

Mirosław Siergiejczyk<sup>1</sup>, Stanisław Gago<sup>2</sup>

Wydział Transportu Politechniki Warszawskiej, Zakład Telekomunikacji w Transporcie,  
Instytut Kolejnictwa

## Zagadnienia bezpieczeństwa systemu GSMR w aspekcie wspomaganie transportu kolejowego

### 1. WSTĘP

Sieci GSMR są już wykorzystywane na całym świecie, również w krajach europejskich. W najbliższej przyszłości GSMR ma być budowany również w Polsce. Łączność obecnie stosowana na polskiej kolei, pracująca w paśmie 150 MHz, została wyeksploatowana, przez co nie spełnia dzisiejszych wymagań technicznych, norm i standardów oraz nie posiada wymaganej funkcjonalności. Założenia Międzynarodowego Związku Kolei UIC (*franc. Union Internationale des Chemins de fer*) miały na uwadze głównie ujednoczenie europejskich systemów łączności kolejowej poprzez wprowadzenia projektu EIRENE (*European Integrated Railway radio Enhanced Network*) [3]. Implementacja GSMR ma wymierne korzyści finansowe dla segmentu kolejowego. Znacznie poprawia się przepustowość linii kolejowych, do minimum ograniczony jest czas przekraczania granic państwowych. Tym samym zwiększa się poziom świadczonych usług (na przykład poprzez wprowadzenie monitoringu przesyłek). GSMR 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. GSMR ma za zadanie wspomagać systemy wprowadzane w Europie: ERTMS (*European Rail Traffic Management System*) tj. Europejski System Zarządzania Ruchem Kolejowym oraz ETCS (*European Train Control System*), czyli Europejski System Kontroli Pociągu, który ma za zadanie w ciągły sposób zbierać i przysyłać dane dotyczące pojazdu szynowego takie jak prędkość czy położenie geograficzne. System GSMR jest medium transmisyjnym dla ETCS, pośredniczy przy przekazywaniu informacji maszyniście i innym służbom kolejowym [1]. Wdrażając wyżej wymienione systemy istotnie poprawia się bezpieczeństwo ruchu kolejowego, możliwa jest diagnostyka pojazdu w czasie rzeczywistym oraz możliwe jest wprowadzenie monitoringu przesyłek i wagonów. Ponadto poprzez precyzyjne określenie odległości między pociągami można znacznie zwiększyć przepustowość na poszczególnych liniach [7], [8].

