</sup>. Wprowadzenie jednolitych wymagań w wyżej wymienionych aspektach ma doprowadzić do stanu, w którym istnieje wielu zarządców infrastruktury oferujących interoperacyjną drogę kolejową wielu przewoźnikom kolejowym do realizacji przewozów interoperacyjnym taborom. Oznacza to zbudowanie na poziomie Unii Europejskiej wspólnego, konkurencyjnego i rozwojowego rynku kolejowego dla produktów i usług.

Na system ERTMS składają się:

- System ETCS – Europejski System Sterowania Pociągiem (ang. European Train Control System) – system Bezpiecznej Kontroli Jazdy Pociągu (BKJP) klasy A4, umożliwiający prowadzenie ruchu kolejowego z prędkością dochodzącą do 500 km/h;
- System GSM-R – Globalny System Kolejowej Radiokomunikacji Ruchomej (ang. Global System for Mobile Communication – Rail) – kolejowa wersja systemu GSM pracującego w paśmie 900 MHz. Funkcjonalnie odpowiada wersji GSM 2+, zapewniając kanał rozmówny i cyfrowy kanał radiowy do transmisji danych oraz realizację funkcji przewidzianych dla kolei, jak np. wywołania grupowe, wywołania funkcyjne czy realizacja połączeń priorytetowych.

Oba systemy są w pełni zdefiniowane w specyfikacjach ustanowionych Decyzją Komisji Europejskiej 2008/386/WE<sup>5</sup> z dnia 23 kwietnia 2008 r.

Obok systemów ETCS i GSM-R często wymienia się Europejską Warstwę Zarządzania Ruchem ETML (ang. *European Traffic Management Layer*). We wczesnych latach dziewięćdziesiątych podczas prac nad systemem ERTMS zakładano bowiem, że obejmie on także ETML. Aktualnie wymiana danych dla potrzeb zarządzania w prawodawstwie europejskim traktowana jest, jako osobny podsystem systemu kolejowego Wspólnoty, określanymi mianem aplikacji telematycznych<sup>6</sup>.

System ETCS zapewnia:

- realizację sygnalizacji kabinowej<sup>7</sup>,
- kontrolę prowadzenia pojazdu trakcyjnego przez maszynistę.

Pierwszą funkcjonalnością systemu umożliwia maszyniście prowadzenie pociągu bez konieczności obserwowania wskazań sygnalizatorów przytorowych. Zgodnie z założeniami wskazania sygnalizacji kabinowej zawsze mają pierwszeństwo nad wskazaniami sygnalizatorów przytorowych. Rozwiązanie to jest szczególnie istotne w przypadku dużych prędkości, gdy prawidłowe odczytanie wskazań sygnalizatora jest utrudnione bądź niemożliwe. Zgodnie z polskimi przepisami, prowadzenie pociągu z prędkością przekraczającą 160 km/h wymaga sygnalizacji kabinowej<sup>8</sup>.

System ETCS transmituje wartość dozwolonej prędkości na danym odcinku linii z urządzeń przytorowych systemu do urządzeń pokładowych pociągu. Zamiast wizualizacji wskazań sygnalizatora, dozwolona prędkość prezentowana jest na wyświetlaczu interfejsu zobrazowania dla maszynisty DMI (ang. *Driver-Machine Interface*). Interfejs ten został zaproponowany wspólnie dla systemów ETCS i GSM-R przez Międzynarodowy Związek Kolei UIC (fr. *Union Internationale de Chemins de fer*). Nie jest to standard narzucony prawem UE, ale poszczególni dostawcy ERTMS wykorzystują go, uznając za aktualnie najlepsze możliwe technicznie rozwiązanie.

Proponowane urządzenie zobrazowania opiera się na ekranie dotykowym podzielonym na obszary, na których wyświetlane są ikony. Główne obszary DMI przedstawione zostały na rysunku 3.1. Są to:

- A – dane dotyczące hamowania,
- B – prędkościomierz,
- C – wartość prędkości,
- D – planowanie – opis szlaku,
- E – nadzór – obsługa urządzeń pojazdowych,
- F – klawiatura maszynisty.

Obszary A, B i C dotyczą systemu ETCS, podczas gdy obszary D, E i F są użytkowane zarówno przez system ETCS jak i przez system GSMR. Przykładowo obszar F znajdujący się po prawej stronie monitora stanowi klawiaturę maszynisty. Zawiera ona przyciski ETCS takie jak:

- tryb pracy lokomotywy,

<sup>3</sup> Stępniewicz H., Kotowski Z. ERTMS – założenia funkcjonalne i techniczne. Ideał interoperacyjności. Rynek Kolejowy 2010, nr 3.

<sup>4</sup> Zgodnie z Decyzją Komisji Europejskiej 2006/679/WE system Bezpiecznej Kontroli Jazdy Pociągu (BKJP) klasy A to zunifikowany system BKJP. Systemy BKJP klasy B to narodowe systemy BKJP, istniejące przed wejściem w życie dyrektywy 2001/16/WE – do tej klasy zaliczany jest m.in. wykorzystywany w Polsce system Samoczynnego Hamowania Pociągu (SHP)

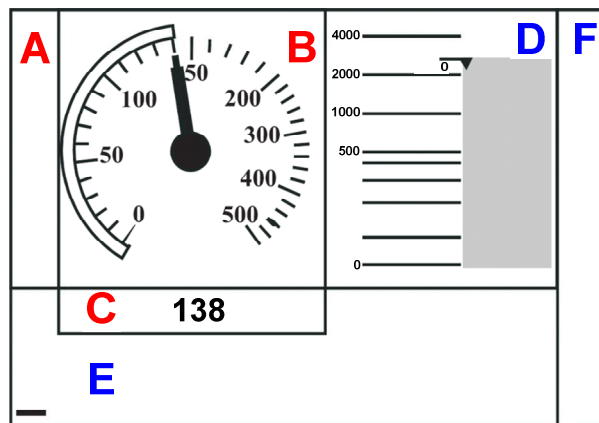
<sup>5</sup> Decyzja Komisji Europejskiej 2008/386/WE z dnia 23 kwietnia 2008 r. zmieniająca załącznik A do decyzji 2006/679/WE dotyczącej technicznej specyfikacji dla interoperacyjności odnoszącej się do podsystemu sterowania ruchem kolejowym transeuropejskiego systemu kolei konwencjonalnych oraz załącznik A do decyzji 2006/860/WE dotyczącej specyfikacji technicznej interoperacyjności podsystemu „Sterowanie” transeuropejskiego systemu kolei dużych prędkości

<sup>6</sup> Zgodnie z Decyzją Komisji Europejskiej 2006/679/WE transeuropejski system kolei podzielony jest na podsystemy strukturalne (infrastruktura, energia, sterowanie i sygnalizacja, funkcjonowanie i zarządzanie ruchem, tabor) i funkcjonalne (utrzymanie, aplikacje telematyczne dla usług pasażerskich i towarowych.). ERTMS należy do podsystemu sterowanie i sygnalizacja.

<sup>7</sup> sygnalizacja kabinowa – odwzorowanie wskazań sygnalizacji przytorowej (semafory) na pulpicie maszynisty

<sup>8</sup> Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 18 lipca 2005 r. w sprawie ogólnych warunków prowadzenia ruchu kolejowego i sygnalizacji (Dz. U. Nr 172 poz. 1444 z późn. zm.)

- przejazd obok sygnalizatora wskazującego „Stój”,
- wprowadzanie danych o pociągu,



Rys.2.1. Główne obszary DMI wspólnego dla ETCS i GSM-R

Źródło: Na podstawie - Białoń A., Gradowski P. System zarządzania ruchem kolejowym (ERTMS).

oraz przyciski GSM-R takie jak:

- funkcje radia pokładowego,
- łącz z pierwszym operatorem,
- łącz z drugim operatorem,
- łącz z nadzorem zasilania,
- pilne ostrzeżenie dla wszystkich pociągów w danym obszarze.

Przy czym ostatni z wymienionych przycisków można uznać za leżący na pograniczu systemu ETCS i GSM-R.

Każda ikona pojawia się w określonym miejscu ekranu, w kolorze odpowiednim do sytuacji:

- ikona biała oznacza sytuację normalną i brak potrzeby reakcji maszynisty,
- ikona żółta oznacza sytuację normalną ale z potrzebą reakcji maszynisty,
- ikona pomarańczowa oznacza sytuację wyjątkową wskazującą na pilną potrzebę reakcji maszynisty,
- ikona czerwona oznacza, że nastąpiła interwencja systemu i system zastąpił maszynistę, który nie prowadził pojazdu w sposób zgodny z przekazanymi informacjami.

Kolory stosowane są zarówno do ikon rozumianych klasycznie jak i do strzałki i słupka na obwodzie prędkościomierza.

## 2.2. Poziomy zaawansowania systemu

System ETCS dostosowuje się do potrzeb linii kolejowej poprzez wdrożenie odpowiedniego poziomu ETCS. Poziomy 1, 2 i 3 są zgodne w dół, co oznacza, że pojazd wyposażony w wyższy poziom może jeździć nie tylko po liniach tego poziomu ETCS ale także po liniach poziomów niższych.

### System ERTMS/ETCS poziomu 1

System ERTMS/ETCS poziomu 1 to rozwiązanie najprostsze technologicznie i jednocześnie najłatwiejsze w implementacji – nie wymaga modernizacji urządzeń srk. W praktyce rozwiązanie to stanowi nakładkę na aktualnie eksploatowane systemy srk. Wykorzystywane są tu sygnalizatory przytorowe, co umożliwia prowadzenie ruchu mieszanego – po linii mogą poruszać się pociągi wyposażone w urządzenia pokładowe systemu ERTMS/ETCS bądź nie posiadające takiego wyposażenia, a wyposażone w narodowe systemy Bezpiecznej Kontroli Jazdy Pociągu. Rozwiązanie to jest istotne dla początkowego etapu implementacji systemu ERTMS/ETCS, gdy niewielka ilość pojazdów jest wyposażona w przedmiotowy system.

System ERTMS/ETCS poziomu 1 jest rozwiązaniem rozproszonym, opartym na transmisji elektronicznych zezwoleń na jazdę za pośrednictwem Eurobalis<sup>9</sup>.

Podstawową jednostką obliczeniową, realizującą bezpieczne prowadzenie pociągu jest sterownik LEU<sup>10</sup> (ang. *Lineside Electronic Unit*), który wypracowuje stosowne komunikaty dla Eurobalisy, w celu ich przesłania do pojazdu kolejowego, jak również odbiera informacje przesłane w odwrotnym kierunku. Istnieją różne konfiguracje ETCS poziomu pierwszego:

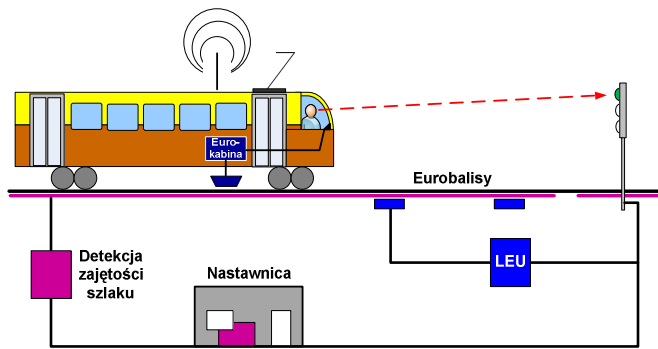
- bez uaktualnienia (rys.2.2);
- z uaktualnieniem przez dodatkowe Eurobalisy;
- z uaktualnieniem przez Europętlę (kabel promieniujący) (rys.2.3);

<sup>9</sup> Eurobalisa, często nazywana po prostu balisą, jest transponderem pasywnym, odczytanie z niej informacji przez urządzenia pokładowe przebiega więc podobnie jak pobranie danych ze zbliżeniowej karty magnetycznej przez czytnik

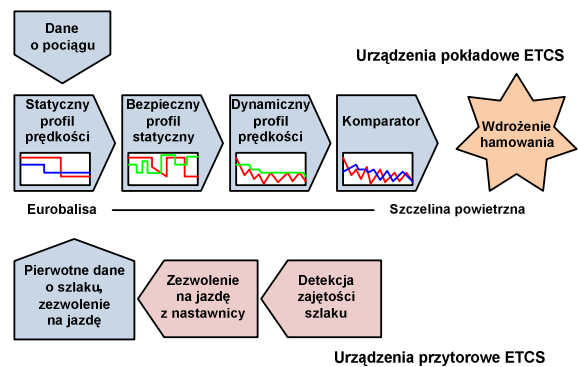
<sup>10</sup> Dokładniej ujmując LEU jest sterownikiem elektronicznym służącym do współpracy między urządzeniami transmisyjnymi systemu ERTMS/ETCS (np. Eurobalisa przełączalna, Europętlą) a urządzeniami srk (sygnalizatory przytorowe). Należy zwrócić uwagę, że Eurobalisa przełączalna jest elementem charakterystycznym systemu ERTMS/ETCS poziomu 1. W odróżnieniu od Eurobalisy nieprzełączalnej, która wysyła stały komunikat do urządzeń pokładowych pojazdu, Eurobalisa przełączalna wysyła komunikaty zależne od sytuacji ruchowej, tj. wskazań sygnalizatora.

- z uaktualnieniem za pomocą systemu GSM-R.

ETCS poziom 1



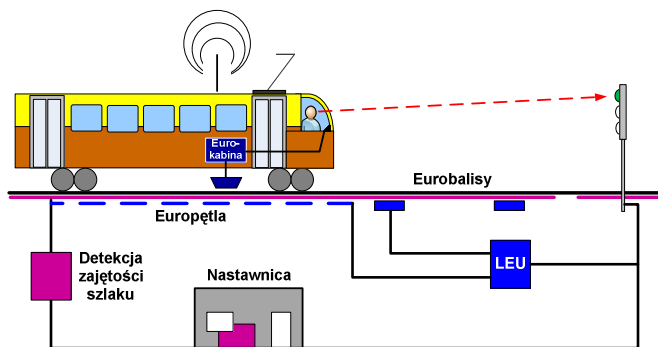
Przepływ danych w ETCS poziom 1



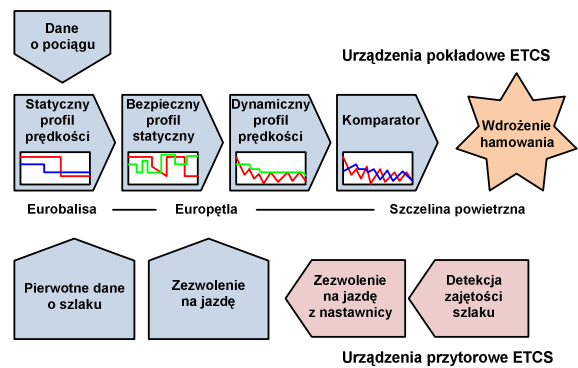
Rys.2.2. ETCS poziomu 1 bez uaktualnienia

Źródło: Na podstawie - Białoń A., Gradowski P.: ETCS Europejski System Sterowania Pociągiem – cz. III.

ETCS poziom 1 z uaktualnieniem przez Europętle



Przepływ danych w ETCS poziom 1 z uaktualnieniem przez Europętle



Rys.2.3. ETCS poziomu 1 z uaktualnieniem przez Europętle

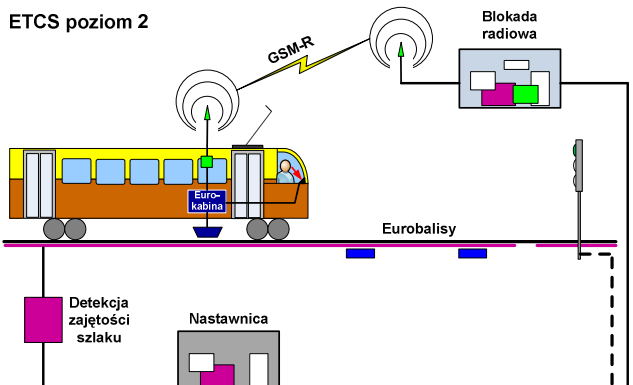
Źródło: Na podstawie - Białoń A., Gradowski P.: ETCS Europejski System Sterowania Pociągiem – cz. III

System ERTMS/ETCS poziomu 2

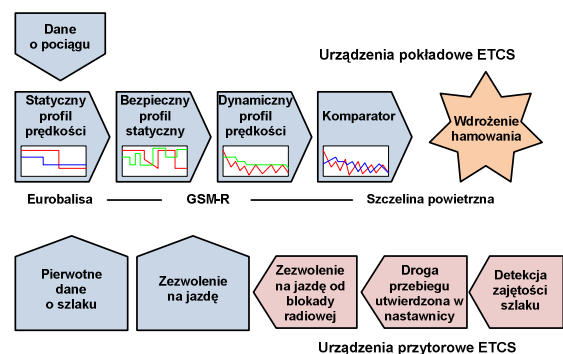
System ERTMS/ETCS poziomu 2 zapewnia większą funkcjonalność od systemu ERTMS/ETCS poziomu 1. Przede wszystkim jest to już system scentralizowany, oparty na podstawowej jednostce, jaką jest Centrum Sterowania Radiowego RBC (ang. *Radio Block Centre*). Informacje ruchowe z podległego obszaru przesyłane są do RBC, gdzie następnie są analizowane i na podstawie aktualnych informacji wypracowywane są zezwolenia na jazdę dla wszystkich pociągów znajdujących się pod kontrolą RBC. Zezwolenie na jazdę jest transmitowane do pociągów przy pomocy systemu GSM-R. Należy podkreślić, że informacja dla potrzeb systemu ERTMS/ETCS (o zajętości odcinków i ułożonych drogach przebiegu) jest pobierana z części zależnościorowej systemu srk, w związku z czym stosowanie sygnalizatorów przytorowych jest opcjonalne.

Schemat opisujący zasadę działania oraz przepływ informacji w systemie ERTMS/ETCS poziom 2 przedstawiono na rysunku 2.4.

ETCS poziom 2



Przepływ danych w ETCS poziom 2



Rys.2.4. ETCS poziomu 2

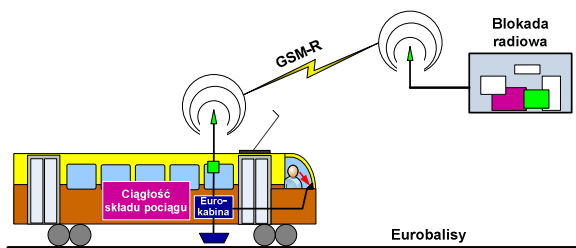
Źródło: Na podstawie - Białoń A., Gradowski P.: ETCS Europejski System Sterowania Pociągiem – cz. III

**System ERTMS/ETCS poziomu 3**

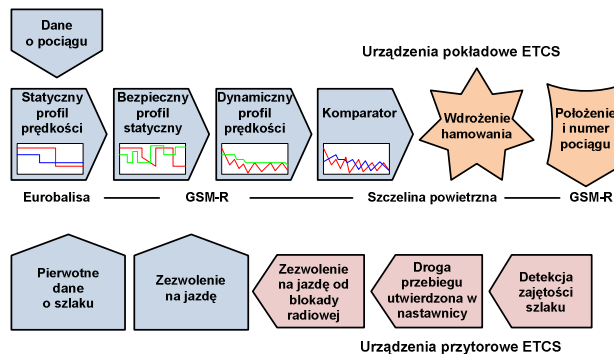
System ERTMS/ETCS poziomu 3 jest rozwinięciem systemu ERTMS/ETCS poziomu 2 przez przeniesienie funkcji kontroli zajętości torów z urządzeń przytorowych, do urządzeń pokładowych. Umożliwia on jazdę zgodnie z zasadą ruchomego odstepu blokowego oraz rezygnację z obwodów torowych i liczników osi gdyż kontrolę zajętości torów przejmują urządzenia pokładowe ERTMS/ETCS uzupełnione modułem kontroli ciągłości składu pociągu. Elektroniczne zezwolenia na jazdę przekazywane są za pomocą systemu GSM-R.

Schemat opisujący zasadę działania oraz przepływ informacji w systemie ERTMS/ETCS poziom 3 przedstawiono na rysunku 2.5. Warto zwrócić uwagę na brak wyszczególnionych urządzeń warstwy srk i znaczenie dla bezpieczeństwa ruchu, jakiego w tej sytuacji nabiera system GSM-R.