### 2. CHARAKTERYSTYKA KOLEJOWEGO SYSTEMU CYFROWEJ TELEFONII KOMÓRKOWEJ GSMR

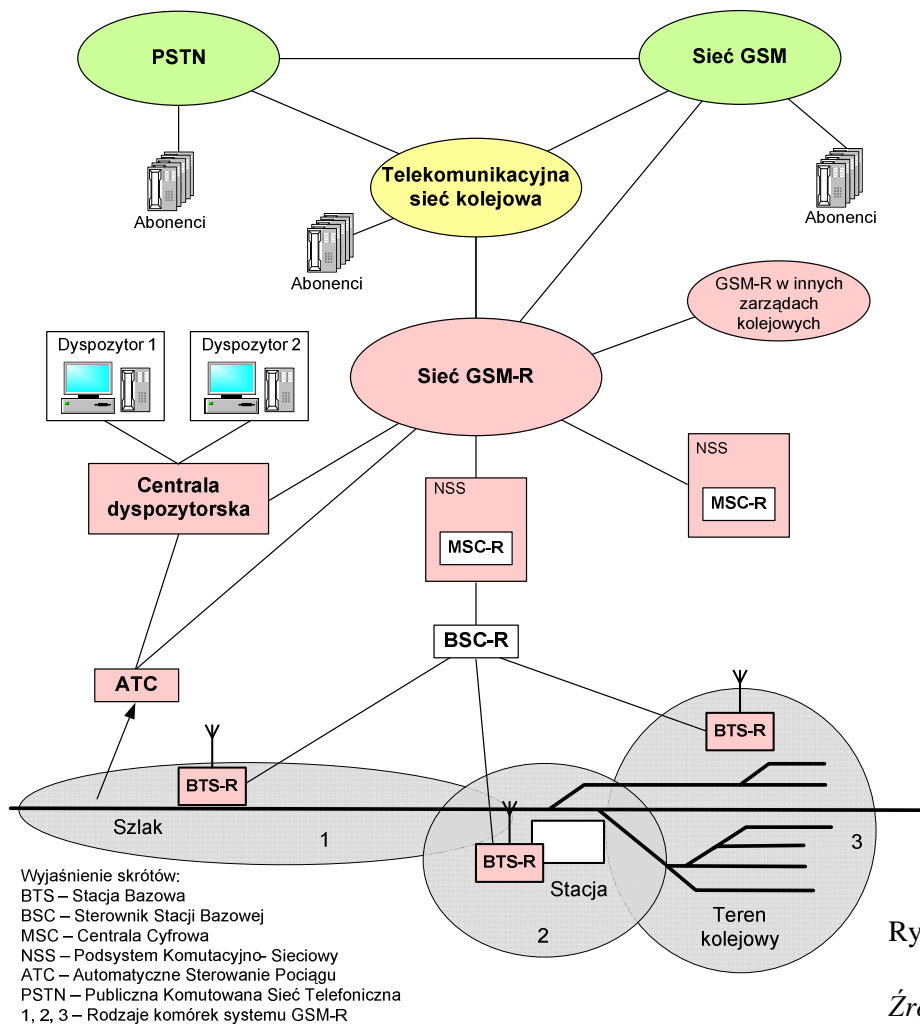
#### Architektura systemu GSMR

GSMR jest to system cyfrowej telefonii komórkowej wykorzystywany na potrzeby transportu kolejowego. Zapewnia cyfrową łączność głosową oraz cyfrową transmisję danych. Rozmieszczenie stacji bazowych w systemach GSMR 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. Można 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

<sup>1</sup> msi@it.pw.edu.pl

<sup>2</sup> s.gago@wp.pl

obsługuje wszystkie rodzaje radiotelefonów. Wielkość komórek i ich kształt można zmieniać poprzez regulację poziomu mocy oraz stosowanie anten dookólnych, szerokokątnych bądź liniowych. System GSMR ma zastosowanie służbowe, więc nie przewidziano w nim pokrycia radiowego terenów innych niż tereny kolejowe.



Rys. 1. Ilustracja organizacji sieci GSMR w transporcie kolejowym

Źródło: opracowanie własne.

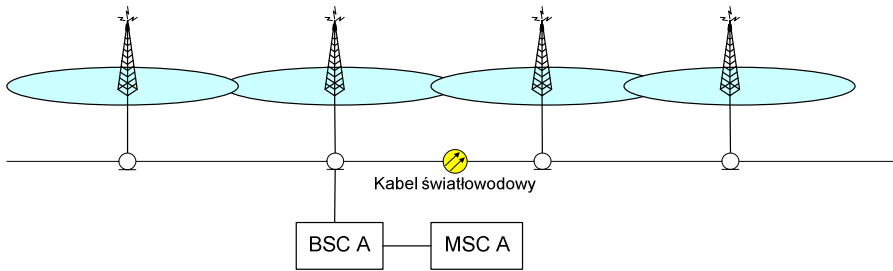
Przy wdrażaniu systemu ERTMS/ETCS poziom 2, stosuje się często nakładające się rozkłady komórek (rys. 2 b). Wynika to przede wszystkim z faktu zwiększenia niezawodności łączy GSMR (awaria jednej stacji bazowej nie powoduje np. „dziury” propagacyjnej). Zastosowanie podwójnych komórek z redundancją sprzętową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

### 2.1. Usługi i funkcje realizowane przez system GSMR

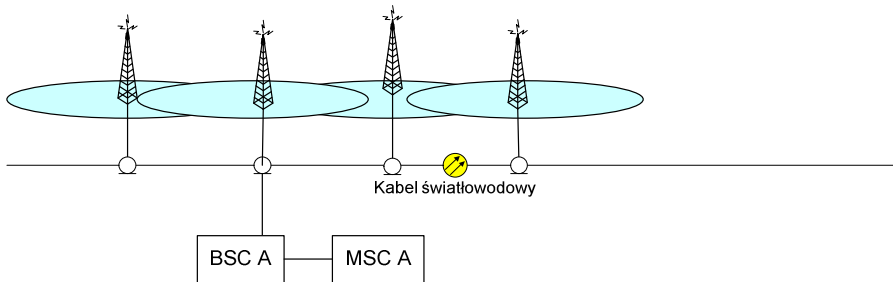
System GSMR oparty jest na fazie 2 publicznego standardu GSM, realizując wszystkie usługi podstawowe oraz usługi dodatkowe, uzupełnione standardem GSM fazy 2+ (głosowa usługa rozsiewcza, wywołania grupowe, GPRS, priorytety wywołań). Pozwoliło to na wprowadzenie następujących usług:

- Komunikacja rozsiewcza VBS (*Voice Broadcast Service*) – polega na nadawaniu informacji głosowej do wskazanej, zdefiniowanej wcześniej grupy 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

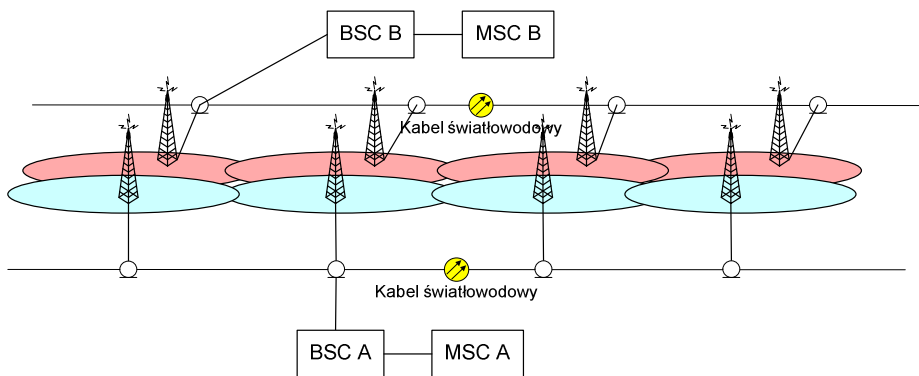
a) rozstaw normalny komórek



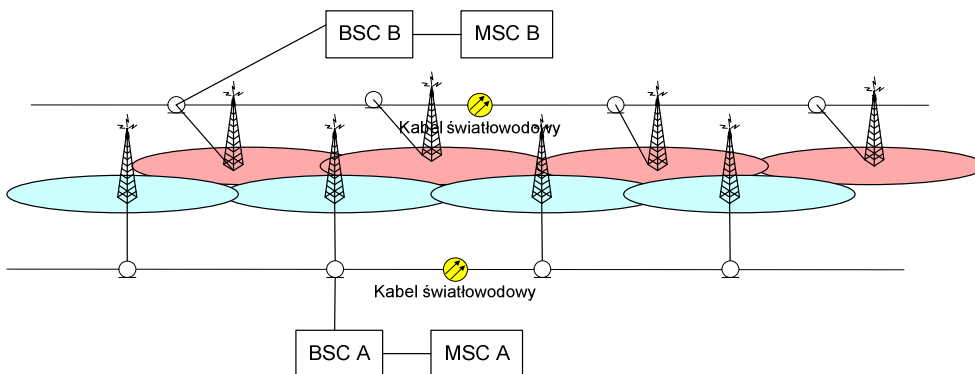
b) komórki nakładające się



c) podwójne komórki z redundancją sprzętową



d) komórki nakładające się z redundancją sprzętową



Rys. 2. Przykłady zastosowania komórek GSMR na linii kolejowej

Źródło: opracowanie własne.

obszarze pokrycia konkretnej stacji bazowej. Adresy grupowe można zmieniać automatycznie w określonych godzinach lub modyfikować je ręcznie w sytuacjach alarmowych;

- Komunikacja grupowa VGCS (Voice Group Call Service) – umożliwia jednocześnie i wzajemne komunikowanie się z góry zdefiniowanej grupy użytkowników (karta SIM), przy czym każdy uczestnik

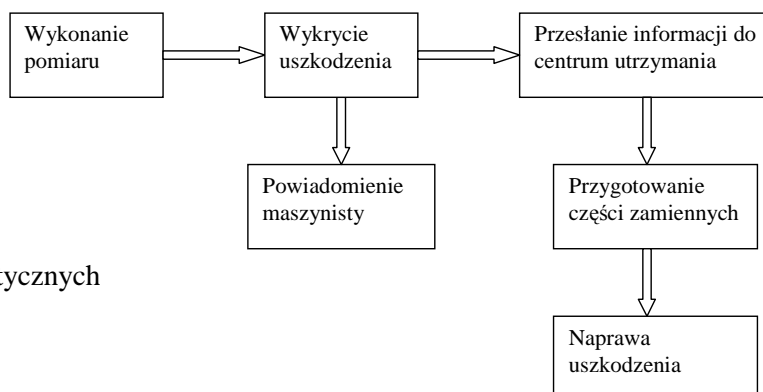
może aktywować lub dezaktywować swój udział w tego typu połączeniu. Nadzór nad formowaniem się grupy, wybór aktywnych uczestników spotkania oraz czuwanie nad przebiegiem całej usługi należą do inicjatora spotkania bądź dyspozytora. O zakończeniu telekonferencji decyduje inicjator, dyspozytor systemu bądź określony upływ czasu aktywności połączenia, zdefiniowany wcześniej na karcie SIM;

- Połączenia o wysokim priorytecie eMLPP (*enhanced Multi-Level Precedence and Preemption*) – 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. Czas zestawiania połączenia priorytetowego powinien być krótki (poniżej 2s, włącznie z przerwaniem istniejącego połączenia) [5];
- Adresowanie funkcyjne FA (*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. Przypisywaniem 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 (*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 (*General Packet Radio Service*) – ma być stosowana głównie przy transmisji tor-pojazd (ETCS);
- Kolejowe połączenie alarmowe eREC (*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 (*shunting mode*) – zapewnia komunikację pomiędzy personelem zaangażowanym w operacje manewrowe;
- Tryb bezpośredni (*direct mode*) – wspierany jest przez terminale ruchome i odnosi się do sytuacji kiedy komunikują się one ze sobą bez pośrednictwa sieci GSMR. Jest to funkcja przewidziana dla sytuacji takich jak awaria sieci lub brak zasięgu sieci GSMR.