ETCS poziom 3



Przepływ danych w ETCS poziom 3

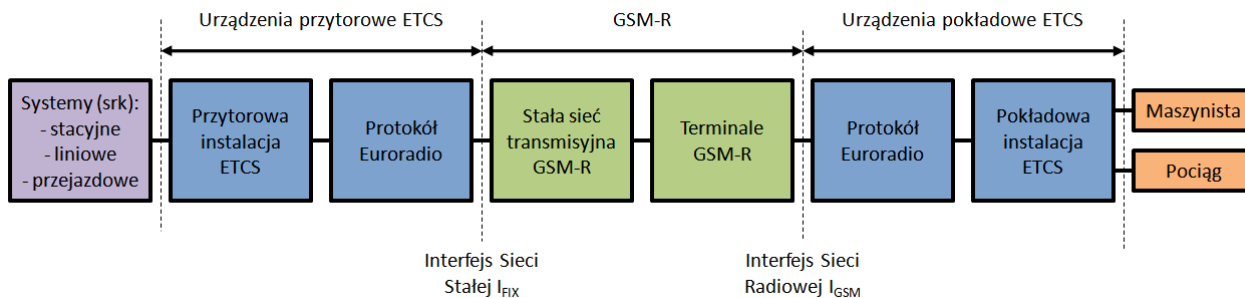


Rys.2.5. ETCS poziomu 3

Źródło: Na podstawie - Białoń A., Gradowski P.: ETCS Europejski System Sterowania Pociągiem – cz. III

Zagadnienia związane z systemem GSM-R zostały szczegółowo omówione w rozdziale 4, dlatego opis systemu został ograniczony jedynie do jego punktów współpracy z systemem ETCS (rys.2.6). Na styku systemów ERTMS/ETCS i ERTMS/GSM-R zostały zdefiniowane dwa interfejsy:

- interfejs sieci stałej  $I_{FIX}$  – pomiędzy urządzeniami przytorowymi ETCS a stałą siecią transmisyjną, opisany normą GSM 04.04 (ETS 300 553), który jest zlokalizowany w miejscu podłączenia Centrum Sterowania Radiowego RBC;
- interfejs sieci radiowej  $I_{GSM}$  – pomiędzy urządzeniami pokładowymi ETCS a terminalami GSM-R. opisany normą ETS 300 011, zapewniający poziom sygnału równy lub większy od poziomu -95 dBm w 95% czasu i 95% miejscach.



Rys.2.6. Miejsca współpracy GSM-R – ETCS w systemie ERTMS

Źródło: Na podstawie - Winter P. Compendium on ERTMS. Eurailpress, Hamburg 2009

**2.3. Uwarunkowania prawne wdrażania systemu ERTMS**

Wdrażanie systemu ERTMS (ETCS i GSM-R) uwarunkowane tylko wymaganiami technicznymi, ale i prawnymi. W podrozdziale 3.1. wskazano, że najistotniejszą przesłanką techniczną jest postęp technologiczny w dziedzinie systemów bezpiecznej kontroli jazdy pociągu (bkjp) i telekomunikacji. W sferze prawnej należy wskazać konieczność wdrażania interoperacyjności, wymaganej przepisami prawa wspólnotowego i polskiego.

Dokumentami zobowiązującymi państwa członkowskie do wdrażania interoperacyjności zgodnie z zasadniczymi wymaganiami zawartymi w Technicznych Specyfikacjach Interoperacyjności (TSI) dla poszczególnych Podsystemów są:

- Dyrektywa 2001/16/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 19 marca 2001 r. w sprawie interoperacyjności transeuropejskiego systemu kolei konwencjonalnych (2001/16/WE z późn. zm.);
- Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2008/57/WE z dnia 17 czerwca 2008 r. w sprawie interoperacyjności systemu kolei we Wspólnocie (2008/57/WE z późn. zm.).

System ERTMS w częściach ETCS i GSM-R należy do podsystemu sterowanie, który został zdefiniowany w Decyzji Komisji z dnia 28 marca 2006 r. dotyczącej technicznych specyfikacji dla interoperacyjności odnoszącej się do

podsystemu sterowania ruchem kolejowym transeuropejskiego systemu kolei konwencjonalnych (2006/679/WE z późn. zm.) – TSI CCS CR.

Zgodnie z Artykułem 3 Decyzji 2006/679/WE państwa członkowskie Wspólnoty zostały zobowiązane do opracowania narodowych planów wdrażania systemu ERTMS, które miały definiować:

- odcinki linii kolejowych, na których będą wdrażane systemy ETCS i GSM-R ze szczególnym uwzględnieniem sieci ETCS zdefiniowanej w Załączniku H do Decyzji 2006/679/WE;
- podstawowe charakterystyki wdrożeń (poziom ETCS, pobieranie danych z warstwy podstawowej srk, zmienne narodowe, itd.),
- zarys planu wdrożenia (kolejność wyposażania linii),
- strategia migracji dla infrastruktury i taboru trakcyjnego,
- potencjalne zagrożenia, które mogą mieć wpływ na wypełnienie założeń planu.

*Narodowy Plan Wdrażania Europejskiego Systemu Zarządzania Ruchem Kolejowym w Polsce* został przyjęty na posiedzeniu Rady Ministrów w dniu 6 marca 2007 r. (Komunikat nr 41(128) z dnia 06.03.2007 r.).

W NPW ERTMS dodatkowo zostały określone pewne wymagania narodowe, które z jednej strony mają zapewniać takich samych rozwiązań w różnych kontraktach w Polsce, a z drugiej strony gwarantują zachowanie europejskiej interoperacyjności polskiego wdrożenia GSM-R. Należy bowiem zauważyć, że zdefiniowane polskie uwarunkowania wdrożenia GSM-R nie wykraczają poza funkcje zdefiniowane w europejskich specyfikacjach tego systemu.

W wymaganiach określono, że dla każdej linii kolejowej wyposażanej w GSM-R tak długo, jak długo jest ona wyposażona w radio 150 MHz, przytorowe urządzenia muszą gwarantować, następujące funkcjonalności:

- generowaniu sygnału Radiostop<sup>11</sup> z urządzeń przytorowych będzie towarzyszyć automatyczne generowanie sygnału alarmowego GSM-R,
- sygnał Radiostop odebrany przez urządzenia przytorowe (np. generowany przez maszynistę) będzie automatycznie powodował generowanie sygnału alarmowego GSM-R,
- generowaniu sygnału alarmowego GSM-R z urządzeń przytorowych będzie towarzyszyć automatyczne generowanie sygnału Radiostop,
- sygnał alarmowy GSM-R odebrany przez urządzenia przytorowe (np. generowany przez maszynistę lub pracownika poruszającego się po torach) będzie automatycznie powodował generowanie sygnału Radiostop.

Moduł STM do systemu SHP (obejmujący odbieranie i prawidłową interpretację sygnału Radiostop) ma zagwarantować właściwą interpretację sygnału Radiostop przez pojazdy trakcyjne wyposażone w ETCS i SHP STM podczas jazdy po liniach wyposażonych w SHP i radio 150 MHz i niewyposażonych w GSM-R.

Polskie wymagania dla wdrożenia GSM-R dotyczą dodatkowo:

- Języka DMI i konsoli dyspozytorskich – określono, że terminale dyspozytorskie, radia kabinowe i ruchome terminale radiowe GSM-R muszą komunikować się z użytkownikami w języku polskim. Wykorzystywane słowa i wyrażenia zostaną uzgodnione z zarządcą infrastruktury podczas pierwszego wdrożenia na części korytarza F (Legnica – granica PKP/DB);
- Zarządzania rolami w adresowaniu zależnym od lokalizacji – musi być zapewniona możliwość przekazywania obszarów odpowiedzialności (rol) pomiędzy dyspozytorami ruchu. Definiowanie roli i możliwych konfiguracji ich przypisania do dyspozytorów będzie określana przez zarządcę infrastruktury. Przekazywanie roli musi odbywać się tak, aby w każdym momencie za każdy obszar (role) odpowiedzialny być jeden i tylko jeden dyspozytor.

### 3. URZĄDZENIA KOMPUTEROWE STEROWANIA RUCHEM KOLEJOWYM

#### 3.1 Wprowadzenie

Pierwsze urządzenia komputerowe rozpoczęto wprowadzać w latach 70. W urządzeniach komputerowych funkcje zależnościowe realizowane są przez program komputerowy. W strukturę systemu wchodzi komputer obsługi oraz komputer zależnościowy, połączony specjalnymi sterownikami z urządzeniami zewnętrznymi. Do systemu włączany jest zwykle także komputer pełniący funkcję konsoli technicznej oraz tzw. gorąca rezerwa, pełniąca funkcję komputera zależnościowego w razie jego awarii. Komputer zależnościowy musi spełniać najwyższe wymagania bezpieczeństwa - posiada właściwość fail-safe, czyli zdolność samoczynnego wykrywania błędów w działaniu i dalszej bezpiecznej pracy. Realizowane jest to najczęściej przez dwukanałowe przetwarzanie danych (przez dwa komputery lub dwa programy) i porównywanie wyników - w razie niezgodności usterka jest zgłaszana a funkcje zależnościowe przejmuje komputer gorącej rezerwy. Stosowana jest także zasada "2 z 3" - dane przetwarzane są na trzech komputerach, i w razie niezgodności wyników jednego z nich przyjmowane są wyniki dwóch pozostałych.

Najpopularniejsze urządzenia komputerowe sterowania ruchem kolejowym na polskich kolejach to:

- EBI Lock 850,
- EBI Lock 950,
- SIMIS-W (Siemens),
- ESTW90 PL (Alcatel) .

<sup>11</sup> Radiostop – system Hamowania Obszarowego (HO), powstały z połączenia eksploatowanego w Polsce systemu Samoczynnego Hamowania Pociągów (SHP) i systemu radiołączności pociągowej, umożliwiając całkowite zatrzymanie ruchu pociągów znajdujących się w obszarze działania stacji wysyłającej sygnał „Alarm”

### 3.2 Struktury komputerowych systemów srk

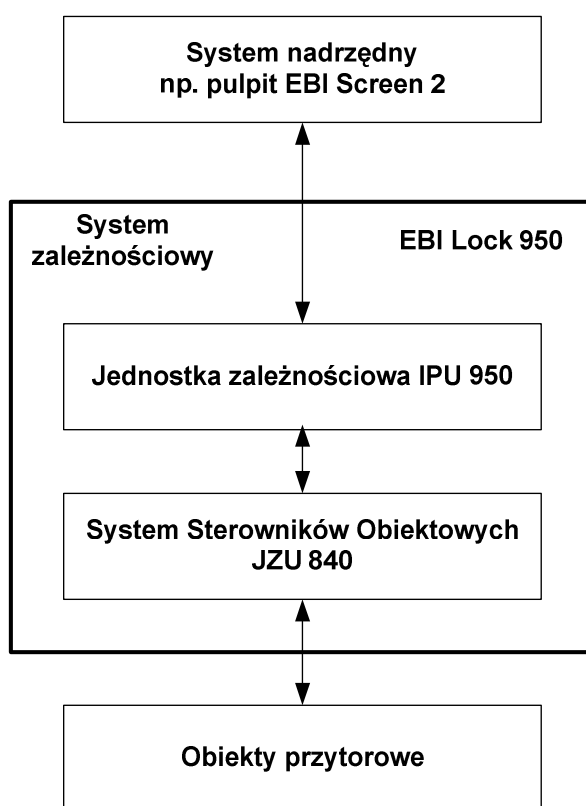
Podstawowe struktury komputerowych systemów srk zostaną przedstawione na przykładzie, systemu EBI Lock 950.

#### 3.2.1. Przeznaczenie

Strukturę systemu komputerowego EBI Lock 950 tworzą 3 warstwy: system sterowania miejscowego (LCS) - czyli poziom operatorski, system przetwarzania zależności z komputerami zależnościami oraz system sterowników obiektowych odpowiedzialnych za sterowanie i kontrolę pracy urządzeń zewnętrznych (sygnalizatorów, zwrotnic).

System zależnościowy EBI Lock 950 składa się z następujących elementów<sup>12</sup>:

- system nadrzędny np. EBIScreen 2 będący interfejsem pomiędzy operatorem a systemem zależnościowym. Zadaniem systemu nadrzędnego jest przyjmowanie poleceń od operatora, wstępna ich analiza i przekazywanie odpowiednich kodów zdarzeń do systemu zależnościowego oraz prezentacja stanu wszystkich obiektów fizycznych i sytuacji ruchowej na stacji.
- Jednostka zależnościowa IPU 950 realizująca funkcje zależnościowe, we współpracy z systemem nadrzędnym. Podstawowym zadaniem jednostki zależnościowej IPU 950 jest przetwarzanie informacji zależnościowych w sposób chroniący system od wykonania poleceń niebezpiecznych.
- System sterowników przytorowych JZU 840 będący interfejsem obiektów przytorowych, jest on identyczny jak w systemie EBI Lock 850. Współpraca tego systemu z jednostką zależnościową IPU 950 opiera się na takich samych zasadach jak w systemie EBI Lock 850.<sup>13</sup>



Rys .3.1. System zależnościowy EBI Lock 950

Źródło: Na podstawie - Lesław Kaczor: Dokumentacja Techniczno-Ruchowa, Komputerowy system urządzeń srk, EBI Lock 950, Adtranz Zwus, Katowice 1999

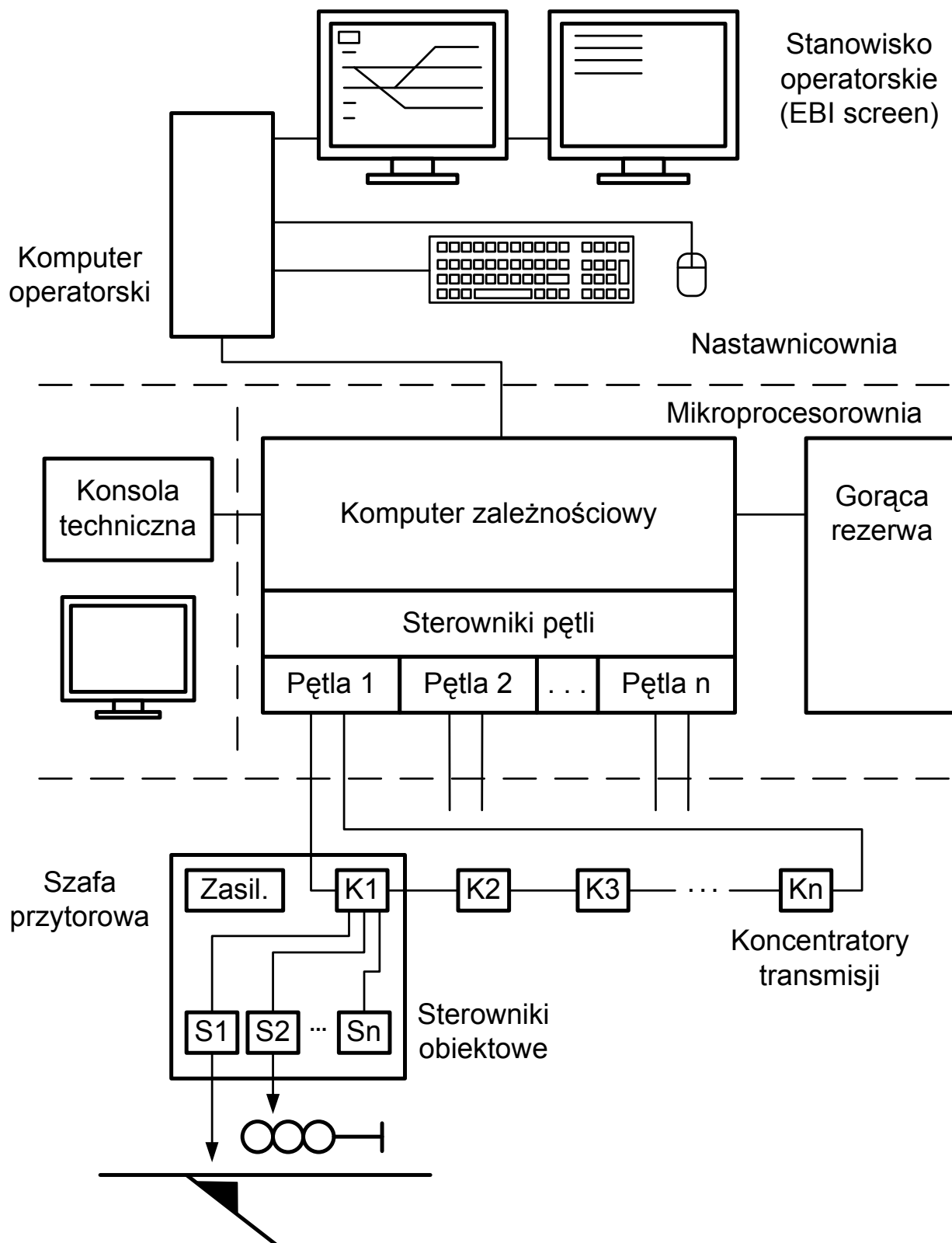
#### 3.2.2. Budowa i działanie systemu

Konfigurację systemu EBI Lock 950 wraz z pulpitem EBI Screen 2 przedstawiono na rysunku 3.2. Elementy składowe systemu to:

- komputer zależnościowy ILC 951,
- pętle koncentratora,
- koncentratory,
- połączenia ze sterownikami,
- sterowniki obiektowe,
- elementy zasilające.

<sup>12</sup> Kaczor L.: Dokumentacja Techniczno-Ruchowa, Komputerowy system urządzeń srk, EBI Lock 950, Adtranz Zwus, Katowice 1999

<sup>13</sup> Pryc A., Wierchuła I.: Dokumentacja Techniczno-Ruchowa, Komputerowy system urządzeń srk EBI Lock 850, ABB Zwus Signal, Katowice 1994



Rys. 3.2.. Konfiguracja systemu EBI Lock 950

Źródło: Na podstawie - Lesław Kaczor: Dokumentacja Techniczno-Ruchowa, Komputerowy system urządzeń srk, EBI Lock 950, Adtranz Zwus, Katowice 1999

Działanie systemu EBI Lock 950 jest oparte na takim samym algorytmie jak jego poprzednik EBI Lock 850. Warstwa zależnościowa składa się z dwóch zestawów komputerowych o identycznej strukturze sprzętowej pracujących na procesorach Motorola, z których jeden pracuje jako zasadniczy, a drugi stanowi gorącą rezerwę. Przetwarzanie danych odbywa się przez dwa programy napisane przez różne zespoły programistów. Zgodność wyników kontrolowana jest na różnych poziomach w komputerze zależnościowym oraz w sterownikach obiektowych, bezpośrednio kontrolujących pracę zewnętrznych obiektów. W razie niezgodności funkcje nastawcze przejmuje komputer gorącej rezerwy a usterka jest sygnalizowana. Do poziomu zależnościowego podłączone jest dodatkowo



stanowisko diagnostyczne. Logika zależnościowa zasadniczo realizowana jest w sposób geograficzny. Programy projektowane są w języku Stermol, opracowanym specjalnie na potrzeby systemu EBI Lock. Model geograficzny stacji przechowywany jest w postaci łatwo konfigurowalnej tablicy zawierającej właściwości obiektów oraz ich powiązania z innymi. Przetworzenie programu polega na odczytaniu danych z odpowiednich pól tablicy, przetworzeniu ich zgodnie z tzw. równaniami zależnościami i wpisaniu do tablicy nowych wartości. Zależności realizowane mogą być także indywidualnie, na podstawie klasycznych tablic zależności.

### 3.2.3. Charakterystyka systemu EBI LOCK 950 R4 (wersja 4)

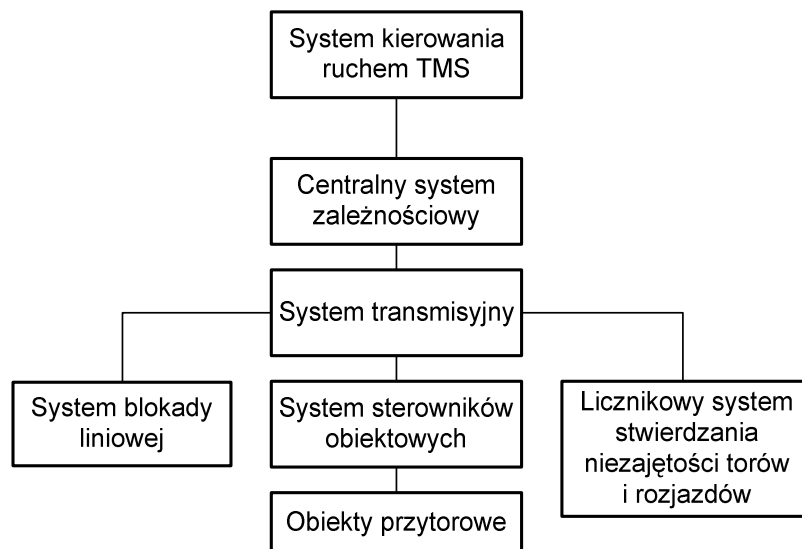
Obecnie najnowszy system srk oferowany przez koncern Bombardiera. Jest elastyczny i skalowalny, co umożliwia jego efektywne stosowanie zarówno na liniach głównych, jak i liniach małoobciążonych. System ten posiada zgodność ze standardami normy CENELEC (Europejski Komitet Normalizacyjny Elektrotechniki). Proces tworzenia i budowa całego systemu zapewniają wymagania poziomu bezpieczeństwa SIL-4. Wymagany poziom bezpieczeństwa opiera się na zastosowaniu dwóch niezależnych kanałów przetwarzania A i B, co osiągnięto poprzez całkowitą dywersyfikację sprzętową oraz programową. Standaryzacja rozwiązań w zakresie komputerów i sterowników umożliwia zastosowanie sprzętu oraz systemów operacyjnych ogólnie dostępnych (COTS - *Commercial off the shelf*), co daje szerszą bazę dostawców i umożliwia łatwiejsze aktualizacje i wsparcie (części zamienne, zwiększanie wydajności). W systemie EBI Lock 950 R4 zastosowano standardowe serwery przemysłowe koncernu IBM, w przeciwieństwie do poprzednich rozwiązań, gdzie stosowano specjalizowane komputery. W skład systemu wchodzi centralny system zależnościami CIS2 oraz sterowniki obiektowe z rodziny STC. EBI Lock 950 R4 może pracować w konfiguracji ze sterownikami STC-2, STC-1 oraz JZU840. Kompatybilność wsteczna nowej wersji systemu umożliwia przenoszenie aplikacji z wcześniejszych wersji oraz podłączanie sterowników z instalacji bazujących na poprzednich wersjach systemu. Zbiór systemów rodziny EBI Lock 950 wersja 4 dzięki swojej różnorodności (sterowanie zcentralizowane lub rozproszone, różne konfiguracje zdalnego sterowania) pozwala na elastyczne rozwiązania wymagane przez poszczególnych zarządców infrastruktury. W systemie EBI Lock 950 wersja 4 istnieje możliwość powiązania z innymi systemami srk poprzez interfejs przekaźnikowy albo elektroniczny. Powiązania za pomocą interfejsu przekaźnikowego są stosowane w sytuacji, gdy wymiana informacji następuje poprzez odczyt stanu urządzeń powiązanych za pomocą detekcji stanu styków przekaźników, a sterowania są realizowane na drodze elektrycznej (z wykorzystaniem przekaźników lub układów elektronicznych). Powiązania poprzez interfejs elektroniczny stosuje się w sytuacji, gdy powiązany system umożliwia wymianę informacji w zakresie sterowania oraz odczytu stanu urządzeń poprzez media transmisyjne. Ponadto system w wersji 4 umożliwia zapewnienie w przyszłości interfejsu do systemu ERTMS (poprzez dodanie w nim interfejsu do RBC - *Radio Block Computer*). W wersji czwartej generacji EBI Lock 950 została znacząco zwiększona pojemność systemu w zakresie ilości sterowanych obiektów w stosunku do poprzedniej wersji EBI Lock'a. Omawiana wersja ma pojemność do około 2000 obiektów logicznych (rozjazdy, sygnalizatory, napędy rogatek). Jednym centralnym systemem zależnościami można sterować kilka stacji lub posterunków, przy czym sterowniki obiektowe muszą być rozmieszczone na poszczególnych stacjach. System EBI Lock 950 wersja 4 może być sterowany lokalnie lub zdalnie poprzez system TMS (*Traffic Management System*) - System kierowania ruchem. Jednocześnie pełni on rolę interfejsu użytkownika umożliwiając połączenie z systemem zależnościami poprzez przyjęty protokół transmisyjny typu Ebilock. System EBI Lock 950 wersja 4 może współpracować z klasycznymi obwodami torowymi lub różnymi typami licznikowych systemów kontroli niezajętości.

### 3.2.4. Budowa i konfiguracja systemu EBI Lock 950 R4

System EBI Lock 950 składa się z następujących podsystemów<sup>14</sup>:

- Centralny system zależnościami CIS2 ze sterownikami obiektowymi realizujący funkcje zależnościami,
- System sterowników obiektowych (OCS - Object controller system), którego zadaniem jest realizacja sterowania stacjami obiektami przytorowymi, takimi jak: semafony, tarcze, zwrotnice, urządzenia samoczynnej i półsamoczynnej blokady liniowej lub stacyjnej (przekaźnikowej lub elektromechanicznej), systemami zabezpieczenia ruchu na przejazdach uzależnionych w systemie stacyjnym oraz innymi systemami sterowania ruchem, sąsiadującymi z CIS2,
- System transmisyjny (TRANS), służący do komunikacji pomiędzy centralnym systemem zależnościami oraz sterownikami obiektowymi urządzeń stacyjnych a także do komunikacji z innymi współpracującymi systemami komputerowymi (licznik osi, blokada liniowa).

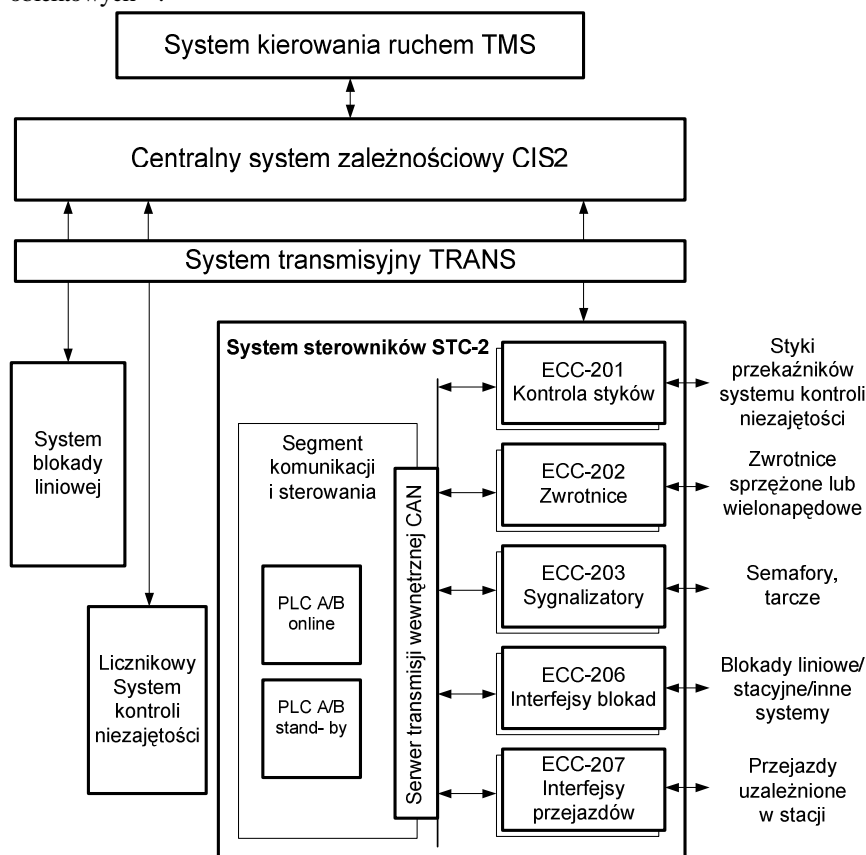
<sup>14</sup> Wiechuła I.: Dokumentacja Techniczno-Ruchowa, Komputerowy System Urządzeń Stacyjnych srk EBI Lock 950 wersja 4, Bombardier Transportation (ZWUS), Katowice 2007



Rys. 3.3. Schemat ogólnej struktury systemu EBI Lock 950 wersja 4

Źródło: Irena Wiechuła: Dokumentacja Techniczno-Ruchowa, Komputerowy System Urządzeń Stacyjnych SRK EBI LOCK 950 wersja 4, Bombardier Transportation (ZWUS), Katowice 2007

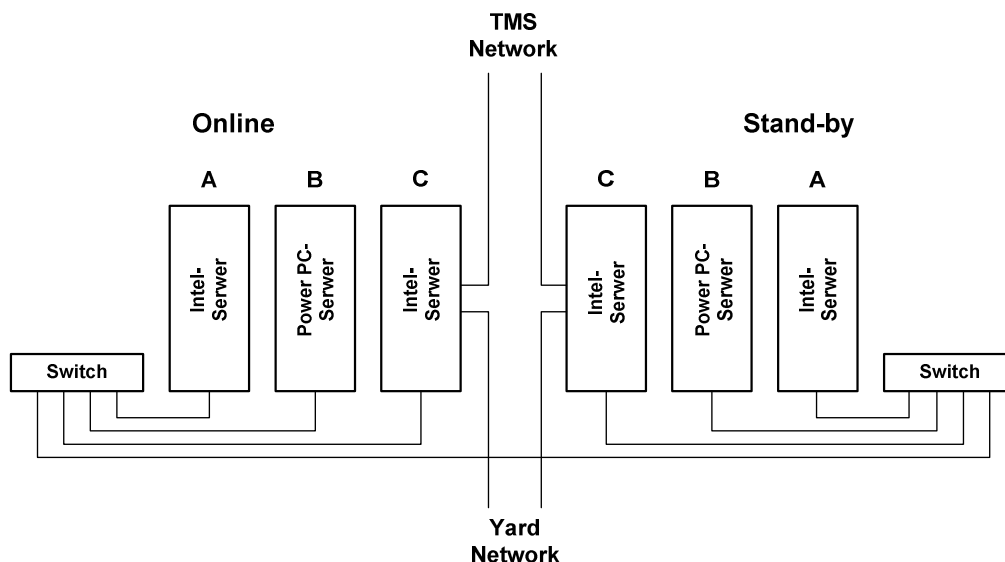
Schemat ogólnej konfiguracji ze sterownikami STC-2 przedstawiony jest na rys. 3.4. Funkcje zależnościowe w centralnym systemie zależnościowym CIS2 wykonują równoległe jednostki bezpiecznych sterowników FSPA (procesy fail-safe kanału A - fail-safe processing unit A) i FSPB (komputer A i B). Jednostka serwisowa SPU (Service processing unit - komputer C) realizuje operacje wejścia/wyjścia z/do centrum sterowania i systemu sterowników obiektowych poprzez system transmisyjny. Interfejsy bezpiecznych sterowników A i B równocześnie wysyłają informację otrzymaną od centrum sterowania i systemu sterowników obiektowych i odbierają informacje wysłane przez centrum sterowania i system sterowników obiektowych<sup>15</sup>.



Rys. 3.4. Konfiguracja EBI Lock 950 wersja 4 ze sterownikami STC-2

Źródło: Irena Wiechuła: Dokumentacja Techniczno-Ruchowa, Komputerowy System Urządzeń Stacyjnych SRK EBI LOCK 950 wersja 4, Bombardier Transportation (ZWUS), Katowice 2007

<sup>15</sup> Źródło: Irena Wiechuła: Dokumentacja Techniczno-Ruchowa, Komputerowy System Urządzeń Stacyjnych SRK EBI LOCK 950 wersja 4, Bombardier Transportation (ZWUS), Katowice 2007



Rys. 3.5. Elementy systemu zależnościowego CIS2 - połączenia transmisji wewnętrznej

Źródło: Irena Wiechuła: *Dokumentacja Techniczno-Ruchowa, Komputerowy System Urządzeń Stacyjnych SRK EBI LOCK 950 wersja 4, Bombardier Transportation (ZWUS), Katowice 2007*

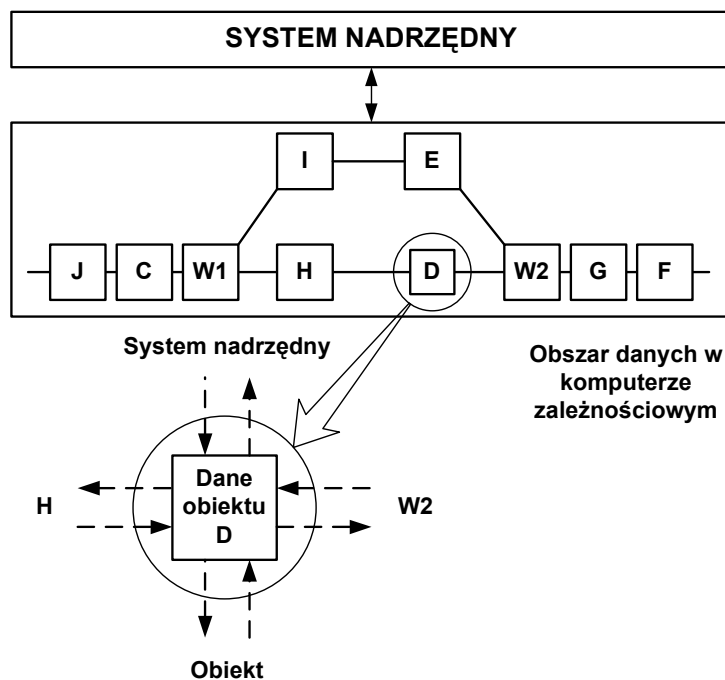
Sterowanie wszystkimi obiektami na stacji jest dokonywane przez system zależnościowy. Polecenia nastawcze są przekazywane do sterowników obiektowych, które bezpośrednio realizują fizyczne powiązania z obiektem przytorowym, interfejsem blokadowym lub przejazdowym. Sterowniki obiektowe nadzorują stale stany obiektów z wykonywaniem autotestów. Meldunki od sterowanych obiektów oraz informacje o pracy sterowników przekazywane są do komputera zależnościowego.

#### Centralny system zależnościowy CIS

Wszystkie funkcje zależnościowe wykonuje centralny system zależnościowy, który współpracuje z nadrzędnym systemem kierowania ruchem (TMS). Przetwarzanie równań zależnościowych przeprowadzane jest w sposób uniemożliwiający wykonanie polecenia niebezpiecznego. Bezpieczne sterowanie zapewnione jest przez komputer zależnościowo-przetwarzający. Jednakże nie obejmuje to komend awaryjnych, za użycie, których odpowiedzialność ponosi dyżurny ruchu. System stacyjny ma podwójną konfigurację dla podwyższenia dostępności. Jeden komputer pracuje, natomiast drugi jest gorącą rezerwą, który otrzymuje na bieżąco meldunki o stanie obiektów stacyjnych i w każdej chwili może przejąć sterowanie.

Wymagane bezpieczeństwo zostało osiągnięte poprzez przetwarzanie danych i realizację funkcji zależnościowych przez dwa niezależne programy na dwóch niezależnych komputerach A i B. Warunkiem koniecznym do wykonania polecenia nastawczego jest identyczny wynik przetwarzania w obu programach. Trzeci komputer i program C używany jest do realizacji funkcji bez wymagań bezpieczeństwa takich jak obsługa transmisji, interfejsów lub funkcje serwisowe. EBI Lock jest geograficznym systemem zależnościowym, gdzie oprogramowanie komputera jest zablokowane. Każdemu sterowanemu obiektowi odpowiada standardowy blok programowy opisujący jego zależności.

Ścisły matematyczny opis stanów zależnościowych dla odpowiedniego typu obiektu jest zapewniony przez bloki logiczne, które mają jednolite interfejsy poziome do sąsiednich bloków logicznych (kanały). Zaprojektowana w taki sposób organizacja oprogramowania umożliwia opracowanie jednolitego pakietu obsługi bloków logicznych przez zastosowanie równań zależnościowych. Każdy blok logiczny ma również interfejsy pionowe do komunikacji z systemem nadrzędnym i obiektem przytorowym. Oprogramowanie zastosowane w R4 jest oparte na bazie Sterno1, z podzbiorem ANSI-C i C++.



Rys. 3.5. Logiczna prezentacja relacji w systemie geograficznym EBI Lock

Źródło: Irena Wiechuła: Dokumentacja Techniczno-Ruchowa, Komputerowy System Urządzeń Stacyjnych SRK EBI LOCK 950 wersja 4, Bombardier Transportation (ZWUS), Katowice 2007

Zadaniami programu sterującego systemem zależnościowym są:

- przetwarzanie prawidłowych sterowań z systemu nadrzędnego na polecenia, które są bezpiecznie wysyłane do zwrotnic, sygnalizatorów oraz innych urządzeń przytorowych,
- blokowanie dostępu do obiektów, które biorą udział w przebiegu, dla użycia w innych przebiegach,
- zwalnianie zamkniętych obiektów po zakończeniu przejazdu przez pociąg.

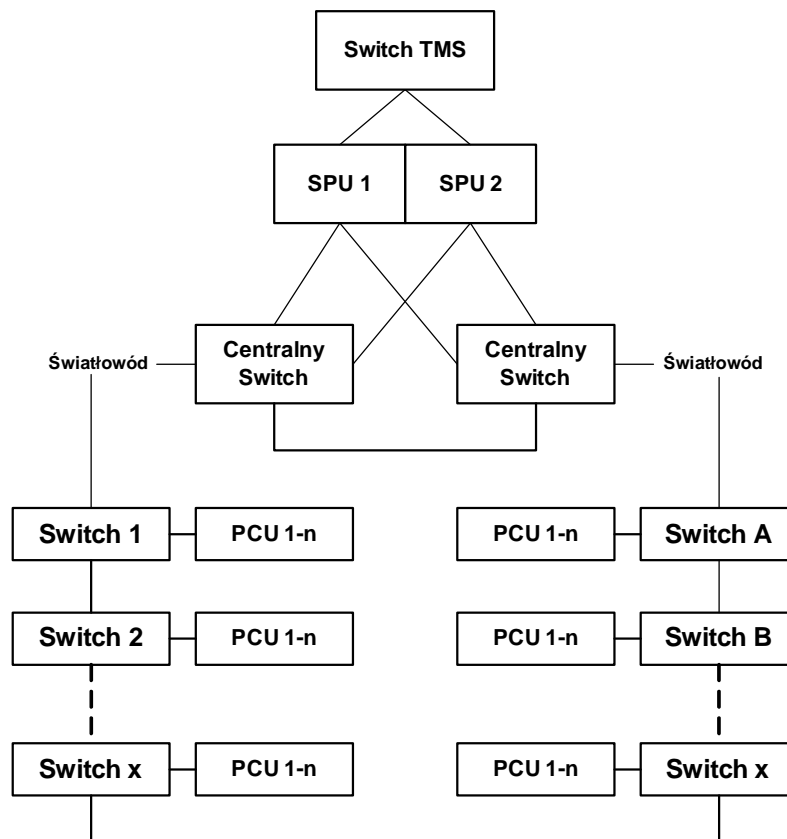
#### System sterowników obiektowych OCS

Każdy obiekt przytorowy przykładowo zwrotnica czy sygnalizator, ma przypisany do siebie sterownik. Pomędzy sterownikami nie ma żadnych powiązań zależnościowych ponieważ wzajemne zależności obiektów są przetwarzane tylko przez program w komputerze zależnościowym. Wymiana danych między komputerem zależnościowym a modułami wykonawczymi odbywa się przez sterowniki pośredniczące STC-2, STC-1 lub koncentrator łączy dla sterowników JZU 94030. Polecenia komputera zależnościowego transmitowane są do segmentu komunikacji w sterowniku, który je odbiera. Następnie są przetwarzane na odpowiednie sterowanie obiektami, jednocześnie sterowniki gromadzą meldunki z sterowanych obiektów, które są przekazywane do komputera zależnościowego. Interfejsy obiektów mają zabudowę modułową i składają się z elektronicznych układów kontrolno-sterujących z kluczami i detektorami. Moduły zapewniają izolację galwaniczną i niezbędną odporność na zakłócenia magnetyczne, występujące w zasilaniu lub przychodzące z terenu.

#### System transmisyjny TRANS

Siecią komunikacyjną między centralnym systemem zależnościowym a systemem sterowników obiektowych określa się mianem systemu transmisyjnego, która służy także do bezpośredniej komunikacji z systemem licznika osi SOL-2 oraz stacyjnym punktem sterowania blokady SHL-1. W systemie EBI Lock 950 R4 komunikacja między komputerem zależnościowym a systemem nadrzędnym TMS obsługiwana jest przez sieć TCP/IP. W komputerze zależnościowym nie wydziela się obecnie pętli transmisyjnych ze względu na zmianę systemu transmisji. Dla zachowania kompatybilności wstecznej zachowano dotychczasowe reguły adresowania sterowników obiektowych oraz innych urządzeń powiązanych (liczników, blokad). Zamiast pętli transmisyjnej zastosowano konwertery transmisji PCU (*Protocol Conversion Unit*), które zapewniają zachowanie niezmiennych urządzeń transmisyjnych w ramach systemów STC-1, SOL-21 oraz SHL-1 i SHL-12 oraz na niezależnienie się od zmian nośnika transmisji w nowej platformie EBI Lock. Wymagania dotyczące pojemności pętli (32 obiekty) pozostają aktualne i dotyczą adresów w ramach *i* jednego PCU. Połączenia wewnętrzne serwerów zależnościowych są zapewnione przez standardowe urządzenia zabudowane w szafie komputera zależnościowego. Do połączeń z nadrzędnym systemem TMS stosowany jest kolejny switch. Parametry tego urządzenia są uzależnione od odległości urządzeń EBI Lock i EBI Sreen-3 od siebie, oraz od użytego nośnika transmisji (przewód miedziany, światłowodowy) i są określane każdorazowo dla poszczególnych obiektów podczas fazy projektowej. Połączenia ze sterownikami tworzą oddzielną zamkniętą sieć komunikacyjną. Zalecaną przez producenta konfigurację sieci łączącej wszystkie urządzenia przytorowe, współpracujące z centralnym systemem zależnościowym (sterowniki obiektowe, liczniki osi, stacyjne końcówki blokad komputerowych) przedstawiono na rys 3.6.<sup>16</sup>

<sup>16</sup> Źródło: Irena Wiechuła: Dokumentacja Techniczno-Ruchowa, Komputerowy System Urządzeń Stacyjnych SRK EBI LOCK 950 wersja 4, Bombardier Transportation (ZWUS), Katowice 2007



Rys.3.6. System transmisyjny - schemat ogólny konfiguracji typu ring

Źródło: Irena Wiechula: Dokumentacja Techniczno-Ruchowa, Komputerowy System Urządzeń Stacyjnych SRK EBI LOCK 950 wersja 4, Bombardier Transportation (ZWUS), Katowice 2007

### 3.3. PODSUMOWANIE

Komputerowe systemy srk poszczególnych producentów wykazują różnice w budowie i zasadzie działania systemów nastawczych. Wspólną cechą elektronicznych systemów nastawczych jest ich wysoka niezawodność, łatwość obsługi oraz mniejsza kubatura w porównaniu do przekaźnikowych urządzeń sterowania ruchem kolejowym. Twórcy systemów wykorzystali różne rodzaje konfiguracji pracy komputerów zależnościowych, wykorzystanie zimnej lub gorącej rezerwy, a co za tym idzie różne poziomy niezawodności dla poszczególnych rozwiązań w zależności od przyjętej zasady projektowania. Elektroniczne systemy zależnościowe charakteryzują się ponadto tańszym i prostszym bieżącym utrzymaniem. Natomiast w przypadku poważniejszej awarii lub usterki konieczne może być korzystanie z usług specjalizowanego serwisu ze względu na skomplikowanie konstrukcyjne urządzeń i braku możliwości naprawy we własnym zakresie przez zarządcę infrastruktury nie posiadającego specjalistycznego sprzętu. Zaletą najnowszej generacji urządzeń sterowania jest ich uniwersalność i możliwość współpracy z innymi typami urządzeń poprzez odpowiednio skonfigurowane interfejsy. W komputerowych systemach srk wykorzystano różnego typu sposoby realizacji równań zależnościowych oraz ich przedstawiania oraz przetwarzania. Systemy komputerowe mogą mieć konfigurację o charakterze geograficznym bądź obiektowym. Projektanci elektronicznych systemów tworzą układy o strukturach niezawodnościowych różnego typu, przykładowo „2 z 2”, „2 z 3” itp. W elektronicznych systemach zastosowano różnorakie języki oprogramowania i systemów operacyjnych. Przykładowo w Ebilock wersja 4 zaimplementowano dane źródłowe w języku Sterno1, a w systemach WT UZ oraz MOR-3 wykorzystano system operacyjny OS-9. Systemy komputerowe stosowane do sterowania ruchem kolejowym powinny mieć zapewnioną odpowiednio wysoką niezawodność oprogramowania, która osiągana jest przez odpowiednie zakodowanie danych źródłowych. W systemie WT UZ dla zapisu stanów wewnętrznych komputerów zależnościowych i kaset zdalnych użyto stałych o wartościach zapewniających odstęp Hamminga  $D > 4$ . Pojęcie to określa miarę odmienności dwóch ciągów o takiej samej długości, wyrażająca liczbę miejsc (pozycji), na których te dwa ciągi się różnią. Innymi słowy jest to najmniejsza liczba zmian (operacji zastępowania elementu innym), jakie pozwalają przeprowadzić jeden ciąg na drugi. Przy odległości Hamminga  $D > 4$  istnieje możliwość wykrywania i korygowania błędów pojedynczych i w tym samym czasie wykrywać błędy podwójne. Wszystkie informacje w systemie wysyłane są za pomocą bezpiecznego protokołu transmisji wyposażonego w wiele systemów zabezpieczeń przed przekłamaniami oraz ośmiobitowe i szesnastobitowe sumy kontrolne CRC. Cykliczny kod nadmiarowy (cykliczna kontrola nadmiarowa) - Cyclic Redundancy Check, CRC - jest to system sum kontrolnych wykorzystywany do wykrywania przypadkowych błędów pojawiających się podczas przesyłania i magazynowania danych binarnych.