## 2.2. Transmisja danych

Transmisja danych w GSMR wspiera cztery zasadnicze grupy usług: wiadomości tekstowe, główne aplikacje transmisji danych, automatyczne faksy oraz aplikacje wspierające sterowanie pociągu. Wiadomości tekstowe można rozsyłać na dwa sposoby: punkt-punkt pomiędzy dwoma użytkownikami lub rozsiewczo do wielu użytkowników jednocześnie. Usługa transmisji danych związana jest ze zdalnym sterowaniem urządzeniami pokładowymi i trakcyjnymi, automatycznym sterowaniem ruchem pociągów, kontrolą bezpieczeństwa ruchu pojazdów szynowych oraz z aplikacjami przeznaczonymi dla pasażerów. Wśród aplikacji dedykowanych dla pasażerów transportu kolejowego mogą znaleźć się informacje o rozkładach pociągów, informacje o pogodzie, dostęp do sieci Internet. W sieci GSMR wprowadza się metody transmisji pakietowej GPRS i EDGE znane z publicznych rozwiązań.

W GSMR występuje również usługa transmisji informacji diagnostycznych tj. zbieranie danych z przyrządów pomiarowych umieszczonych w różnych częściach pojazdu szynowego, koncentrację zebranych danych i przesłanie zebranych danych diagnostycznych poprzez sieć GSMR do centrum utrzymania. Obieg informacji i kolejność wykonywanych czynności została przedstawiona na rysunku 3. Natychmiastowe przesłanie informacji o wykryciu awarii w pociągu przynosi wiele korzyści między innymi: minimalizuje czas naprawy, skraca czas opóźnień, upraszcza proces naprawy, przyczynia się do wzrostu wydajności, redukuje koszty operacyjne.



Rys. 3. Przesyłanie informacji diagnostycznych o wykryciu awarii w pociągu

Źródło: opracowanie własne.

### 3. BEZPIECZEŃSTWO SIECI GSMR

Zadaniem każdej sieci telekomunikacyjnej jest przesłanie informacji w zadanym czasie i z określoną stopą błędów. Sieć GSMR jest systemem telekomunikacyjnym, który musi charakteryzować się wysoką niezawodnością oraz zapewniać wysoki poziom bezpieczeństwa przekazywanych danych w środowisku kolejowym. Niezawodny dostęp do usług telekomunikacyjnych jest bardzo ważną kwestią dla Zarządcy infrastruktury kolejowej gdyż ma to bezpośredni wpływ na bezpieczeństwo oraz płynność ruchu kolejowego.

Współpraca, w ramach systemu ERTMS (*European Railway Traffic Management System*) systemu GSMR z systemem ETCS (*European Train Control System*) poziom 2 nakłada na system GSMR wymaganie, wyrażone poprzez maksymalny możliwy czas niedostępności systemu wynoszący:

- dla systemu ETCS poziomu 2 i poziomu 3 – 4 godziny na 10 lat (dostępność 99,995%);
- dla innych usług głosowych i transmisji danych – 8 godzin na rok (dostępność 99,91%).

Kluczowymi zagadnieniami mającymi wpływ na bezpieczeństwo systemu jest bezpieczeństwo interfejsu radiowego oraz elementów bezpośrednio z nim związanych (np. urządzenia nadawczo-odbiorcze).

Każda informacja przesyłana drogą radiową narażona jest na podsłuch i przechwycenie. Dlatego też, połączenia powinny być szyfrowane tak aby ich treść nie była jawna i możliwa do odczytu przez przypadkowego użytkownika. Szyfrowanie nie dotyczy kolejowego połączenia alarmowego REC (*Railway Emergency Call*), ze względu na wymagany krótki czas jego zestawienia. Szyfrowanie wymaga zastosowania odpowiedniego algorytmu do kryptografii cyfrowej zarówno po stronie sieci jak i stacji mobilnej. Jednak zanim informacja zostanie zaszyfrowana, sieć musi zidentyfikować użytkownika przeprowadzając procedurę autoryzacji zwanej również uwierzytelnieniem. Procedura ta oparta jest na koncepcji podpisu elektronicznego. Autoryzacja przeprowadzana jest z udziałem rejestru AuC (*Authentication Centre*) i karty SIM (*Subscriber Identity Module*), w których przechowywany jest klucz autoryzacji Ki. Jest to najtajniejszy parametr używany w sieci GSMR, dlatego też nie jest on transmitowany na żadnym interfejsie sieciowym, a jego odczyt z karty SIM jest odpowiednio zabezpieczony. Procedura autoryzacji rozpoczyna się po stronie sieci, wyliczeniem na podstawie klucza autoryzacji Ki i losowo wygenerowanej liczby RAND (*RANdom number*), tzw. liczby SRES (*Signed RESponse*). Parametr RAND przekazywany jest stacji mobilnej MS w momencie nawiązywania połączenia. Terminal przeprowadza podobną procedurę jak rejestr AuC, obliczając liczbę SRESMS na podstawie klucza szyfrującego zapisanego na karcie SIM oraz parametru RAND. Wartość ta przekazywana jest do centrali MSC gdzie jest