Systemy operacyjne w komputerowych urządzeniach srk nazywane są systemami czasu rzeczywistego. Urządzenia takie dają wynik przetwarzania zależny nie tylko od jego logicznej poprawności, ale również od chwili, w której został on

osiągnięty. Poprawność pracy systemu czasu rzeczywistego zależy zarówno od wygenerowanych sygnałów wyjściowych jak i spełnionych zależności czasowych. Zagwarantowanie najwyższego czwartego stopnia bezpieczeństwa SIL4 (fail - safe) w elektronicznych systemach realizowane jest między innymi przez porównywanie kodów wynikowych z różnych kanałów przetwarzania równań zależnościowych w programach komputerów. Komparację wyników przetwarzania komputerów zależnościowych można przeprowadzać w różnoraki sposób. W systemach serii EBI Lock odbywa się to w sposób elektroniczny w programie porównującym, czyli na poziomie software'u. W systemach WT UZ oraz MOR-3 porównywanie sygnałów poleceńowych odbywa się we warstwie sprzętowej w specjalnych komparatorach. Są to urządzenia otrzymujące sygnał z dwóch niezależnych kanałów A i B, każdy z nich ma ściśle określony przebieg i wartość. Komparator wzbudza swoje przekaźniki wykonawcze ze zestykami zwierającymi obwód poleceńowy tylko w przypadku zgodności obydwu sygnałów. Ponadto w każdym obwodzie mierzony jest dwukanałowo pobór prądu dla celów meldunkowych. W nastawnicy elektronicznej ELEKTRA firmy Alcatel Austria redundancja i zapewnienie bezpieczeństwa osiągnięto w konfiguracji typu „2 z 3”. Komputery zależnościowe współpracują ze sobą wykorzystując zasadę niezawodnościową potrajania z głosowaniem TMR. W systemie VPI Alstoma komputery zależnościowe przetwarzają dane programowe przy użyciu matematycznych operacji z dzielnikami wielomianów (*polynomial dividers*).

Komputerowe systemy zależnościowe srk są projektowane na podstawie doświadczeń z poprzednich generacji urządzeń zabezpieczenia ruchu kolejowego. Istnieją wśród nich różniące się między sobą na poszczególnych poziomach systemy. Różnice można zaobserwować w konfiguracji sprzętowej dla zapewnienia wysokiej niezawodności i bezpieczeństwa a także pod względem stosowanego oprogramowania oraz sposobu przetwarzania równań zależnościowych wykorzystując odmienne sposoby matematycznych operacji logicznych. Stąd między różnymi systemami występują inne, lecz pozostające na wysokim poziomie wskaźniki niezawodności. Można również wyróżnić inne zasady działania, czasu przetwarzania poleceń nastawczych, realizowania przebiegu itp.

#### 4. CHARAKTERYSTYKA SYSTEMU GSM-R

##### 4.1. Ogólna charakterystyka systemu GSM-R

Kiedy w 1992 r. system GSM wchodził do użytku publicznego, na poziomie europejskim podjęto decyzję o przyjęciu GSM jako standardu dla kolejowej radiołączności. W tym samym roku Międzynarodowy Związek Kolei – UIC (*fr. Union Internationale des Chemins de Fer*), razem Komisją Europejską i europejskimi organizacjami kolejowymi, zainicjował projekt pod nazwą Europejska Zintegrowana Sieć Kolejowej Łączności Radiowej – EIRENE (*ang. European Integrated Railway Enhanced Network*). Celem tego przedsięwzięcia było wyspecyfikowanie dla sieci radiołączności ruchomej wymagań funkcjonalnych i technicznych, które odpowiadałyby kolejowym wymaganiom i zapewniały interoperacyjność. Przewidziano opracowanie obowiązujących wymagań dla usług łączności operacyjnej w celu zapewnienia w przyszłości nieprzerwanego dostępu do niej przy przekraczaniu granic państw. W ramach projektu EIRENE powstały dwie grupy robocze:

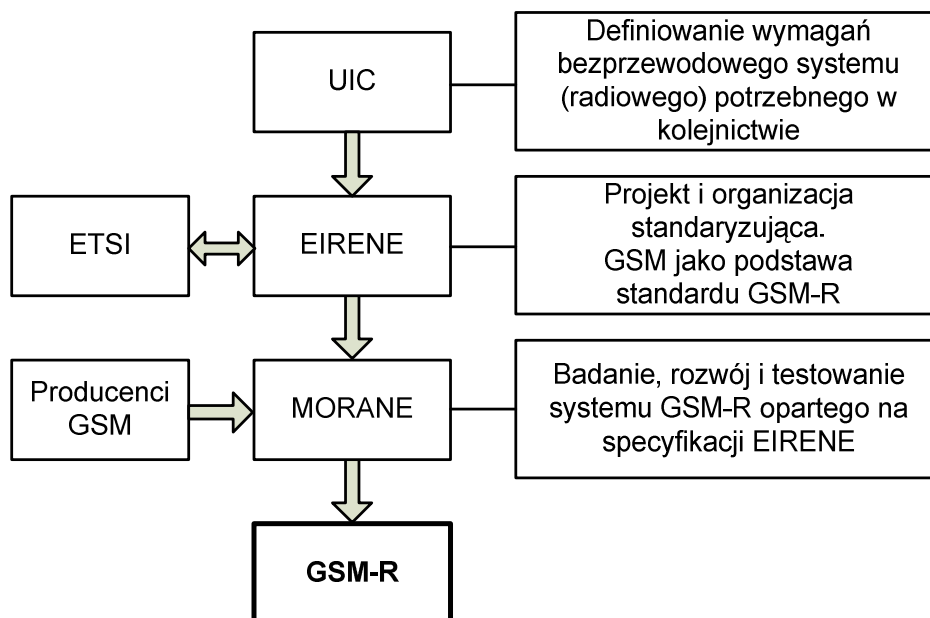
- Grupa Funkcjonalna (*ang. Functional Group*), której zadaniem było opracowanie Specyfikacji Wymagań Funkcjonalnych – FRS (*ang. Functional Requirement Specification*), określających dla systemu parametry obligatoryjne, niezbędne dla zapewnienia interoperacyjności oraz parametry opcjonalne uwzględniających specyficzne wymagania narodowych systemów.
- Zespół Projektowy (*ang. Project Team*), którego zadaniem było opracowanie Specyfikacji Wymagań Systemowych – SRS (*ang. System Requirement Specification*) na bazie wymaganiach funkcjonalnych. Dokument ten był pierwszym krokiem do zdefiniowania specyficznych parametrów technicznych, związanych z prowadzeniem ruchu kolejowego oraz wyspecyfikowania właściwości Zaawansowanych Funkcji Wywołań Głosowych – ASCI (*ang. Advanced Speech Call Items*). Ponieważ zagadnienia związane z ASCI znajdowały się w zakresie tematycznym systemu GSM, niezbędne stało się prowadzenie prac wspólnie z wyspecjalizowaną grupą roboczą ETSI dla właściwego zdefiniowania tych zagadnień w standardzie GSM-R. Pierwszy projekt specyfikacji SRS przygotowano w 1995 r.

W celu koordynacji poczynań weryfikujących od strony technicznej specyfikację EIRENE, utworzono w 1995 r. grupę MORANE (*ang. Mobile Oriented Radio Network*) zrzeszającą UIC, trzy największe europejskie organizacje kolejowe, Komisję Europejską oraz dostawców systemu GSM, gotowych wspierać rozwój systemu GSM-R. Zespół ten opracował, uruchomił

i przetestował na odcinkach pilotażowych<sup>17</sup> prototypy elementów systemu GSM-R.

Relację pomiędzy organizacjami standaryzującymi system GSM-R przedstawiono na rysunku 4.1.

<sup>17</sup> Pilotażowe wdrożenie GSM-R przeprowadzono na odcinkach Florencia – Arezzo, Stuttgart – Mannheim oraz na linii podmiejskiej Paryża



Rys.4.1. Relacja między organizacjami standaryzującymi system GSM-R

Źródło: Na podstawie - Urbanek A. *Komunikacja kolejowa GSM-R. Networld 2005, nr 1*

W 1997 r. UIC przygotował Memorandum Porozumienia zobowiązujące europejskie organizacje kolejowe do zaprzestania inwestycji w systemy radiołączności analogowej i skoncentrowania się na wdrożeniu systemu GSM-R. W dokumencie zawarto deklarację, że organizacje kolejowe, które wcześniej wdrożą system będą wspierać wiedzą i doświadczeniem koleje, które dopiero przystępują do tego procesu. Memorandum podpisały wówczas 32 europejskie organizacje kolejowe. Aktualnie dokument ma 37 sygnatariuszy – w tym organizacje kolejowe spoza Europy.

W nawiązaniu do deklaracji zawartej w we wspomnianym Memorandum, UIC stworzył Porozumienie o Wdrażaniu – AoI (ang. *Agreement of Implementation*), które zobowiązywało sygnujące kraje do rozpoczęcia procesu wdrażania GSM-R najpóźniej w 2003 r. Pod tym porozumieniem podpisało się 17 organizacji kolejowych.

Projekty EIRENE i MORANE zostały zamknięte z końcem 2000 r. Efektem ich prac były FRS 4.0, SRS 12.0, specyfikacja interfejsu funkcjonalnego dla utrzymania sprawności MORANE FFFIS (ang. *Form Fit Function Interface Specification*), specyfikacja funkcjonalna interfejsu MORANE FIS (ang. *Functional Interface Specification*) oraz raport końcowy zawierający wnioski z testów przeprowadzonych na pilotażowych odcinkach.

W celu dokończenia prac przedstawionych przez EIRENE i MORANE, UIC rozpoczął nowy projekt – ERTMS/GSM-R. Nadanie takiej nazwy potwierdziło, że GSM-R jako nowy cyfrowy system kolejowej radiokomunikacji ruchomej oraz medium transmisyjne dla systemu ETCS, stanowi jedną z głównych części systemu ERTMS. Przedsięwzięcie połączyło doświadczenia zebrane na pilotażowych odcinkach oraz wiedzę zdobytą od organizacji kolejowych, które wcześniej podjęły się wdrażania systemu GSM-R i w tej formie jest realizowane do dnia dzisiejszego. W grupie ERTMS/GSM-R działają grupy robocze, które w większości przejęły kompetencje projektów EIRENE i MORANE. Do stałych grup należy zaliczyć:

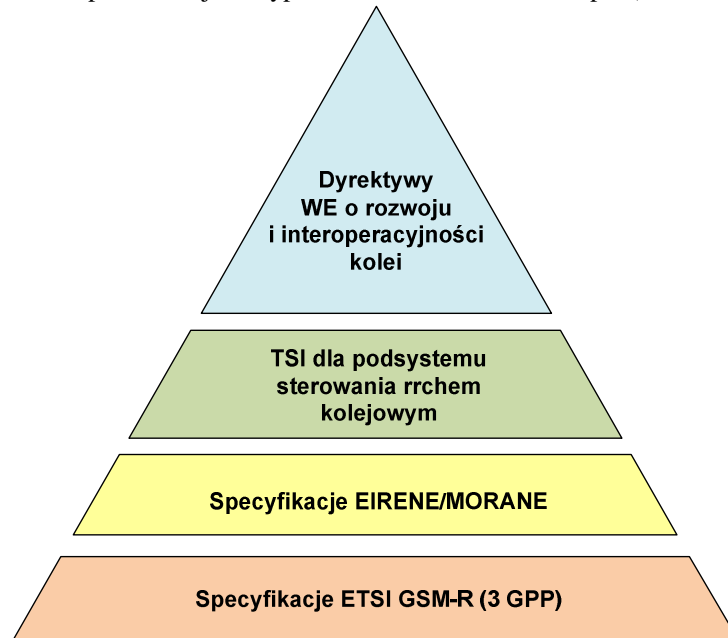
- ERIG (ang. *European Radio Implementation Group*) – forum organizacji kolejowych, które sygnowały Memorandum Porozumienia z 1997 r. W ramach tej grupy omawiane są m.in. zagadnienia związane wdrożeniem systemu, postępami poczynionymi w poszczególnych krajach, a także przekazywane są informacje o działaniach pozostałych grup roboczych (w tym również o nowych rozwiązaniach i wymaganiach dla GSM-R). Od połowy 2008 r. ERIG jest jednostką weryfikującą formalne propozycje zmian, reprezentując UIC w komórce ERTMS Europejskiej Agencji Kolejowej – ERA (ang. *European Railway Agency*);
- Grupa Funkcjonalna GSM-R (ang. *GSM-R Functional Group*) – jej zadaniem jest kontynuowanie prac nad specyfikacją EIRENE FRS. Jest to naczelną jednostką weryfikującą raporty z wdrożeń i ewentualnych napotkanych problemów, mające wpływ na wymagania funkcjonalne oraz wnosząca formalne propozycje zmian do FRS. Grupa jest również odpowiedzialna za migrację nowych i przyszłych technologii do wymagań w taki sposób, aby zachować jednolite zasady prowadzenia ruchu kolejowego;
- Grupa Operatorów GSM-R (ang. *GSM-R Operators Group*) – grupa ta kontynuuje prace nad specyfikacją EIRENE SRS, definiując rozwiązania techniczne dla wymagań funkcjonalnych, ponadto jest odpowiedzialna za aktualizację dokumentów MORANE. Do zadań grupy należy również wnoszenie formalnych żądań zmian<sup>18</sup> w oparciu o raporty z wdrożeń oraz współpraca z Techniczną Grupą Producentów – TIG (ang. *Technical part of the Industry Group*) w celu poszukiwania rozwiązań i możliwości technicznego udoskonalenia. W sytuacji gdy niezbędna jest praca nad szczegółowymi zagadnieniami, Grupa Operatorów powołuje doraźnie grupy ekspertów zrzeszające reprezentantów spośród dostawców systemu GSM-R i organizacji kolejowych.

<sup>18</sup> żądanie zmiany – CR (ang. *Change Request*) jest formułowane i weryfikowane zgodnie z procedurami opisanymi w dokumencie ERA ERTMS 0001 v2.0 *Change Control Management*.

Ponadto w ramach projektu ERTMS/GSM-R grupy łączące środowiska lub specjalistów z wyżej wymienionych zespołów, które tworzone są doraźnie, na potrzebę analizy konkretnego zagadnienia. Przykładem mogą być tu powołane pod koniec 2007 r. dwie grupy, których zadaniem jest sprawowanie nadzoru nad współpracą sieci GSM-R pomiędzy krajami, które wdrożyły ten system:

- Grupa Zarządzania Siecią – NMG (ang. Network Management Group), zajmująca się zagadnieniami na poziomie eksploatacyjnym;
- Grupa ds. Europejskiej Integracji Kolejowej Sieci Radiołączności – ENIR (ang. European Networks Integration for Railways), związana z technicznymi aspektami współpracy sieci.

Zgodnie z danymi UIC, pod koniec 2009 r. w łączność GSM-R było w Europie wyposażonych 65 800 km linii kolejowych. Stanowi to 43% sieci planowanej do wyposażenia w GSM-R w Europie (150 650 km)<sup>19</sup>.



Rys.4.2. Hierarchia dokumentów prawnych i normatywnych dla systemu GSM-R  
Źródło: Na podstawie - Winter P. *Compendium on ERTMS*. Eurailpress, Hamburg 2009

Na rysunku 4.2 przedstawiono hierarchię dokumentów prawnych i normatywnych dla systemu GSM-R.

W ustawodawstwie unijnym Dyrektywa jest najważniejszym aktem prawnym po Rozporządzeniu. Funkcją tego dokumentu jest harmonizowanie porządku prawnego, ma charakter wiążący co do rezultatu – państwa członkowskie są zobowiązane do dostosowania prawa krajowego do założeń i postanowień Dyrektywy (okres transpozycji wynosi zazwyczaj 1-3 lat), ale mają swobodę wyboru formy i środków jej implementacji<sup>20</sup>. W zakresie interoperacyjności systemu kolei we Wspólnocie aktualnie obowiązuje Dyrektywa 2008/57/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 17 czerwca 2008 r. Dotyczy ona przepisów odnoszących się do składników interoperacyjności, interfejsów oraz procedur, jak też warunków całkowitej zgodności każdego podsystemu systemu kolei koniecznej do osiągnięcia jego interoperacyjności. W systemie kolei wyróżniamy podsystemy:

- strukturalne:
  - infrastruktura,
  - energia,
  - sterowanie,
  - tabor,
- eksploatacyjne:
  - ruch kolejowy,
  - utrzymanie,
  - aplikacje telematyczne dla przewozów pasażerskich i dla przewozów towarowych.

Zasadniczo każdy podsystem objęty jest jedną Techniczną specyfikacją interoperacyjności (TSI), która określa podstawowe wymagania dla tego podsystemu. Techniczne specyfikacje interoperacyjności publikowane są jako załączniki do Decyzji Komisji Europejskiej, odnoszących się do odpowiednich podsystemów. System GSM-R należy do podsystemu sterowanie – CCS (ang. *Control-Command and Signalling*). Dla systemu GSM-R obowiązującą jest Decyzja Komisji

<sup>19</sup> Mandoc D. *GSM-R in 2009 – international operations take off*. European Railway Review 2010, nr 1

<sup>20</sup> w odróżnieniu do Rozporządzeń, które ujednolicają porządek prawny, mają charakter wiążący i działają wprost, tzn. wchodzą w życie z dniem ogłoszenia, a przy ich wprowadzeniu władze krajowe nie posiadają swobody regulacyjnej (jednocześnie mają obowiązek uchylecia wszelkich przepisów niezgodnych z treścią Rozporządzenia i zakaz wydawania aktów prawnych niezgodnych z jego treścią)



Europejskiej 2006/679/WE z dnia 28 marca 2006 r. dotycząca technicznej specyfikacji dla interoperacyjności odnoszącej się do podsystemu sterowania ruchem kolejowym transeuropejskiego systemu kolei konwencjonalnych, oraz:

- Decyzja Komisji Europejskiej 2007/153/WE z dnia 6 marca 2007 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;
- Decyzja Komisji Europejskiej 2008/386/WE 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;
- Decyzja Komisji Europejskiej 2009/561/WE z dnia 22 lipca 2009 r. zmieniająca decyzję 2006/679/WE w odniesieniu do wdrażania technicznej specyfikacji dla interoperacyjności odnoszącej się do podsystemu sterowania ruchem kolejowym transeuropejskiego systemu kolei konwencjonalnych;
- Decyzja Komisji Europejskiej 2010/79/WE z dnia 19 października 2009 r. zmieniająca decyzje 2006/679/WE oraz 2006/860/WE w zakresie technicznych specyfikacji interoperacyjności dotyczących podsystemów transeuropejskich systemów kolei konwencjonalnych i kolei dużych prędkości.

W Załączniku do Decyzji 2010/79/WE znajduje się aktualny wykaz specyfikacji obowiązujących dla systemu GSM-R:

- Indeks 32: EIRENE FRS. GSM-R Functional Requirements Specification wersja 7;
- Indeks 33: EIRENE SRS GSM-R System Requirements Specification wersja 15;
- Indeks 34: A11T6001 12. (MORANE) Radio Transmission FFFIS for EuroRadio wersja 12;
- Indeks 48: Test specification for mobile equipment GSM-R (w trakcie opracowywania);
- Indeks 61: GSM-R version management (w trakcie opracowywania).

Standard określony w specyfikacjach EIRENE/MORANE (Indeksy 32-34) odnosi się do specyfikacji 3GPP (ang. *Third Generation Partnership Project*), zawartych w normie EN 301 515, która oparta jest na wymaganiach raportu technicznego TR 102 281. Od czasu ustanowienia standardu GSM-R w 1999 r. dokumenty te były stale aktualizowane.

Obowiązujące wersje to:

- ETSI EN 301 515 (V2.3.0): “Global System for Mobile communication (GSM); Requirements for GSM operation on railways” z lutego 2005 r.
- ETSI TR 121 900: “Digital cellular telecommunications system (Phase 2+); Universal Mobile Telecommunications System (UMTS); LTE; Technical Specification Group working methods (3GPP TR 21.900)” z września 2004 r.

### 4.2. Architektura systemu GSM-R

GSM-R jest to system cyfrowej telefonii komórkowej wykorzystywany na potrzeby transportu kolejowego. Zapewnia cyfrową łączność głosową oraz cyfrową transmisję danych. Oferuje on rozbudowaną funkcjonalność systemu GSM. Cechuje się infrastrukturą zlokalizowaną jedynie w pobliżu linii kolejowych. Aby przeciwdziałać zakłóceniom elektromagnetycznym zastosowano częstotliwość 900 MHz. GSM-R ma za zadanie wspomagać systemy wprowadzane w Europie: ERTMS (ang. *European Rail Traffic Management System*) tj. Europejski System Zarządzania Ruchem Kolejowym oraz ETCS (ang. *European Train Control System*) czyli Europejski System Kontroli Pociągu, który ma za zadanie permanentnie zbierać i przesyłać dane dotyczące pojazdu szynowego takie jak prędkość czy położenie geograficzne. System GSM-R jest medium transmisyjnym dla ETCS, pośredniczy przy przekazywaniu informacji maszyniście i innym służbom kolejowym. Wdrażając wyżej wymienione systemy poprawia się znacznie bezpieczeństwo ruchu kolejowego, możliwa jest diagnostyka pojazdu w czasie rzeczywistym oraz wprowadzenie monitoringu przesyłek i wagonów. Ponadto poprzez precyzyjne określenie odległości między pociągami można znacznie zwiększyć przepustowość na poszczególnych liniach.

Działanie ETCS z wykorzystaniem do transmisji system GSM-R nie wymaga stosowania sygnalizacji bocznej, co pozwala na zredukowanie kosztów inwestycji i utrzymania urządzeń obecnie używanych. Jeszcze większą redukcję sygnalizacyjnych urządzeń naziemnych i zwiększenie przepustowości linii można osiągnąć poprzez dodatkowe wykorzystanie określania precyzyjnej pozycji poprzez satelitarny system nawigacyjny GPS (ang. *Global Positioning System*).

Systemowi GSM-R postawione zostały wymagania jakości usług QoS (ang. *Quality of Service*). Jednym z najważniejszych parametrów jakościowych w GSM-R jest dostępność usług, która ustanowiona jest na 99,95%. Istotnymi parametrami jest maksymalny czas zestawiania połączenia o normalnym priorytecie, który nie powinien przekraczać 7,5 sekundy, oraz prawdopodobieństwo niepowodzenia w nawiązaniu połączenia, które powinno być mniejsze od  $10^{-3}$ . Dla trwającego połączenia określono kilka najważniejszych parametrów jakościowych, m.in. bitową stopę błędów czyli BER (ang. *Bit Error Rate*), która określa stosunek ilości błędnych bitów do wszystkich przesłanych bitów. Dla kanału o przepływności 2,4 kbit/s w 90% czasu trwania połączenia wartość BER nie powinna przekroczyć  $10^{-4}$ . Prawdopodobieństwo rozłączenia ustalono na nie większe niż 0,0001.

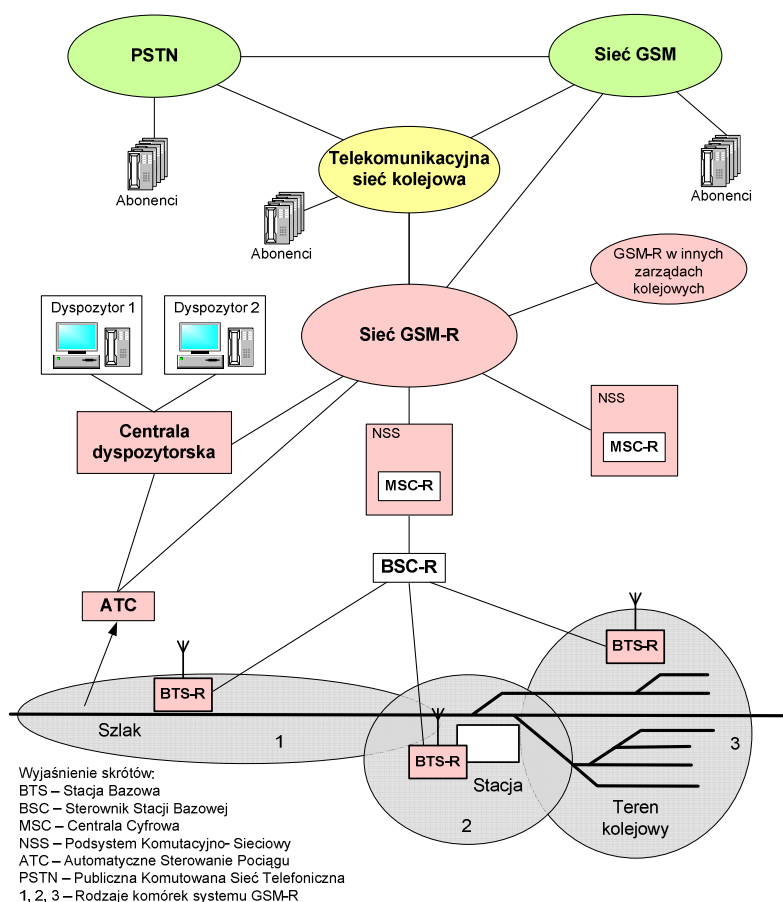
System GSM-R obsługuje terminale poruszające się z prędkością do 500 km/h. Im większa prędkość pojazdu tym częstsza zmiana komórek, dlatego bardzo ważnym parametrem jest maksymalny czas przełączenia pomiędzy komórkami (ang. *handover*). Zastosowane mechanizmy przełączania muszą zapewniać prawidłowe przełączenie komórek, w czasie nie większym niż 300ms w 99,5% przypadków.

Podstawowa infrastruktura GSM-R jest bardzo zbliżona do infrastruktury systemu GSM. Jednak ze względów funkcjonalnych jest wzbogacona o kilka elementów, które nie występują w systemach publicznych. Wiąże się to z usługami typowo kolejowymi takimi jak: adresowanie funkcyjne czyli klasyfikowanie poszczególnych abonentów według grup ważności, zastosowano tu specjalną bazę danych zwaną rejestrem adresowania funkcyjnego. Infrastruktura GSM-R jest również wzbogacona o podzespoły współpracujące z systemem automatycznej kontroli pociągu oraz centralą przeznaczoną do obsługi dyspozytorów. W systemie tym wymagana jest realizacja połączeń grupowych, dyspozytorskich oraz połączeń wysoko-priorytetowych, których czas zestawienia nie powinien przekraczać jednej sekundy. W GSM-R oprócz terminali przenośnych, znanych z systemów GSM, również stosuje się terminale tzw. przewoźne montowane w lokomotywach pojazdów szynowych. Przy projektowaniu systemu GSM-R zdecydowano się na przejście od GSM między innymi, algorytmów przydziału kanałów radiowych oraz zarządzania i utrzymania sieci.

Rozmieszczenie stacji bazowych w systemach GSM-R może odbywać się na cztery różne sposoby w zależności od wymaganego bezpieczeństwa.

Wybór sposobu rozmieszczenia i połączenia stacji bazowych powinien być podyktowany klasą i przeznaczeniem linii kolejowej, jej przepustowością i wymaganym poziomem bezpieczeństwa.

W systemach GSM-R możemy wyróżnić trzy podstawowe typy stosowanych komórek. Zostały one przedstawione na rysunku 1. Pierwszym (1) są to komórki, które z założenia pokrywają tylko obszar linii kolejowej. Cechuje je długi kształt i niewielka szerokość. Drugim typem są komórki (2) pokrywające tereny stacyjne i częściowo linie kolejowe. Mają zazwyczaj kształt kolisty lub eliptyczny. Trzecim typem są komórki duże (3), pokrywające inne tereny kolejowe takie jak bocznice, kompleksy budynków kolejowych itp. Każdy z typów komórek obsługuje wszystkie rodzaje radiotelefonów. Wielkość komórek i ich kształt można zmieniać poprzez regulację poziomu mocy oraz stosowanie anten dookólnych, szerokokątnych bądź liniowych. System GSM-R ma zastosowanie służbowe, więc nie przewidziano w nim pokrycia radiowego terenów innych niż tereny kolejowe (rys 4.3).



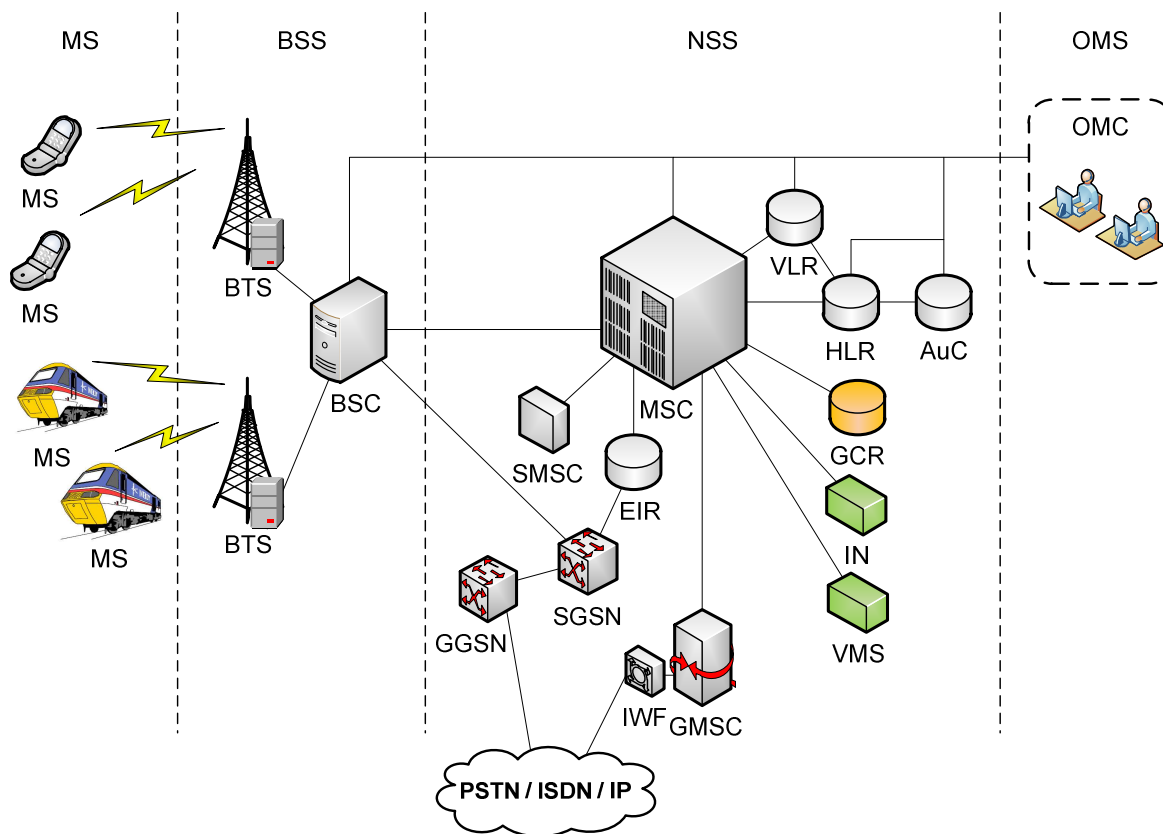
Rys. 4.3. Ilustracja organizacji sieci GSM-R na obszarach kolejowych

Na rysunku 4.4 przedstawiono architekturę sieci GSM/GSM-R – zasadniczo jest ona taka sama dla obu systemów. Charakterystycznym dla standardu GSM-R jest rejestr wywołania grupowego GCR, wprowadzony w standardzie GSM fazy 2+. Ponadto zarówno w sieci GSM, jak i GSM-R opcjonalnie mogą znajdować się moduły IN i VMS. Wszystkie pozostałe elementy architektury są obowiązkowe.

Pod względem funkcjonalnym w sieci GSM/GSM-R można wyróżnić następujące części:

- stacja ruchoma MS (ang. *Mobile Station*),
- podsystem stacji bazowych BSS (ang. *Base Station Subsystem*),
- podsystem komutacyjno-sieciowy NSS (ang. *Network Switching Subsystem*),

- zespół eksploatacji i utrzymania OMS (ang. *Operational and Maintenance Subsystem*).



Rys.4.4. Architektura sieci GSM/GSM-R

Źródło: Siporski M.: *Koncepcja wykorzystania systemu GSM publicznego na liniach kolejowych o małym natężeniu ruchu jako alternatywa dla systemu GSM-R.. Wydział Transportu PW. Praca dyplomowa (kierownik pracy prof.nzw.dr hab. inż. M.Siergiejczyk) 2011.*

Stacja ruchoma służy abonentowi do komunikowania się z innymi użytkownikami sieci telekomunikacyjnych. Jest to terminal abonencki (telefon komórkowy, telefon GSM), który dzieli się na dwie części – urządzenie radiowe oraz kartę SIM (ang. *Subscriber Identity Module*). Na karcie SIM zawarte są dane identyfikujące abonenta oraz usługi, jakie są dla niego świadczone.

Podsystem stacji bazowych BSS odpowiada za optymalne pokrycie polem radiowym. W jego skład wchodzi:

- stacje bazowe BTS<sup>21</sup> (ang. *Base Transceiver Station*),
- sterowniki stacji bazowych BSC (ang. *Base Station Controller*).

Podsystem komutacyjno-sieciowy NSS odpowiada za funkcje komutacyjne przy zestawianiu połączeń i zarządza zasobami sieci<sup>22</sup>. W jego skład wchodzi:

- centrala radiokomunikacyjna MSC (ang. *Mobile Switching Centre*),
- dostępową centrala radiokomunikacyjna GMSC (ang. *Gateway Mobile Switching Centre*),
- moduł funkcji sprzęgających IWF (ang. *InterWorking Functions*),
- rejestr abonentów obcych VLR (ang. *Visitors Location Register*),
- rejestr abonentów własnych HLR (ang. *Home Location Register*),
- centrum identyfikacji AuC (ang. *Authentication Centre*),
- rejestr identyfikacji stacji ruchomych<sup>23</sup> EIR (ang. *Equipment Identification Register*),
- centrum SMSC (ang. *Short Message Service Centre*),
- węzeł obsługujący transmisję pakietową SGSN (ang. *Serving GPRS Support Node*),
- węzeł bramy obsługujący transmisję pakietową GGSN (ang. *Gateway GPRS Support Node*),
- rejestr wywołania grupowego GCR (ang. *Group Call Register*),
- platforma sieci inteligentnej IN (ang. *Intelligent Network*),
- system wiadomości głosowych VMS (ang. *Voice Mail System*),
- system rejestracji rozmów CRS (ang. *Call Recording System*),
- dostępową centrala funkcji śledzenia FFN (ang. *Follow-me Function Node*).

<sup>21</sup> W dosłownym tłumaczeniu BTS oznacza zespół nadawczo-odbiorczy stacji bazowej, często stosuje się skrótowe oznaczenie BS (ang. *Base Station*)

<sup>22</sup> Kabaciński W., Żal M. *Sieci telekomunikacyjne*. Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, Warszawa 2008

<sup>23</sup> EIR bywa również tłumaczony dosłownie jako rejestr identyfikacji wyposażenia, jednak wyposażeniem, o którym tu mowa, jest stacja ruchoma

Zespół eksploatacji i utrzymania OMS umożliwia operatorowi wgląd w pracę systemu oraz administrowanie nim – wydawanie abonamentów, wprowadzanie i uaktualnianie danych o abonentach, lokalizację i usuwanie uszkodzeń, pomiary ruchu telekomunikacyjnego i prowadzenie statystyk, naliczanie opłat, itp.<sup>24</sup> Podstawowym obiektem zespołu OMS jest centrum eksploatacji i utrzymania OMC (ang. *Operation and Maintenance Centre*). W zespole OMS może działać więcej, niż jedno centrum OMC, wówczas połączone centra OMC tworzą sieć zarządzaną przez centrum zarządzania sieci NMC (ang. *Network Management Centre*).

Transmisja pomiędzy centralą MSC a podsystemem stacji bazowych BSS jest realizowana przez styk A, zdefiniowany w normie GSM serii 08. Styk ten dotyczy głównie aspektów sieciowych i komutacyjnych, np.:

- funkcji wypełnianych przez centralę MSC oraz rejestry HLR i VLR,
- zarządzania łączami stałymi, funkcji zarządzania siecią, sterowaniem i szyfrowaniem danych abonenta oraz informacją sygnalizacyjną,
- zarządzania związanego z przemieszczaniem się stacji ruchomych (abonentów), tzn. potwierdzaniem autentyczności stacji ruchomych, aktualizacją lokalizacji stacji ruchomych czy ich wywołaniem.

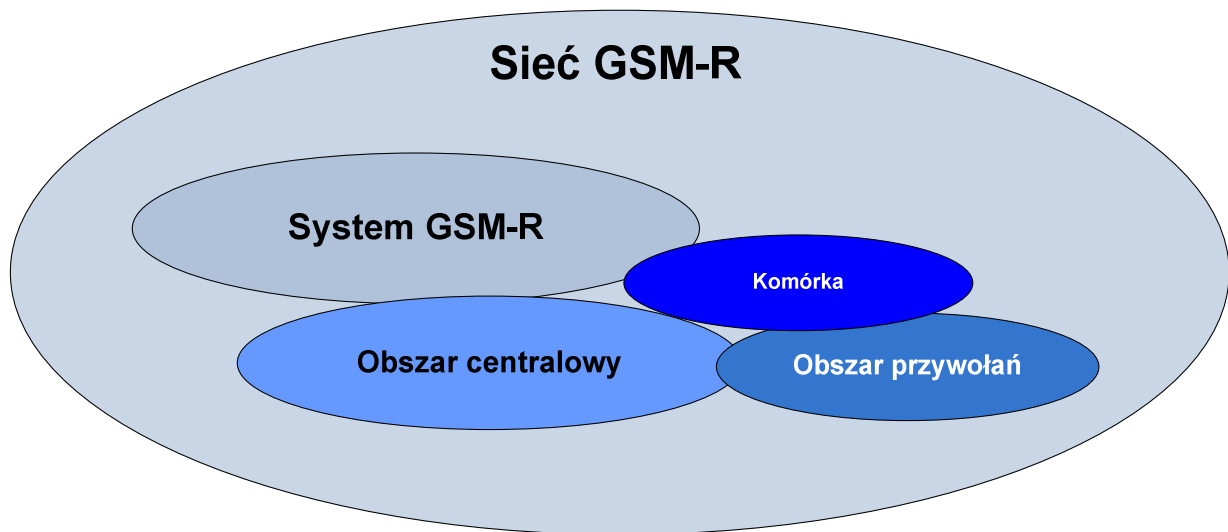
Między sterownikiem stacji bazowych BSC a stacjami bazowymi BTS transmisja realizowana jest przez styk A<sub>bis</sub>, zdefiniowany w normie GSM serii 08,5x. Styk ten jest związany z wymianą informacji dotyczącą transmisji radiowej, np.:

- funkcji wypełnianych przez centralę MSC oraz rejestry HLR i VLR,
- rozdziałem kanałów radiowych,
- nadzorowaniem połączeń,
- szeregowaniem wiadomości w celu ich nadawania,
- sterowaniem procesem zmian częstotliwości kanałowych FH (ang. Frequency Hopping),
- kodowaniem i dekodowaniem kanałowym,
- kodowaniem i dekodowaniem sygnałów mowy,
- szyfrowaniem wiadomości,
- sterowaniem poziomem mocy generowanej przez stacje bazowe BTS.

Transmisja radiowa pomiędzy stacjami ruchomymi MS i stacjami bazowymi BTS jest realizowana w styku U<sub>m</sub>, zdefiniowanym w normie GSM serii 04 i 05.