porównywana z wcześniej wyznaczonym parametrem SRES. Jeżeli liczby te są sobie równe wtedy kontynuowana jest procedura zestawiania połączenia. Kolejnym etapem jest szyfrowanie informacji, które wymaga obliczenia zarówno w rejestrze AuC jak i po stronie terminala klucza szyfrującego Kc. Wartość wyliczonych wartości musi być zgodna, w przeciwnym wypadku procedura szyfrowania nie będzie kontynuowana. Szyfrowanie dotyczy sygnału mowy, danych i sygnalizacji i jest operacją wykonywaną zarówno w łączu od stacji bazowej BTS (*Base Transceiver Station*), do terminala jak i odwrotnie. Odczytanie przesyłanej treści wymaga operacji deszyfrowania, realizowanej każdorazowo przez algorytm, który jest używany również w procesie szyfrowania.

### 3.1. Bezpieczeństwo karty SIM (Subscriber Identity Module)

Każda karta SIM jest związana z numerem IMSI (*International Mobile Subscriber Identity*), który używany jest przez sieć w wielu procedurach m.in. zestawiania połączenia i aktualizacji położenia. Transmisja numeru IMSI w interfejsie radiowym bez zabezpieczenia, mogłaby doprowadzić do określenia pozycji abonenta, przez osoby niepożądane. Aby uniknąć tego typu niebezpiecznych sytuacji, wprowadza się dodatkowy, tymczasowy numer abonenta ruchomego TMSI (*Temporary Mobile Subscriber Identity*), którego długość jest o połowę krótsza w stosunku do numeru IMSI. Z racji tego, iż numer TMSI jest generowany w sposób losowy w rejestrze VLR (*Visitor Location Register*), nie można z góry przewidzieć jego wartości. Ważność numeru TMSI obowiązuje tylko w konkretnym obszarze wywołań, w którym znajduje się stacja ruchoma.

Oprócz numeru IMSI do każdej karty SIM przypisany jest kod identyfikacyjny PIN (*Personal Identification Key*), oraz ośmiocyfrowy kod odblokowujący PUK (*Personal Unblocking Key*).

Ważnym elementem wpływającym na bezpieczeństwo jest weryfikacja terminala. Wszystkie terminale radiowe pracujące w sieci powinny być monitorowane pod względem legalności ich użycia, a numery IMEI (*International Mobile Equipment Identity*) znajdować się na jednej z trzech list: białej, szarej lub czarnej. Wszystkie wymienione wyżej procesy tj. autoryzacja, szyfrowanie, zabezpieczenie przed użyciem nieuprawnionego terminala oraz dostęp do zawartości modułu SIM wpływają na bezpieczeństwo i są standardowymi mechanizmami funkcjonującymi w każdej sieci GSMR.

### 3.2. Bezpieczeństwo teleinformatyczne

Bezpieczeństwo telekomunikacyjne rozumiane jest jako zbiór metod oraz mechanizmów, których zastosowanie zapewnia wysoki poziom dostępności oraz niezawodności systemu poprzez dobranie odpowiedniej struktury systemu, tj. określenie m.in. nadmiarowości poszczególnych elementów. Przeznaczenie systemu GSMR oraz jego wpływ na bezpieczeństwo ruchu kolejowego, nakłada na projektantów obowiązek zapewnienia systemowi odporności na uszkodzenia i zakłócenia.

Niezwykle ważne jest opracowanie strategii, zapewniającej utrzymanie niezbędnego poziomu bezpieczeństwa oraz przygotowanie planów funkcjonowania systemu w sytuacjach szczególnych zagrożeń. Scenariusze te określane są mianem Disaster Recovery (odtworzenie infrastruktury po awarii) i są to procesy i procedury związane z wznowieniem lub utrzymywaniem infrastruktury technicznej, krytycznej dla danej organizacji, po wystąpieniu katastrofy naturalnej lub wywołanej przez człowieka.

W oparciu o priorytetowy poziom usług, które po odtworzeniu muszą być zachowane, można zidentyfikować krytyczne urządzenia systemu GSMR i zapewnić ich redundancję.

Należą do nich indywidualne karty i łącza telekomunikacyjne. Praktycznie zaleca się, aby redundantne były wszystkie stacjonarne łącza telekomunikacyjne, układy nadawczo-odbiorcze TRX w stacjach bazowych BTS oraz karty w sterowniku BSC (*Base Station Controller*), oraz transkoderze TRAU (*Transcoder and rate Adaptation Unit*).

Naturalną metodą pozwalającą na zwiększenie niezawodności, bezpieczeństwa i dostępności sieci jest redundancja. Odnosi się ona zarówno do informacji przechowywanych w rejestrach jak i do elementów sprzętowych, które mogą być dublowane w różny sposób m.in. n+1, 1+1, 1:n. Redundancji może podlegać:

- system – jako jedna całość;

- poszczególne podsystemy np. stacji bazowych BSS, komutacyjno sieciowy NSS (*Network Switching Subsystem*), centrum eksploatacyjno-utrzymawcze OMC (*Operation and Maintenance Center*);
- poszczególne elementy wchodzące w skład systemu np. centrala MSC, rejestr HLR (*Home Location Register*);
- poszczególne składniki wchodzące w skład elementów systemu np. karty procesorowe centrali MSC (*Mobile Switching Centre*), interfejsy.

Oprócz dublowania poszczególnych elementów systemu, nadmiarowość stosowana jest również w doniesieniu do składników takich jak np. karty procesorowe centrali MSC czy interfejsy. Taki rodzaj nadmiarowości jest określany mianem „redundancji wewnętrznej” i jest obecnie stosowany przez wszystkich producentów sprzętu GSMR.

Centrala MSC i rejestr HLR są podstawowymi urządzeniami podsystemu NSS i zaleca się by były one zwymiarowane przy wdrażaniu jako  $n+1$ . Zapewnienie redundancji centrali MSC jest szczególnie ważne ze względu na dwie funkcje: grupowe połączenia głosowe VGCS (*Voice Group Call Service*) ze szczególnym uwzględnieniem kolejowych połączeń alarmowych REC (*Railway Emergency Call*) oraz połączeń punkt-punkt niezbędnych dla funkcjonowania systemu ETCS.

Użycie dwóch central MSC oraz jednego sterownika BSC, nie powinno być rozwiązaniem zalecanym dla łączności kolejowej, gdyż:

- w przypadku awarii centrali MSC, przywrócenie funkcjonalności sieci wymaga ręcznego przełączenia sterownika do centrali rezerwowej,
- w przypadku awarii sterownika BSC następuje awaria całego systemu GSMR.

Redundancja podsystemu BSS w przypadku systemu GSMR powinna być zrealizowana z podwójnym pokryciem radiowym realizowanym przez stacje bazowe BTS (kolokowane lub naprzemienne) na liniach kolejowych wyposażonych w system ETCS i wielu sterownikach BSC podłączonych do jednej lub drugiej centrali MSC. Ilość sterowników BSC powinna być tak zaplanowana, by każda linia kolejowa wyposażona w system ETCS była podłączona, co najmniej do dwóch sterowników BSC podłączonych do dwóch różnych central MSC. Na liniach kolejowych bez systemu ETCS pokrycie radiowe może być pojedyncze tak jak pokazano to na rys. 2a lub 2b a stacje bazowe BTS naprzemienne podłączone do dwóch różnych sterowników BSC, w miarę możliwości podłączonych do dwóch różnych central MSC.

Redundancja jest również ważna w systemach teletransmisyjnych. Zastosowanie struktur samonaprawialnych SDH, zapewnienie dwóch dróg optycznych jako rezerwowego systemu transmisyjnego są przykładami nadmiarowości sieci telekomunikacyjnej, zwiększającymi niezawodność i bezpieczeństwo pracy.

Struktury samonaprawialne SDH wymagają pętli światłowodowych. Właściciel infrastruktury kolejowej w Polsce – Spółka PKP PLK w ramach modernizacji linii kolejowych układa trakty światłowodowe po obu stronach modernizowanych linii kolejowych. Kable światłowodowe tj. kabel podstawowy i w kabel domykający układane są w osobnych rurach kanalizacji kablowej po obu stronach toru kolejowego. Stwarza to możliwość realizacji pętli światłowodowych i tym samym samonaprawialnych pętli teletransmisyjnych SDH. I tak dla linii kolejowej E65 Warszawa – Gdynia zaprojektowana jest pętla światłowodowa tzn. zaprojektowano połączenie odpowiednich włókien światłowodowych znajdujących się w kablach leżących po obu stronach toru kolejowego. Połączenia włókien światłowodowych dokonane będą w Warszawie i Gdyni. W celu zwiększenia niezawodności pętli światłowodowych należałoby przewidzieć możliwość przełączania (krosowania) włókien światłowodowych jednego kabla z rezerwowymi włóknami drugiego kabla w punktach pośrednich np. w siedzibie LCS, co zasadniczo zwiększyłoby niezawodność (dostępność) pętli światłowodowej a tym samym niezawodność systemów teletransmisyjnych (system byłby odporny nie tylko na jedną usterkę w pętli kabli światłowodowych).