#### Struktura sieci GSM/GSM-R

W celu zapewnienia sprawnej lokalizacji abonentów ruchomych, w sieci GSM/GSM-R przyjęto strukturę hierarchiczną złożoną (rys.4.5).



Rys.4.5. Hierarchiczna struktura sieci GSM/GSM-R

W strukturze sieci GSM-R wyróżnia się następujące warstwy:

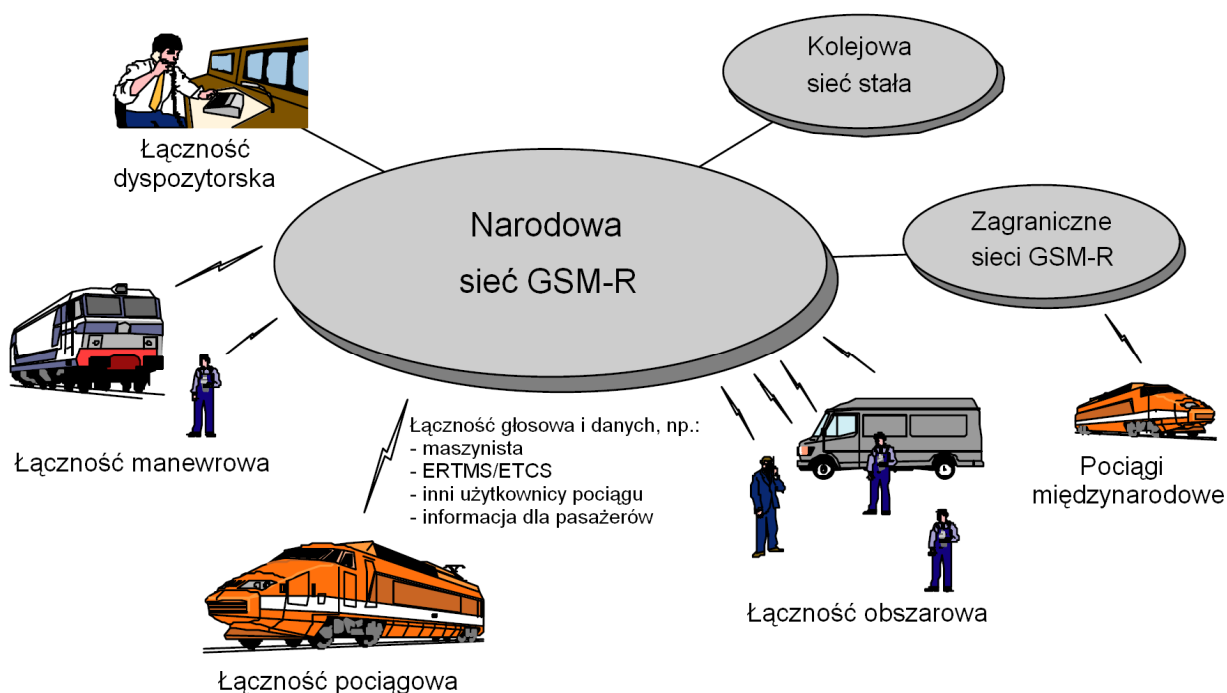
- Sieć GSM-R (ang. *GSM for Railways Network lub GSM for Railways Service Area*) – obszar objęty zasięgiem usług GSM-R. Geograficznie odpowiada on wszystkim krajom (operatorom), w których działa system GSM-R. Połączenia pomiędzy siecią GSM-R a publiczną siecią telefoniczną odbywają się przez jedną z central tranzytowych GSMC;
- System GSM (ang. *PLMN service area*) – obszar działania sieci GSM-R zarządzanej przez jednego operatora. Jeśli w kraju działa kilku operatorów, istnieje równolegle kilka systemów GSM-R, które porozumiewają się ze sobą za pośrednictwem publicznej sieci telefonicznej;
- Obszar centralowy (ang. *MSC service area*) – część systemu GSM-R, obsługiwana przez jedną z central MSC. Połączenia przychodzące do stacji ruchomej są kierowane do centrali MSC pracującej w tym obszarze

<sup>24</sup> Hołubowicz W., Płóciennik P. *GSM – cyfrowy system telefonii komórkowej*. Wydawnictwa EFP, Poznań 1995

centralowym, w którym aktualnie znajduje się dana stacja ruchoma Rejestr stacji własnych HLR przechowuje informacje dotyczące aktualnego położenia stacji ruchomej z dokładnością do obszaru centralowego;

- Obszar przywołań LA (ang. *Location Area*) – część obszaru centralowego, w ramach którego poruszająca się stacja ruchoma nie musi przekazywać do systemu uaktualnionych danych o swoim położeniu. W przypadku połączenia przychodzącego do stacji ruchomej jest to obszar systemu, wewnątrz którego nadawana jest informacja przywoławcza (ang. *paging message*), mająca na celu wywołanie szukanego abonenta. Obszar przywołań zazwyczaj obejmuje swoim zasięgiem niewielką liczbę komórek (z tego samego obszaru centralowego), obsługiwanych przez jeden lub kilka sterowników bazowych. Określenie rozmiaru obszaru przywołań jest związane z optymalnym (efektywnym) wykorzystaniem kanałów radiowych – większy obszar zapewnia większy zasięg sygnałów przywołujących jedną stację ruchomą i mniejszą częstość uaktualnień stacji ruchomej. Przejście stacji ruchomej z jednego obszaru przywołań do innego, w ramach jednej centrali MSC, powoduje uaktualnienie zapisu w rejestrze VLR danej stacji. Zmiana obszaru przywołań na inny, należący do innej centrali MSC, powoduje konieczność uaktualnienia zapisu w rejestrze HLR.;
- Komórka – najmniejszy fragment systemu GSM-R. Zbiór komórek tworzy obszar przywołań. Każdej komórce odpowiada jedna stacja bazowa.

Opierając się na hierarchicznej strukturze sieci oraz uwzględniając funkcje, które ma spełniać system GSM dla potrzeb kolei można przedstawić strukturę sieci GSM-R jak na rysunku 4.5. Ujęte razem: łączność manewrowa, pociągowa i obszarowa odpowiadają logicznie poziomowi systemu GSM (rys.4.6).



Rys.4.6. Struktura sieci GSM-R

Źródło: Na podstawie - UIC Project EIRENE Functional Requirements Specification Version 7. 17 May 2006

### 4.3. Podsystem stacji bazowych

Podsystem stacji bazowych podzielony jest na część sterującą (sterowniki BSC) i część transmisyjną (stacje bazowe BTS). Zasadniczo jeden sterownik BSC zarządza pracą kilku lub kilkudziesięciu stacji bazowych.

Główne funkcje realizowane w stacjach bazowych są następujące:

- wykrywanie zgłoszeń (żądania przydzielenia wydzielonego kanału sygnalizacyjnego) stacji ruchomych;
- funkcje związane z przetwarzaniem sygnału w kierunku:
  - nadawczym i odbiorczym: kodowanie i dekodowanie mowy, kodowanie i dekodowanie kanałowe, przepłot i rozplot, modulacja i demodulacja;
  - nadawczym: konwersja sygnału do częstotliwości radiowej, wzmacnianie i łączenie (ang. *combining*) sygnałów radiowych dochodzących do anteny;
  - odbiorczym: filtracja sygnałów, rozdział i konwersja pasma podstawowego;
- szyfrowanie i rozszyfrowywanie sygnałów przesyłanych w kanale radiowym;
- przekazywanie wyników pomiarów własnych oraz wyników otrzymanych od stacji ruchomych do sterownika BSC;
- realizacja skakania po częstotliwościach FH (ang. *Frequency Hopping*);
- zapewnienie synchronizacji pomiędzy stacją ruchomą a stacją bazową.

Stacja bazowa może pracować na jednej lub kilku częstotliwościach radiowych (maksymalnie do 16). Każda częstotliwość wymaga własnego nadajnika i odbiornika.

Sterowniki stacji bazowych BSC są zlokalizowane między częścią komutacyjno-sieciową systemu a stacjami bazowymi. Ich rola związana jest przede wszystkim z zarządzaniem obsługą kanałów radiowych w poszczególnych komórkach i zarządzaniem łączami stałymi do stacji bazowej.

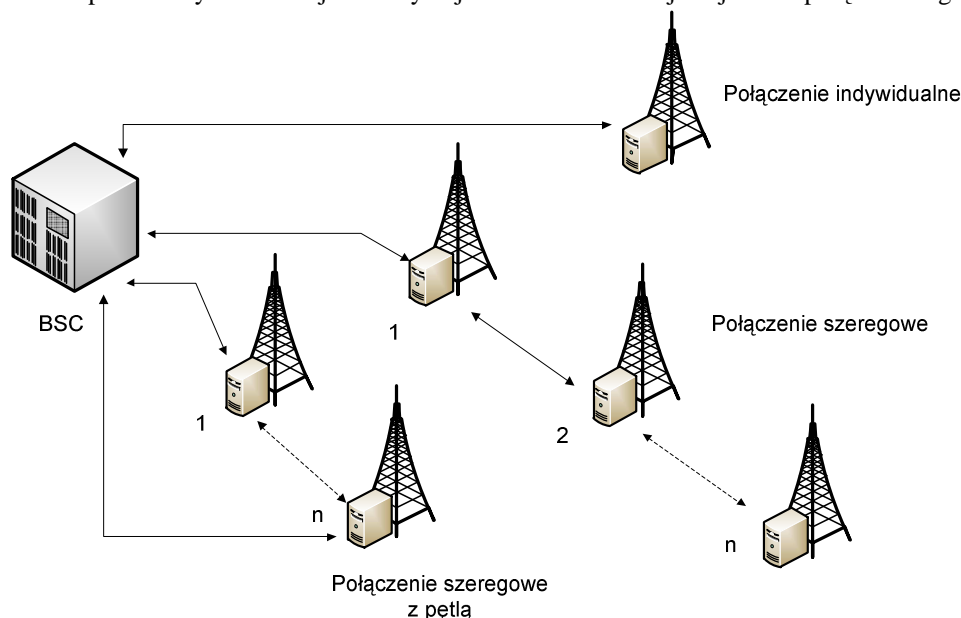
Sterowniki stacji bazowych pełnią następujące funkcje<sup>25</sup>:

- konfiguracja i zarządzanie rozmównymi i sygnalizacyjnymi kanałami radiowymi podległych im stacji bazowych;
- sterowanie skakaniem po częstotliwościach;
- zarządzanie procedurą szyfrowania transmisji radiowej;
- przywoływanie stacji ruchomych;
- sterowanie mocą podległych im stacji bazowych i stacji ruchomych;
- sterowanie przełączaniem kanałów;
- kontrola stopy błędów w niezajętych kanałach radiowych;
- kontrola stopy błędów i poziomu mocy sygnału odbieranego przez stacje bazowe i stacje ruchome w zajętych kanałach radiowych;
- komutacja łączy w celu koncentracji ruchu w łączach do centrali MSC;
- utrzymanie i nadzór połączeń między sterownikiem a stacjami bazowymi.

W podsystemie stacji bazowych możliwe są różne sposoby podłączenia stacji bazowych BSS ze sterownikiem stacji bazowych BSC. Na rys. 4.4 przedstawiono strukturę gwiazdową. Poza nią można jeszcze wyróżnić połączenia (rys.4.7):

- indywidualne,
- szeregowe,
- szeregowe z pętlą.

Ze względów ekonomicznych stosuje się połączenia szeregowe lub połączenia szeregowe z pętlą. W ostatnim przypadku prawidłowa praca wszystkich stacji bazowych jest możliwa nawet jeśli jedno z połączeń ulegnie przerwaniu.



Rys.4.7. Sposoby łączenia stacji bazowych ze sterownikiem BSC

Źródło: Siporski M.: *Koncepcja wykorzystania systemu GSM publicznego na liniach kolejowych o małym natężeniu ruchu jako alternatywa dla systemu GSM-R.. Wydział Transportu PW. Praca dyplomowa (kierownik pracy prof.nzw.dr hab. inż. M.Siergiejczyk) 2011.*

### Transkoder TRAU

Zastosowanie transkodera TRAU (ang. *Transcoding Rate and Adaptation Unit*) związane jest z różnicą jaka występuje między szybkością transmisji w kanale radiowym i przepływnością w styku A. Transkoder TRAU dzieli drogę transmisyjną pomiędzy stacją bazową a centralą MSC na dwie części: od stacji bazowej do transkodera, oraz od transkodera do stacji bazowej do centrali MSC. Takie rozdzielenie drogi transmisyjnej obniża koszty transmisji po wewnętrznych łączach stałych systemu GSM w stosunku do rozwiązania, w którym zmiana formatu sygnału byłaby dokonywana w stacji bazowej BTS.

### 4.4. Stacje ruchome

Stacje ruchome różnią się między sobą funkcjami, zarówno podstawowymi i dodatkowymi, a także parametrami elektrycznymi, w tym przede wszystkim maksymalną mocą sygnału wysyłanego, co w zasadniczy sposób wpływa na wymiary i ciężar stacji oraz czas pracy akumulatora.<sup>26</sup>

<sup>25</sup> Hołubowicz W., Płóciennik P. *GSM – cyfrowy system telefonii komórkowej*. Wydawnictwa EFP, Poznań 1995

<sup>26</sup> tamże

W zależności od maksymalnej mocy nadajnika określono klasy stacji ruchomych zdefiniowanych w standardzie GSM. Dla wersji systemu działającej w paśmie 900 MHz stacje ruchome dzielone są na pięć klas – klasy 1 i 2 o mocy 20W i 8W stanowią terminale przewoźne i przenośne, zaś klasy 3, 4, 5 o mocy 5W, 2W i 0,8W są terminalami przenośne. Z kolei dla wersji 1800 MHz wyróżnia się dwie klasy – klasy 1 i 2 dla maksymalnej mocy nadajnika 1W i 0,25W stanowią terminale przenośne. W systemie GSM-R wykorzystywane są trzy typy radiotelefonów – kabinowy (klasa 2, 8W) oraz ogólnego przeznaczenia i operacyjne – których klasa zależy od typu nadajnika (przenośne – klasa 4, 2 W). Klasy stacji ruchomych w systemach GSM 900 i GSM 1800 i GSM-R<sup>27</sup> zestawiono w Tabeli 4.1.

Tab.4.1. Klasy stacji ruchomych w systemach GSM 900, GSM 1800 i GSM-R

| Klasa | GSM 900       |                       | GSM 1800      |            | GSM-R         |   |
|-------|---------------|-----------------------|---------------|------------|---------------|---|
|       | Moc nadajnika | Typ stacji            | Moc nadajnika | Typ stacji | Moc nadajnika | Typ stacji                                      |
| 1     | 20 W          | przewoźne i przenośne | 1 W           | przenośne  | –             | –   |
| 2     | 8 W           | przewoźne i przenośne | 0,25 W        | przenośne  | 8 W           | kabinowe (przewoźne)                            |
| 3     | 5 W           | przenośne             | –             | –          | –             | –   |
| 4     | 2 W           | przenośne             | –             | –          | 2 W*          | ogólnego przeznaczenia i operacyjne (przenośne) |
| 5     | 0,8 W         | przenośne             | –             | –          | –             | –   |

\* wersje pokładowe radiotelefonów ogólnego przeznaczenia i operacyjne mają moc nadajników 8 W

Źródło: Siporski M.: *Koncepcja wykorzystania systemu GSM publicznego na liniach kolejowych o małym natężeniu ruchu jako alternatywa dla systemu GSM-R.* Wydział Transportu PW. Praca dyplomowa (kierownik pracy prof.nzw.dr hab. inż. M.Siergiejczyk) 2011.

Moc rzeczywista nadajnika jest ustalana w wyniku automatycznego uzgodnienia z odpowiadającą stacją bazową BTS przy założeniu zastosowania najniższej mocy wystarczającej do utrzymania połączenia<sup>28</sup>.

Funkcje realizowane przez stacje ruchome:

- 1) obróbka sygnału nadawanego i odbieranego,
- 2) funkcje pomocnicze związane z transmisją w kanale radiowym, tj. skakanie po częstotliwościach FH, regulacja mocy, pomiary jakości i mocy sygnału odbieranego,
- 3) funkcje interfejsu z użytkownikiem, pozwalające użytkownikowi na komunikowanie się z systemem za pośrednictwem stacji ruchomej,
- 4) funkcje związane z transmisją danych,
- 5) funkcje lokalne.

Realizacja funkcji lokalnych nie wymaga współdziałania sieci. Funkcje te obejmują:

- zbiór funkcji podstawowych, które muszą być realizowane przez każdy terminal, np. wyświetlanie wybranego numeru, wyświetlanie informacji o przebiegu realizowanego połączenia, wyświetlanie informacji o aktualnie rozpoznawanych sieciach GSM, określanie preferencji wyboru operatora;
- zbiór funkcji wprowadzonych przez producenta (nie znajdujących się w standardzie GSM), np. funkcje związane z obsługą krótkich wiadomości tekstowych (sygnalizowanie otrzymania wiadomości, sygnalizowanie przepełnienia pamięci krótkich wiadomości), skrócone wybieranie, możliwość wykonywania połączeń tylko do określonych numerów, powtarzanie ostatniego numeru, blokowanie połączeń wychodzących.

Zbiór funkcji podstawowych pozwala na ujednoczenie i uproszczenie obsługi terminala niezależnie od jego typu i producenta. Funkcje te są niezbędne dla prawidłowego działania karty SIM i muszą się znaleźć w każdej stacji ruchomej.

#### 4.5. Stacje ruchome w systemie GSM-R

W standardzie GSM-R każdy radiotelefon wyposażony jest w widoczny (czerwony) przycisk połączenia alarmowego REC (ang. *Railway Emergency Call*). Wyróżnia się następujące typy stacji ruchomych:

- radiotelefon kabinowy (ang. *cab radio*) – przeznaczony dla maszynisty pociągu i/lub innych systemów pociągowych, np. ERTMS/ETCS, może to być zwykły radiotelefon kabinowy GSM-R lub radiotelefon dwusystemowy (przy dodatkowym wykorzystywaniu systemu analogowego);
- radiotelefon ogólnego przeznaczenia (ang. *general purpose radio*) – przeznaczony dla ogólnego użytku przez personel kolei. Radiotelefon ten zasadniczo nie różni się od radiotelefonów komórkowych dostępnych na rynku;
- radiotelefon operacyjny (ang. *operational radio*) – przeznaczony dla pracowników kolei wykonujących prace manewrowe i prace związane z utrzymaniem szlaków. Radiotelefon ten charakteryzuje się trwałą, wytrzymałą obudową i jest odporny na wstrząsy czy upadki.

Dodatkowo można jeszcze wyróżnić radiotelefon EDOR (ang. *ETCS Data Only Radio*), wykorzystywany przez system aplikacje sterowania pociągiem systemu ETCS oraz radiotelefon manewrowy (ang. *shunting radio*) – będący wersją radiotelefonu operacyjnego dostosowaną do specyficznych wymagań pracy manewrowej

<sup>27</sup> dawniej DCS 1800 (ang. *Digital Cellular System*)

<sup>28</sup> Sutton R. *Bezpieczeństwo telekomunikacji. Praktyka i zarządzanie.* Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, Warszawa 2004

Radiotelefon ogólnego przeznaczenia nie różni się od radiotelefonów komórkowych dostępnych na rynku. Pozostałe radiotelefony produkowane są specjalnie dla potrzeb kolei.

Wszystkie stacje ruchome GSM-R powinny pracować w następujących zakresach częstotliwości:

- GSM Publiczny: 850-915 MHz / 935-960 MHz;
- E-GSM: 880-890 MHz / 925-935 MHz;
- UIC: 876-880 MHz / 921-925 MHz.

Stacje ruchome powinny pracować prawidłowo przy poruszaniu się z prędkością do 500 km/h.

W zależności od typu radiotelefonu różny jest zakres realizowanych usług głosowych, aplikacji danych, usług związanych z realizacją połączeń oraz wymagania EIRENE, które muszą spełniać. W poniższych zestawieniach (Tabele 4.2, 4.3, 4.4 i 4.5) zawarto wymagania zgodne z EIRENE FRS v7.0<sup>29</sup>, uwzględniające polskie wymagania dla GSM-R<sup>30</sup>.