Zarządca infrastruktury kolejowej dysponujący określoną kwotą pieniędzy, musi określić jaka struktura systemu jest dla niego najkorzystniejsza, nie tylko z punktu widzenia obciążeń finansowych ale i przyszłej eksploatacji systemu. Zalecane jest aby na liniach na których system GSMR ma współpracować z systemem ETCS poziom 2/3, stosowane były mechanizmy niezawodnościowe. Architektura systemu GSMR jak i systemy teletransmisyjne SDH, pozwalają projektantom systemu dostosować użyte rozwiązania do wymagań stawianych przez system ETCS.

## 3.3. Bezpieczeństwo ruchu kolejowego

W istniejącym na PKP analogowym systemie radiołączności pociągowej (VHF w paśmie 150 MHz) istnieje funkcja tzw. „RADIOSTOP”. Aktywacja tej funkcji jest rejestrowana i ma na celu, w sytuacjach zagrożenia dla ruchu kolejowego, automatyczne awaryjne zatrzymanie wszystkich pociągów, które odebrały ten sygnał (pociągów, które znajdują się w zasięgu stacji radiowej, która nadaje ten sygnał). Funkcja RADIOSTOP-u jest zaimplementowana we wszystkich radiotelefonach kabinowych i radiotelefonach dyżurnych ruchu. Również pracownicy utrzymania infrastruktury kolejowej (droga kolejowa, trakcja elektryczna, automatyka kolejowa itd.), wyposażeni w radiotelefon przenośny VHF150 MHz, w określonych sytuacjach mogą spowodować zatrzymanie pociągów, wysyłając na przydzielonym w danym terenie kanale radiowym, sygnał słowny pięciokrotnie powtarzając słowo „Alarm”. Maszynista lub dyżurny ruchu odbierając taki sygnał, zgodnie z instrukcją o użytkowaniu urządzeń radiołączności pociągowej Ir-5(R-12), musi zareagować na tą informację włączeniem funkcji RADIOSTOP-u.

W radiołączności GSMR istnieje sygnał alarmowy REC (*Railway Emergency Call*). Jest to wywołanie o najwyższym priorytecie do poinformowania maszynistów, dyżurnych i pozostały personel o poziomie niebezpieczeństwa wymagającego zatrzymania ruchu wszystkich pociągów w ustalonym obszarze. Zatrzymania pociągów dokonują maszyniści po otrzymaniu takiego sygnału – nie jest to zatrzymanie automatyczne.

Przejście z systemu analogowej radiołączności VHF na radiołączność cyfrową GSMR będzie procesem wymagającym w okresie migracji zastosowania odpowiednich rozwiązań technicznych i procedur zapewniających bezpieczną kontrolę jazdy pociągów wyposażonych w radia kabinowe starego i nowego typu. W Narodowym Planie Wdrażania Europejskiego Systemu Zarządzania Ruchem Kolejowym w Polsce, migracja do systemu GSMR odbywać się będzie w pierwszym okresie, w zasadzie na podwójnej infrastrukturze liniowej (VHF/GSMR) i dwufunkcyjnym radiu kabinowym a także dwufunkcyjnych aparatach dyżurnego ruchu. W miarę postępu w budowie systemu GSMR, w pierwszym rzędzie będzie likwidowana infrastruktura VHF150MHz. W okresie migracji przewiduje się również instalację na pojazdach trakcyjnych systemów ETCS wraz z modułem STM (*Specific Transmission Module*), który to moduł ma umożliwić jazdę tych pojazdów po liniach kolejowych wyposażonych tylko w system VHF 150MHz. Moduł STM ma umożliwiać automatyczne zatrzymanie pociągu po odebraniu sygnału RADIOSTOP z analogowego systemu VHF.

W tabeli 1 przedstawiono możliwe warianty wyposażenia radiowej infrastruktury liniowej oraz pokładowych urządzeń radiołączności wraz z możliwymi sygnałami alarmowymi inicjowanymi przez maszynistów, dyżurnych ruchu oraz przez personel dokonujący obchodu torów.