Przyjęto następujące oznaczenia:

- **M** – obligatoryjne dla całej sieci GSM-R na PKP (EIRENE);
- **M\*** – obligatoryjne na wybranych odcinkach sieci GSM-R na PKP (EIRENE);
- **OM\*** – obligatoryjne dla niektórych spółek Grupy PKP (wg potrzeb poszczególnych spółek);
- **O** – opcjonalne;

Tab.4.2. Wykaz realizowanych usług głosowych dla stacji ruchomych GSM-R

|                                       | Radiotelefon kabinowy | Radiotelefon Ogólnego Przeznaczenia | Radiotelefon Operacyjny |
|---------------------------------------|-----------------------|-------------------------------------|-------------------------|
| Połączenia głosowe punkt-punkt        | M                     | M                                   | M                       |
| Publiczne głosowe połączenia alarmowe | M                     | M                                   | M                       |
| Rozgłoszeniowe połączenia głosowe     | M                     | M                                   | M                       |
| Grupowe połączenia głosowe            | M                     | M                                   | M                       |
| Głosowe połączenia konferencyjne      | M                     | OM*                                 | OM*                     |

Źródło: Wybór wymagań na GSM-R dla PKP z EIRENE FRS 7.0 i FRS 6.0. PKP Polskie Linie Kolejowe S.A. Warszawa, lipiec 2009

Tab.4.3. Wykaz realizowanych aplikacji danych przez stacje ruchome GSM-R

|  | Radiotelefon kabinowy | Radiotelefon Ogólnego Przeznaczenia | Radiotelefon Operacyjny |
|--|-----------------------|-------------------------------------|-------------------------|
| Usługi transmisji komunikatów tekstowych | M                     | M                                   | M                       |
| Ogólne aplikacje transmisji danych       | M                     | M                                   | M                       |
| Automatyczny fax                         | OM*                   | OM*                                 | OM*                     |
| Aplikacje sterowania pociągami           | M*                    | M*                                  | M*                      |

Źródło: Wybór wymagań na GSM-R dla PKP z EIRENE FRS 7.0 i FRS 6.0. PKP Polskie Linie Kolejowe S.A. Warszawa, lipiec 2009

<sup>29</sup> UIC Project EIRENE Functional Requirements Specification Version 7. 17 May 2006

<sup>30</sup> Wybór wymagań na GSM-R dla PKP z EIRENE FRS 7.0 i FRS 6.0. PKP Polskie Linie Kolejowe S.A. Warszawa, lipiec 2009



Tab.4.4. Wykaz usług związanych z realizacją połączeń dla stacji ruchomych GSM-R

|   | Radiotelefon kabinowy | Radiotelefon Ogólnego Przeznaczenia | Radiotelefon Operacyjny |
|---|-----------------------|-------------------------------------|-------------------------|
| Wyświetlanie identyfikatora abonenta wywołującego   | M                     | M                                   | M                       |
| Wyświetlanie identyfikatora abonenta wywołwanego    | M                     | M                                   | M                       |
| Ograniczenia w wyświetlaniu identyfikatora abonenta | M                     | M                                   | M                       |
| Zamknięte grupy użytkowników EIRENE                 | M                     | M                                   | M                       |
| Kolejkowanie połączeń:                              |                       |                                     |                         |
| - bezwarunkowe                                      | M                     | OM*                                 | M                       |
| - gdy abonent jest zajęty                           | M                     | OM*                                 | M                       |
| - gdy abonent nie odpowiada                         | M                     | OM*                                 | M                       |
| - gdy abonent jest niedostępny                      | M                     | OM*                                 | M                       |
| Podtrzymywanie połączenia                           | M                     | OM*                                 | M                       |
| Połączenie oczekujące                               | M                     | M                                   | M                       |
| Wyświetlanie informacji o opłacie                   | OM*                   | OM*                                 | OM*                     |
| Połączenia zabronione                               | M                     | OM*                                 | M                       |
| Usługa automatycznej odpowiedzi                     | M                     | OM*                                 | M                       |
| Kontrola połączenia                                 | M                     | OM*                                 | M                       |

Źródło: Wybór wymagań na GSM-R dla PKP z EIRENE FRS 7.0 i FRS 6.0. PKP Polskie Linie Kolejowe S.A. Warszawa, lipiec 2009

Tab.4.5. Wykaz funkcji EIRENE dla stacji ruchomych GSM-R

|   | Radiotelefon kabinowy | Radiotelefon Ogólnego Przeznaczenia | Radiotelefon Operacyjny |
|---|-----------------------|-------------------------------------|-------------------------|
| Adresowanie funkcyjne                               | M                     | M                                   | M                       |
| Adresowanie zależne od lokalizacji                  | M                     | M                                   | M                       |
| Tryb bezpośredni                                    | O                     | -                                   | O                       |
| Tryb manewrowy                                      | M                     | -                                   | M                       |
| Łączność między maszynistami w trakcji wielokrotnej | M                     | -                                   | -                       |
| Kolejowe połączenia alarmowe                        | M                     | M                                   | M                       |

Źródło: Wybór wymagań na GSM-R dla PKP z EIRENE FRS 7.0 i FRS 6.0. PKP Polskie Linie Kolejowe S.A. Warszawa, lipiec 2009

Radiotelefon kabinowy powinien realizować następujące funkcje:

- Funkcje maszynisty związane z połączeniami:
  - wywołanie: (M)
    - dyżurnego ruchu odcinkowego;
    - dyżurnego ruchu pomocniczego;
    - dyspozytora zasilania elektroenergetycznego;
    - wywołanie innych maszynistów w tym samym obszarze; (M)
    - wysyłanie kolejowego wywołania alarmowego REC; (M)
    - potwierdzenie odbioru kolejowego wywołania alarmowego REC; (M)
    - łączność z innymi maszynistami w tym samym pociągu; (M)
    - wywołanie personelu pociągu; (M)
    - wywołanie innych uprawnionych użytkowników; (M)
    - odbiór wywołań głosowych; (M)
    - zakończenie połączenia; (M)
    - odbiór wiadomości tekstowych; (M)
    - wejście/wyjście z trybu manewrowego; (M)
    - wejście/wyjście z trybu bezpośredniego; (O)
    - monitorowanie połączeń do innych abonentów/urządzeń pociągowych; (M)
    - uaktywnianie/kasowanie połączeń do/z radiotelefonu noszonego maszynisty; (OM\*)
- Inne funkcje dla maszynisty:

- włączanie zasilania; (M)
- włącznie/wyłączenie interfejsu MMI; (M)
- wybór języka; (M)
- regulacja poziomu głośności głośnika; (M)
- wybór sieci radiowej; (M)
- wpisywanie i kasowanie numeru pociągu; (M)
- wpisywanie i kasowanie listy uprawnionych abonentów pociągowych; (M)
- wpisywanie i kasowanie numeru taboru; (M)
- przechowywanie/wyszukiwanie numerów kontaktowych i szczegółowych informacji z nimi związanymi; (M)
- wywoływanie usług dodatkowych; (M)
- przeprowadzanie testu urządzenia; (M)
- Inne funkcje radiotelefonu kabinowego:
  - automatyczne zestawianie połączeń przychodzących do właściwych abonentów pociągowych lub urządzeń (konduktor, publiczne systemy adresowe, systemy bazodanowe, itp.); (M)
  - automatyczne zestawianie połączeń wychodzących zainicjowanych przez właściwych abonentów pociągowych lub urządzeń; (M)
  - automatyczne zawieszanie połączeń o niższych priorytetach; (M)
  - wysyłanie do dyżurnego (dyżurnych) ruchu sygnału aktywacji bezpiecznego urządzenia maszynisty; (M)
  - wysyłanie kolejowego wywołania alarmowego REC do rejestratora pokładowego; (M)
  - przeprowadzanie okresowej diagnostyki. (M)

#### 4.6. Podstawowe parametry transmisji radiowej systemu GSM

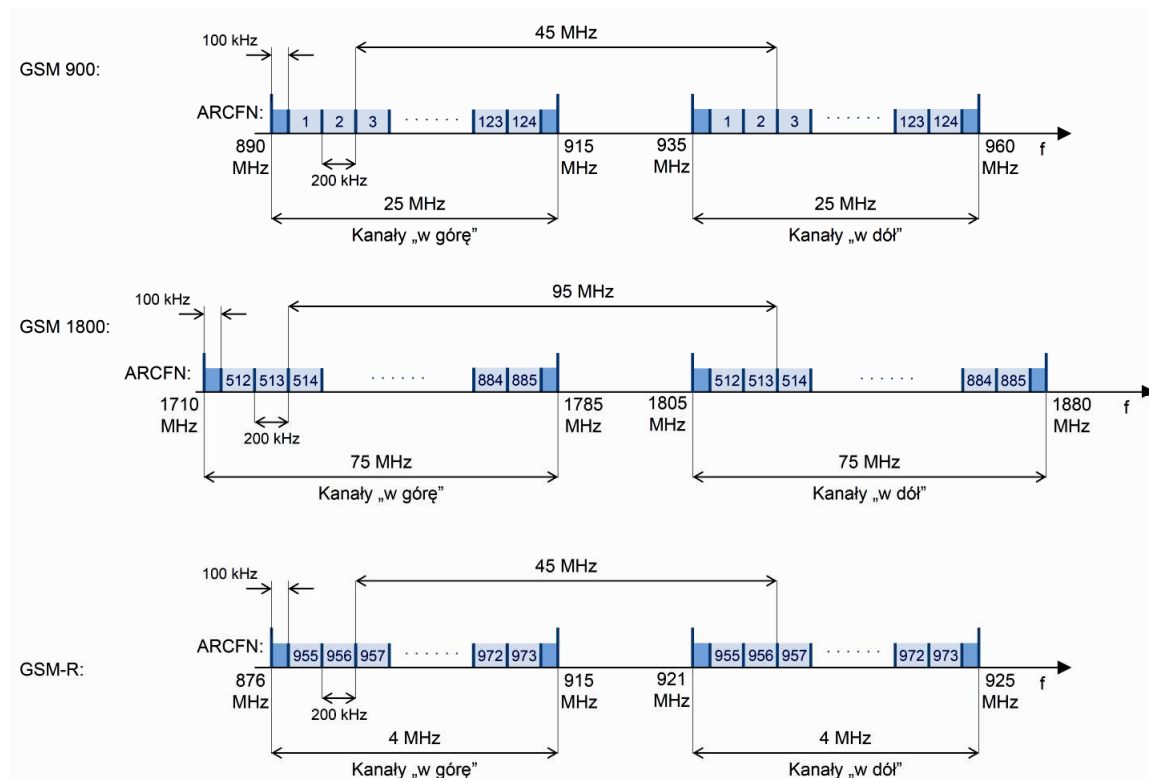
W sieciach GSM i GSM-R do transmisji sygnałów stosowane są dwa typy kanałów radiowych:

- kanał „w górę” (ang. *uplink*), przez który przesyłany jest sygnał od stacji ruchomej do stacji bazowej,
- kanał „w dół” (ang. *downlink*), przez który przesyłany jest sygnał od stacji bazowej do stacji ruchomej.

Podstawowe standardy GSM realizowane są w pasmach częstotliwości 900 MHz i 1800 MHz. Pasma dla systemu GSM-R jest wydzielone nieco poniżej pasma 900 MHz.

Wykorzystywane są następujące zakresy częstotliwości (rys.4.8):

- GSM 900: 890-915 MHz / 935-960 MHz;
- GSM 1800: 1710-1785 MHz / 1805-1880 MHz;
- GSM-R: 876-880 MHz / 921- 925 MHz



Rys. 4.8. Pasma częstotliwości wykorzystywane w systemach GSM 900, GSM 1800 i GSM-R

Źródło: Wybór wymagań na GSM-R dla PKP z EIRENE FRS 7.0 i FRS 6.0. PKP Polskie Linie Kolejowe S.A. Warszawa, lipiec 2009

Oddzielenie pasma kanałów „w górę” i „w dół” pozwala znacznie ograniczyć zjawisko interferencji międzykanałowej i tym samym osiągnąć stosunkowo niski poziom zakłóceń.

Każde z pasm częstotliwości jest podzielone na kanały o szerokości 200 kHz, z numerami częstotliwości kanału radiowego ARFCN (ang. *Absolute Frequency Channel Number*):

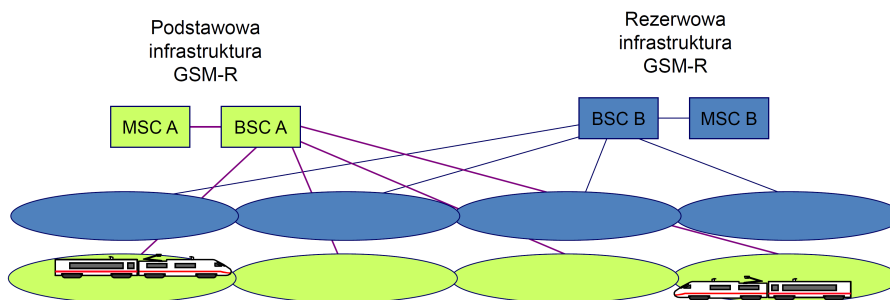
- od 1 do 124 w systemie GSM 900;
- od 512 do 855 w systemie GSM 1800;
- od 955 do 973 w systemie GSM-R.

Dodatkowo na krańcach obu pasm wyznaczono ochronne przedziały częstotliwościowe o szerokości 100 kHz, które służą ograniczeniu poziomu interferencji w sąsiednich pasmach radiowych. Podczas zestawiania połączenia kanały rozmówne dobierane są tak, aby kanał „w dół” był odległy od kanału „w górę” o 45 MHz (lub 75 MHz dla systemu GSM 1800). Połączenie realizowane jest metodą duplexową z podziałem częstotliwości FDD (ang. *Frequency Division Duplex*). Każdy z kanałów podzielony jest na osiem szczelin czasowych. Została więc zastosowana metoda wielodostępu z podziałem czasowym TDMA (ang. *Time Division Multiple Access*) i z podziałem częstotliwości FDMA (ang. *Frequency Division Multiple Access*). W celu uniknięcia sprzężenia pomiędzy sygnałem nadawanym i odbieranym, dla każdego z tych sygnałów przydzielono szczeliny czasowe przesunięte o czas trwania tych szczelin. Nadawanie i odbieranie sygnałów nie odbywa się więc jednocześnie. Przesunięcie o 1,5 ms jest nieodczuwalne dla użytkownika, natomiast w znaczny sposób poprawia jakość połączenia.

Standard GSM 1800 pojawił się jako odpowiedź na potrzebę obsługi większego ruchu. Zastosowano tu komórki o mniejszych obszarach, ale o większej pojemności. Inny przydział kanałów częstotliwości oraz zastosowanie mniejszych komórek (tj. ograniczenie mocy stacji ruchomych i stacji bazowych) w stosunku do systemu GSM 900, to jedyne różnice pomiędzy systemami GSM 1800 i GSM 900. Pozostałe aspekty techniczne, wchodzące w zakres standardu GSM, są dla obu systemów takie same.

Z punktu widzenia wielkości komórek system GSM 900 zalicza się do klasycznych systemów komórkowych naziemnych – maksymalna wielkość komórki wynosi ok. 35 km. System GSM 1800 jest zaś określany jako system telefonii bezprzewodowej z pikokomórkami o rozmiarach do kilkuset metrów lub mikrokomórkami o rozmiarach do 3 km.

System GSM-R z technologicznego punktu widzenia jest systemem GSM 900 stworzonym dla potrzeb prowadzenia ruchu kolejowego, a zatem posiadającym szczególne wymagania w dostępności sieci. Zastosowano tu stacje bazowe dwusektorowe dla zapewnienia pokrycia sieci wzdłuż linii kolejowych. Zasięg użyteczny stacji bazowej w zależności od lokalizacji wynosi od ok. 2,5 km (teren miejski) do ok. 9,5 km (teren otwarty). System pracuje redundantnie, z tzw. podwójnym pokryciem – wykorzystanie rezerwowej centrali MSC oraz „nakładających się” pozwala zapewnić natężenie pola co najmniej na poziomie -95 dBm z prawdopodobieństwem 95%<sup>31</sup> nawet w sytuacji, gdy połowa stacji bazowych z podstawowej infrastruktury jest nieczynna (rys.4.9).



Rys. 4.9. Wykorzystanie podwójnego pokrycia i rezerwowej infrastruktury w sieci GSM-R

Źródło: Opracowano na podstawie: Mandoc D. *GSM-R railway communication system*. UIC ERTMS Training Programme. Paris, 23-25 June 2010

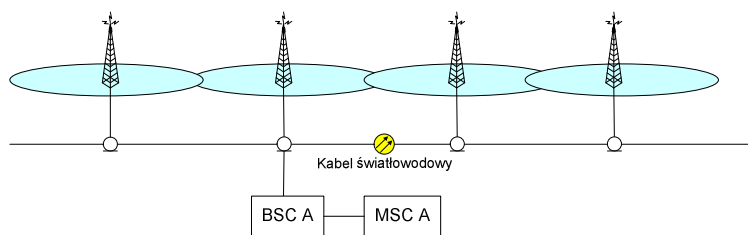
W systemach GSM każdy z kanałów radiowych podzielony jest na osiem szczelin czasowych. W każdej z tych szczelin może być zestawiony osobny kanał rozmówny. Osiem szczelin czasowych zawartych w jednym kanale stanowi ramkę czasową, która ma długość 4 ms. Ramkę tworzy osiem pakietów o długości 0,5 ms każdy. Pojedynczy pakiet zawiera zakodowaną informację, która odpowiada 32 kolejnym próbkom sygnału mowy. Próbkowanie przebiega z częstotliwością 8000 razy na sekundę. W trakcie jednej sekundy przesyłany jest w 250 pakietach zakodowany cyfrowo dźwięk. Długość pakietu wynosi 148 bitów – 26 bitów sekwencji treningowej, 8 bitów dodatkowych i 114 bitów, w których przenoszony jest zakodowany cyfrowo sygnał mowy. Przesyłanie stałych porcji 34 bitów ma z góry ustalony cel – na jej podstawie odbiornik potrafi przefiltrować szereg zakłóceń i zniekształceń występujących w transmisji radiowej. Zakłócenia zazwyczaj związane są z istnieniem propagacji wielodrogowej, z przesunięciem częstotliwości wynikającej z ruchu terminala, z zanikiem mocy sygnału odbieranego, przesunięciem fazowym fali nośnej i wielu innych niepożądanych zjawisk. Na podstawie sekwencji treningowej terminal abonenta określa w czasie rzeczywistym aktualne właściwości kanału radiowego dla każdego pakietu z osobna. Jest to zatem mechanizm periodyczny powtarzany ciągle podczas trwania połączenia. Mechanizm ten polega na estymacji własności kanału radiowego i korekcie adaptacyjnej dostosowującej parametry odbiornika do aktualnych własności kanału.

<sup>31</sup> oznacza to, że dla wszystkich odcinków o długości 100 m w 95% przypadkach średni mierzony poziom natężenia pola na danym odcinku stumetrowym powinien być większy od -95 dBm w co najmniej 95% odcinka czasu

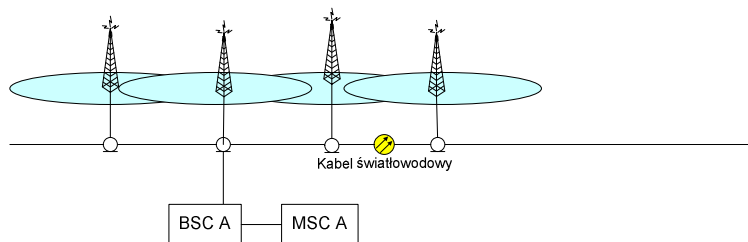
W sieciach komórkowych stosuje się różnej wielkości komórki w zależności od zaludnienia terenu. Na terenie mało zaludnionym stosuje się komórki o dużej wielkości, natomiast teren miejski pokrywa się małymi komórkami. Aby możliwa była praca stacji ruchomej w danej komórce, niezbędne jest dostosowanie mocy sygnału stacji ruchomej do mocy sygnału nadawanego przez stacje bazowe. Terminal abonenta, chcąc dostosować się do mocy sygnału nadawanego ze stacji bazowej, odczytuje dopuszczalny poziom mocy stacji bazowej. Stacja bazowa również odczytuje poziom mocy sygnałów nadawanych przez stacje ruchome pracujące na jej obszarze. Na podstawie takich odczytów stacja bazowa wysyła polecenia zmniejszenia lub zwiększenia poziomu mocy do terminali ruchomych, aby zmniejszyć różnice docierających do niej sygnałów z terminali znajdujących się w różnych odległościach. Dzięki zastosowaniu takich mechanizmów wielu użytkowników korzystających jednocześnie z kanałów w jednej komórce nie zakłóca się wzajemnie. Poziom sygnału nadawanego ze stacji ruchomej do stacji bazowej może być regulowany w przedziale od 20-30 dB co 2 dB.

Przy wdrażaniu systemu ERTMS/ETCS poziom 2, stosuje się często nakładające się rozkłady komórek (rys. 4.10b). Wynika to przede wszystkim z faktu zwiększenia niezawodności łączy GSM-R (awaria jednej stacji bazowej nie powoduje np. „dziury” propagacyjnej). Zastosowanie podwójnych komórek z redundancją sprzętową (rys. 4.10c.), czy nakładających się komórek z redundancją sprzętową (rys. 4.10d.) spowoduje oczywiście wzrost kosztów wdrożenia sieci GSM-R dla danej linii w stosunku do przyjętych założeń. Na rys. 4.10 przedstawiono różnice w pokryciu radiowym dla normalnego rozstawu komórek i rozkładu komórek nakładających się.

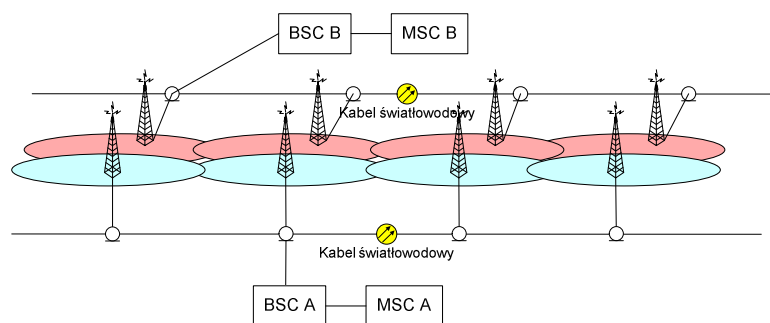
a) rozstaw normalny komórek



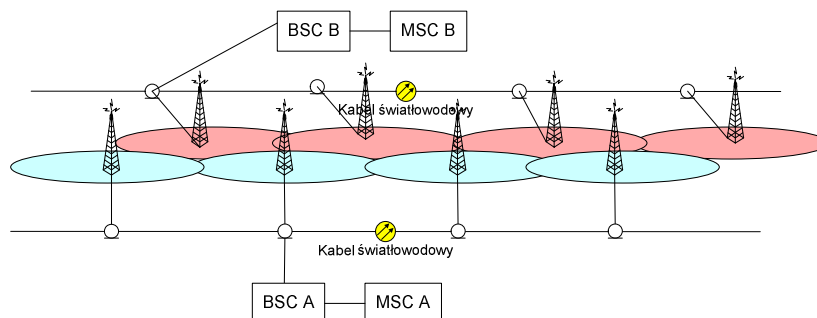
b) komórki nakładające się



c) podwójne komórki z redundancją sprzętową



d) komórki nakładające się z redundancją sprzętową



Rys. 4.10. Przykłady zastosowania komórek GSM-R na linii kolejowej

#### 4.7. Usługi i funkcje realizowane przez system GSM-R

System GSM-R oparty jest na fazie 2 publicznego standardu GSM, realizując wszystkie usługi podstawowe oraz usługi dodatkowe, uzupełnione standardem GSM fazy 2+ (głosowa usługa rozsiewcza, wywołania grupowe, GPRS, priorytety wywołań). Pozwoliło to na wprowadzenie następujących funkcji:

- Komunikacja rozsiewcza VBS (ang. *Voice Broadcast Service*) – polega na nadawaniu informacji głosowej do wskazanej, zdefiniowanej wcześniej grupie odbiorców, bez możliwości zwrotnego głosowego potwierdzenia otrzymanej informacji. Stacje ruchome potwierdzają krótkim komunikatem odbiór informacji, dzięki czemu można kontrolować kto daną informację odebrał. Adresatami komunikatów mogą być grupy odbiorców identyfikowane przez listę adresową na karcie SIM nadawcy, osoby pełniące funkcje specjalistyczne (np. grupy manewrowe) bądź wszyscy użytkownicy znajdujący się na obszarze pokrycia konkretnej stacji bazowej. Adresy grupowe można zmieniać automatycznie w określonych godzinach lub modyfikować je ręcznie w sytuacjach alarmowych;
- Komunikacja grupowa VGCS (ang. *Voice Group Call Service*) – umożliwia jednoczesne i wzajemne komunikowanie się z góry zdefiniowanej grupy użytkowników (karta SIM), przy czym każdy uczestnik może aktywować lub dezaktywować swój udział w tego typu połączeniu. Nadzór nad formowaniem się grupy, wybór aktywnych uczestników spotkania oraz czuwanie nad przebiegiem całej usługi należą do inicjatora spotkania bądź dyspozytora. O zakończeniu telekonferencji decyduje inicjator, dyspozytor systemu bądź określony upływ czasu aktywności połączenia, zdefiniowany wcześniej na karcie SIM;
- Połączenia o wysokim priorytecie eMLPP (ang. *enhanced Multi-Level Precedence and Pre-emption*) – usługa polega na przyznaniu pierwszeństwa niektórym użytkownikom sieci w realizacji połączeń i ma zastosowanie w sytuacjach awaryjnych. Użytkownik z pierwszeństwem spowoduje rozłączenie rozmowy użytkowników o niższej kategorii priorytetowej. Odbiór połączenia przez użytkownika z niższym priorytetem odbywa się automatycznie<sup>32</sup>. Czas zestawiania połączenia priorytetowego powinien być krótki (do 1 sekundy, włącznie z przerwaniem istniejącego połączenia);
- Adresowanie funkcyjne FA (ang. *Functional Addressing*) – polega na powiązaniu pracowników kolejowych adresami związanymi ze sprawowanymi funkcjami. Umożliwia to uzyskanie łączności z użytkownikiem za pomocą numeru identyfikującego odpowiednią funkcję, a nie fizyczny terminal. Dzięki tej funkcji można przykładowo łączyć się z maszynistą pociągu nie tylko poprzez jego indywidualny adres, ale także podając numer pociągu lub jego lokomotywy. Przepisywaniem odpowiednich adresów pełnionym funkcjom zajmuje się rejonowa stacja prowadząca lub dyspozytor, który może je zmieniać, kasować lub przyporządkować je innemu terminalowi;
- Adresowanie zależne od lokalizacji LDA (ang. *Location Dependent Addressing*) – zapewnia komunikację do pracownika pełniącego określoną funkcję w zależności od lokalizacji pociągu i obszaru przywoławczego związanego z daną funkcją. Zastosowanie tego typu adresowania pozwala np. na połączenie się maszynisty pociągu z dyżurnym ruchu po naciśnięciu jednego przycisku. Zasadniczo położenie określane jest na podstawie identyfikatora komórki, w której pociąg się aktualnie znajduje. Ze względu jednak na różne wielkości komórek, dla podwyższenia stopnia dokładności informacji o położeniu, można wykorzystać inne źródła, jak pokładowe systemy lokalizacyjne, balisy przytorowe lub informacje z systemów opartych na infrastrukturze stałej;
- Transmisja pakietowa GPRS (ang. *General Packet Radio Service*) – stosowana głównie przy transmisji tor-pojazd (ETCS);
- Kolejowe połączenie alarmowe eREC (ang. *enhanced Railway Emergency Call*) - połączenia alarmowe informują maszynistów, dyżurnych ruchu oraz inny wymagany personel o niebezpieczeństwach wymagających ewentualnego wstrzymania ruchu na zadanym obszarze lub podjęcia innych działań. Zdefiniowane są dwa typy kolejowych połączeń alarmowych: połączenia alarmowe dla pociągów (niezwiązane z operacjami manewrowymi) i połączenia alarmowe związane z operacjami manewrowymi. Typ inicjowanego połączenia ustalany jest automatycznie na podstawie trybu pracy terminala inicjującego. Połączenie alarmowe dla pociągów musi zostać przekazane do wszystkich maszynistów i dyżurnych ruchu pozostających w zdefiniowanym obszarze operacyjnym;
- Tryb manewrowy (ang. *shunting mode*) – zapewnia komunikację pomiędzy personelem zaangażowanym w operacje manewrowe;
- Tryb bezpośredni (ang. *direct mode*) – wspierany jest przez terminale ruchome i odnosi się do sytuacji kiedy komunikują się one ze sobą bez pośrednictwa sieci GSM-R. Jest to funkcja przewidziana dla sytuacji takich jak awaria sieci lub brak zasięgu sieci GSM-R. Użytkownik może aktywować ten tryb tylko wtedy, kiedy stacja ruchoma „stwierdzi”, że żadna usługa GSM-R nie jest dostępna. W systemie GSM-R jest to funkcja opcjonalna.

#### 5. PODSUMOWANIE

Niezależnie od wymagań europejskich w celu zapewnienia efektywnego wykorzystywania systemu KDP dla poprawy pasażerskiego transportu kolejowego w Polsce, konieczne jest narzucenie KDP szeregu wymagań niezbędnych dla zapewnienia interoperacyjności, czyli zgodności z rozwiązaniami krajowymi, dzięki którym KDP będą stanowić integralną część systemu kolejowego w Polsce.

Jednymi z ważniejszych zagadnień są kwestie związane z systemami sterowania ruchem kolejowym. Linii KDP pomiędzy węzłami nie należy wyposażać ani w system SHP ani w radio 150 MHz i RADIOSTOP, gdyż są to systemy przestarzałe, od których kolej odchodzi. Jednakże konieczne jest wyposażenie pociągów KDP w urządzenia SHP i funkcje

<sup>32</sup> Markowski R. *Założenia i ogólny opis systemu GSM-R*. Konferencja naukowo-techniczna „Europejski System Sterowania Pociągami (ETCS/ERTMS)”, Poznań, 28-29 października 1999

RADIOSTOP dla zagwarantowania samoczynnego hamowania pociągów KDP w sytuacjach awaryjnych na liniach konwencjonalnych i podczas przejazdu przez węzły kolejowe. Systemy te mogą być dostępne jako autonomiczne, ale ich funkcje mogą także być realizowane przez moduł SHP STM systemu ETCS. Pociągi KDP będą musiały zostać wyposażone w radio 150 MHz jeśli będzie ono nadal wykorzystywane w choćby jednym węźle lub na choćby jednej linii kolejowej, po których pociągi te będą miały się poruszać. W takiej sytuacji urządzenia przytorowe będą musiały gwarantować równoległe generowanie sygnału RADIOSTOP i sygnału alarmowego GSM-R we wszystkich sytuacjach awaryjnych zgodnie z zapisami Narodowego Planu Wdrażania ERTMS w Polsce. Uwzględniając zapisy wymienionego powyżej dokumentu zakładać należy zabudowę urządzeń ETCS poziomu 2. Uwzględniając praktykę stosowaną przy modernizacji istniejących linii kolejowych oraz nowoczesne metody prowadzenia ruchu kolejowego zakładać należy zabudowę Lokalnych Centrów Sterowania LCS obejmujących między innymi urządzenia łączności przewodowej i bezprzewodowej, urządzenia sterowania ruchem kolejowym, urządzenia wykrywania stanów awaryjnych w taborze, urządzenia zasilania. Konieczna będzie także centralizacja zarządzania eksploatacyjnego w skali KDP w Polsce poprzez uruchomienie Centrum Zarządzania Ruchem KDP.

Realizacja Programu KDP będzie także wymagała zaangażowania w ten proces ośrodków naukowo-badawczych. Rola tych środowisk będzie między innymi polegała na prowadzeniu prac i badań naukowych z obszaru implementacji systemu ERTMS/GSM-R i ETCS. Do ważniejszych problemów wymagających prowadzenia prac i badań w zakresie sterowania ruchem i technologii teleinformatycznych dla kolei dużych prędkości można zaliczyć:

- Badanie powiązania funkcjonalno – logicznego
- Analiza potoków komunikacji (wymiany danych) w systemie
- Badanie skalowalności cech funkcjonalnych
- Optymalizacja i wybór lokalizacji stacji bazowych ERTMS/GSM-R
- Metody i procedury badania rozkładu sygnału GSM-R dla wybranych obiektów (linie kolejowe, stacje kolejowe)
- Analiza i ocena środowiskowych warunków pracy systemu GSM-R
- Opracowanie metod zapewnienia warunków EMC
- Modelowanie, badania i ocena RAMS- Reliability; Availability; Maintainability and Safety
- Badania i modelowanie wydajności systemu
- Metody i procedury w zakresie skalowalności technicznej
- Opracowanie interfejsów do innych systemów
- Zagadnienia związane z oceną bezpieczeństwa obsługi, bezpieczeństwa transmisji danych, bezpieczeństwa przetwarzania danych
- Diagnostyka systemu ERTMS/GSM-R
- Analiza i ocena środowiskowych aspektów wdrażania GSM-R
- Modelowanie wpływu ETCS na przepustowości linii kolejowych
- Modelowanie czasu blokowania dla ETCS
- Metody osiągania wymaganej przepustowości
- Opracowanie interfejsów pomiędzy systemem ETCS a systemami stacyjnymi
- Opracowanie trybu dopuszczenia do eksploatacji urządzeń srk systemu ERTMS w Polsce

## 6. BIBLIOGRAFIA

- [1] Białoń A. Masterplan wdrażania ERTMS w perspektywie krajowej i wspólnotowej. Transport i Komunikacja 2010, nr 2.
- [2] Białoń A., Gradowski P., Pawlik M.: "Koncepcja wdrożenia interoperacyjności w zakresie sterowania ruchem kolejowym (ERTMS) na PKP - Etap I". Temat nr 4035/10. Warszawa, 2003.
- [3] Białoń, P. Gradowski, M. Pawlik, i inni „Koncepcja wdrożenia interoperacyjności w zakresie sterowania ruchem kolejowym (ERTMS) na PKP - Etap I”. Temat CNTK nr 4035/10. Warszawa, 2003.
- [4] Dąbrowa-Bajon M.: Podstawy Sterowania Ruchem Kolejowym, OWPW, Warszawa 2005.
- [5] Decyzja 2001/260/EC z 21 marca 2001 r. „O podstawowych parametrach systemu sterowania” zawierająca specyfikacje ERTMS/ETCS i ERTMS/GSM-R.
- [6] Decyzja 2002/731/EC z 30 maja 2002 r. „O Technicznej Specyfikacji dla interoperacyjności w zakresie podsystemu sterowanie transeuropejskiego systemu kolei dużych prędkości” (TSI HS CC).
- [7] Decyzja 2004/447/EC z 29 kwietnia 2004 r. „O charakterystyce podsystemu sterowanie”
- [8] Decyzja 2006/679/EC z 28 marca 2006 r. „Dotycząca specyfikacji technicznej interoperacyjności podsystemu „Sterowanie” transeuropejskiego systemu kolei konwencjonalnych”
- [9] Decyzja 2006/860/EC z 7 listopada 2006 r. „Dotycząca specyfikacji technicznej interoperacyjności podsystemu „Sterowanie” transeuropejskiego systemu kolei konwencjonalnych”
- [10] Decyzja 2007/153/EC z dnia 6 marca 2007 r. zmieniająca załącznik A do decyzji 2006/679/EC dotyczącej technicznej specyfikacji dla interoperacyjności odnoszącej się do podsystemu sterowania ruchem kolejowym transeuropejskiego systemu kolei konwencjonalnych oraz załącznik A do decyzji 2006/860/EC dotyczącej

specyfikacji technicznej interoperacyjności podsystemu Sterowanie transeuropejskiego systemu kolei dużych prędkości”

- [11] Decyzja Komisji Europejskiej 2006/679/WE z dnia 28 marca 2006 r. dotycząca technicznej specyfikacji dla interoperacyjności odnoszącej się do podsystemu sterowania ruchem kolejowym transeuropejskiego systemu kolei konwencjonalnych
- [12] Decyzja Komisji Europejskiej 2007/153/WE z dnia 6 marca 2007 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
- [13] Decyzja Komisji Europejskiej 2008/386/WE 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
- [14] Decyzja Komisji Europejskiej 2009/561/WE z dnia 22 lipca 2009 r. zmieniająca decyzję 2006/679/WE w odniesieniu do wdrażania technicznej specyfikacji dla interoperacyjności odnoszącej się do podsystemu sterowania ruchem kolejowym transeuropejskiego systemu kolei konwencjonalnych
- [15] Decyzja Komisji Europejskiej 2010/79/WE z dnia 19 października 2009 r. zmieniająca decyzje 2006/679/WE oraz 2006/860/WE w zakresie technicznych specyfikacji interoperacyjności dotyczących podsystemów transeuropejskich systemów kolei konwencjonalnych i kolei dużych prędkości
- [16] Dyduch J. TSI w procesie wdrażania ERTMS w krajach Europy Środkowo-Wschodniej. *Transport i Komunikacja* 2010, nr 2
- [17] Dyduch J., Kornaszewski M.: *Systemy Sterowania Ruchem Kolejowym*, Politechnika Radomska, Radom 2003.
- [18] Dyduch J., Pawlik M. *Systemy Automatycznej Kontroli Jazdy Pociągu*. Wydawnictwo Politechniki Radomskiej, Radom 2002.
- [19] Dyrektywa 96/48/EC z 23 lipca 1996 r. „O interoperacyjności transeuropejskiego systemu kolei dużych prędkości”,
- [20] Gruszka K. *Techniczna koncepcja zabudowy systemu ETCS (założenia ogólne)*. Nowoczesne Technologie i systemy zarządzania w kolejnictwie, Wydawnictwo PiT, Kraków 2009
- [21] Kabaciński W., Żal M. *Sieci telekomunikacyjne*. Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, Warszawa 2008
- [22] Kaczor L.: *Dokumentacja Techniczno-Ruchowa, Komputerowy system urządzeń srk, Ebilock 950, Adtranz Zwus, Katowice* 1999.
- [23] Kisilowski J.: *Science for High Speed Rail Transport in Poland*. Seminar High Speed Rail Transport - a chance for Poland and Central Europe. Workshop UIC, Warsaw, 16 November 2011.
- [24] Lewiński A., Siergiejczyk M. i inni: *Opracowanie, uruchomienie i weryfikacja programu komputerowego obliczania wskaźników niezawodności stacyjnych mikroprocesorowych urządzeń srk*. Praca naukowo-badawcza na zlecenie CNTK. Maszynopis. Radom 1998.
- [25] Mandoc D. *GSM-R in 2009 – international operations take off*. *European Railway Review* 2010, nr 1
- [26] Markowski R.: *Aspekty łączności GSM-R w systemie ERTMS/ETCS2 – cz. I. Infrastruktura Transportu* 2010, nr 3.
- [27] Markowski R.: *Aspekty łączności GSM-R w systemie ERTMS/ETCS2 – cz. II. Infrastruktura Transportu* 2010, nr 3.
- [28] Markowski R., Bałkowiec P. *System ERTMS/GSM-R w Europie – wybrane aspekty wdrażania*. *Przegląd telekomunikacyjny* 2009, nr 8-9
- [29] Pawlik M. *Polski Narodowy Plan Wdrażania Europejskiego Systemu Zarządzania Ruchem Kolejowym ERTMS*. *Technika Transportu Szynowego* 2007, nr 1
- [30] Pawlik M. *Wprowadzenie do ERTMS – europejskiego systemu zarządzania ruchem kolejowym*. *Transport i Komunikacja* 2010, nr 2
- [31] PN-EN 50126:2002 (U) + AC:2006 (U). *Zastosowania kolejowe - Specyfikowanie i wykazywanie Nieuszkodzalności, Gotowości, Obsługiwalności i Bezpieczeństwa (RAMS)*.
- [32] PN-EN 50129:2007. *Zastosowania kolejowe: Systemy łączności, przetwarzania danych i sterowania ruchem - Elektroniczne systemy sterowania ruchem związane z bezpieczeństwem*.
- [33] PN-EN 50129:2007: *Zastosowania kolejowe: Systemy łączności, przetwarzania danych i sterowania ruchem - Elektroniczne systemy sterowania ruchem związane z bezpieczeństwem*.
- [34] Pryc A., Wierchuła I.: *Dokumentacja Techniczno-Ruchowa, Komputerowy system urządzeń srk EBI Lock 850, ABB Zwus Signal, Katowice* 1994.
- [35] Przelaskowski K.: *Eksplatacja systemu GSM-R w kolejnictwie europejskim*, *Przegląd Telekomunikacyjny* Nr 2-3, 2003
- [36] Siergiejczyk M. i in: *Badania niezawodności mikroprocesorowych urządzeń nastawczych*. Praca naukowo-badawcza CNTK JBR. Kierownik pracy dr inż. M. Siergiejczyk. Wyd. CNTK JBR 8 egz. Warszawa 1998.
- [37] Siergiejczyk M., Lewiński A.: *Zagadnienia oceny bezpieczeństwa i niezawodności mikroprocesorowych systemów sterowania ruchem kolejowym*. VII Konferencja Naukowa „Bezpieczeństwo Systemów' 98”. *Informator ITWL* nr 347/98, Warszawa 1998.
- [38] Siergiejczyk M.: *Koncepcja mobilnego dostępu do sieci Internet w pociągach z wykorzystaniem cyfrowej sieci komórkowej GSM-R*. *Zeszyty Naukowe Akademii Marynarki Wojennej*. ISSN 0860-889X. Nr 177B. Gdynia 2009.

- [39] Siporski M.: Koncepcja wykorzystania systemu GSM publicznego na liniach kolejowych o małym natężeniu ruchu jako alternatywa dla systemu GSM-R.. Wydział Transportu PW. Praca dyplomowa (kierownik pracy prof.nzw.dr hab. inż. M.Siergiejczyk) 2011.
- [40] Stępniewicz H., Kotowski Z. ERTMS – założenia funkcjonalne i techniczne. Ideał interoperacyjności. Rynek Kolejowy 2010, nr 3.
- [41] Urbanek A. Komunikacja kolejowa GSM-R. Networld 2005, nr 1.
- [42] Wiechuła I.: Dokumentacja Techniczno-Ruchowa, Komputerowy System Urządzeń Stacyjnych srk EBI Lock 950 wersja 4, Bombardier Transportation (ZWUS), Katowice 2007
- [43] Winter P. Compendium on ERTMS. Eurailpress, Hamburg 2009.
- [44] Winter P.: Global perspectives for ERTMS, ETCS and GSM-R UIC, Editions Techniques Ferroviaires, Paris 2007.
- [45] Włodkowska J. Nowe Standardy na polskich torach. Wdrożenie w Polsce zunifikowanego rozwiązania w zakresie bezpiecznej kontroli jazdy. Infrator 2009, nr 8.
- [46] Włodkowska J. Pierwsze wdrożenia systemu ERTMS/ETCS w Polsce. Transport i Komunikacja 2010, nr 2.
- [47] Wybór wymagań na GSM-R dla PKP z EIRENE FRS 7.0 i FRS 6.0. PKP Polskie Linie Kolejowe S.A. Warszawa, lipiec 2009.
- [48] UIC Project EIRENE Functional Requirements Specification Version 7. 17 May 2006.