Tabela 1. Możliwe warianty wyposażenia radiowej infrastruktury liniowej wraz z możliwymi sygnałami alarmowymi.

| Lp. | Radiowa Infrastruktura Liniowa | Radia kabinowe       | Możliwe sygnały alarmowe inicjowane przez dyżurnego | Możliwe sygnały alarmowe inicjowane przez maszynistę | Możliwe sygnały alarmowe inicjowane przez pracownika dokonującego obchodu torów |
|-----|--------------------------------|----------------------|---|--|---|
| 1.  | 150 MHz                        | 150 MHz              | RADIOSTOP   | RADIOSTOP  | 5 x „ALARM”   |
| 2.  | 150 MHz                        | 150MHz/<br>GSMR      | RADIOSTOP   | RADIOSTOP<br>ALARM GSMR                              | 5 x „ALARM”   |
| 3.  | 150MHz/<br>GSMR                | 150 MHz              | RADIOSTOP<br>ALARM GSMR                             | RADIOSTOP  | 5 x „ALARM”<br>ALARM GSMR   |
| 4.  | 150MHz/GSMR                    | 150MHz/<br>GSMR      | RADIOSTOP<br>ALARM GSMR                             | RADIOSTOP<br>ALARM GSMR                              | 5 x „ALARM”<br>ALARM GSMR   |
| 5.  | 150MHz/GSMR                    | GSMR + STM           | RADIOSTOP<br>ALARM GSMR                             | RADIOSTOP<br>ALARM GSMR                              | 5 x „ALARM”<br>ALARM GSMR   |
| 6.  | 150MHz/GSMR                    | GSMR +<br>STM/150MHz | RADIOSTOP<br>ALARM GSMR                             | RADIOSTOP<br>ALARM GSMR                              | 5 x „ALARM”<br>ALARM GSMR   |
| 7.  | 150MHz/GSMR                    | GSMR                 | RADIOSTOP<br>ALARM GSMR                             | ALARM GSMR   | 5 x „ALARM”<br>ALARM GSMR   |
| 8.  | GSMR                           | GSMR                 | ALARM GSMR  | ALARM GSMR   | ALARM GSMR  |

Źródło: opracowanie własne.



Wiersz 1 w tabeli obrazuje istniejący stan radiołączności kolejowej na PKP tj. radiołączność analogowa VHF 150MHz, natomiast wiersz 8 docelowy tj. radiołączność cyfrowa GSMR mogąca współpracować z systemem ETCS w ramach systemu ERTMS. Wiersze 2 -7 są to pozycje obrazujące wyposażenie radiokomunikacyjne w okresie migracji z systemu analogowego do systemu cyfrowego. Wiersze 5 i 6 obrazują pojazdy trakcyjne wyposażone w urządzenia pokładowe ETCS, które będą mogły poruszać się po liniach kolejowych wyposażonych system VHF, GSMR lub oba te systemy.

Wymagania dotyczące funkcji RADIOSTOP w okresie migracji radiołączności kolejowej do systemu GSMR [6]:

- Funkcja RADIOSTOP w infrastrukturze kolejowej: Funkcja RADIOSTOP radia VHF150MHz, na liniach objętych zabudową systemem cyfrowej radiołączności GSMR, będzie wykorzystywana do czasu demontażu systemu VHF 150 MHz na tych liniach.
- Funkcja RADIOSTOP w radiach kabinowych pojazdów trakcyjnych: Funkcja RADIOSTOP radiołączności VHF 150 MHz została uwzględniona w module STM dla systemu SHP. Odbierania i prawidłowego interpretowania sygnału RADIOSTOP wymagać się będzie od pojazdów trakcyjnych poruszających się po liniach wyposażonych w radiołączność VHF 150 MHz również w okresie, gdy linia będzie już wyposażona w system GSMR, ale nadal będzie funkcjonowała radiołączność VHF 150 MHz.
- Generowanie sygnału alarmowego GSMR (REC) na skutek odebrania sygnału RADIOSTOP, oraz generowanie sygnału RADIOSTOP wówczas, gdy generowany jest sygnał alarmu REC w systemie GSMR.

Dla każdej linii kolejowej wyposażanej w system GSMR tak długo, jak długo jest ona wyposażona w system VHF 150 MHz przytorowe urządzenia muszą gwarantować, że:

- generowaniu sygnału RADIOSTOP z urządzeń przytorowych będzie towarzyszyć automatyczne generowanie sygnału alarmowego GSMR,
- sygnał RADIOSTOP odebrany przez urządzenia przytorowe (np. generowany przez maszynistę) będzie automatycznie powodował generowanie sygnału alarmowego GSMR,
- generowaniu sygnału alarmowego GSMR z urządzeń przytorowych będzie towarzyszyć automatyczne generowanie sygnału RADIOSTOP,
- sygnał alarmowy GSMR 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 prawidłowa interpretacje 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 VHF 150 MHz i niewyposażonych w GSMR.

#### 4. ZAKOŃCZENIE

Dotychczasowy system bezpiecznej kontroli jazdy pociągów zrealizowany na systemie SHP i radiołączności analogowej VHF 150 MHz z funkcją RADIOSTOP spełnia swoje podstawowe zadania, tak jak spełnia swoje zadania w zakresie bezpiecznej kontroli jazdy pociągów system ERTMS (ETCS +GSMR).

Analizując możliwe warianty wyposażenia radiowej infrastruktury liniowej oraz pokładowych urządzeń radiołączności, wraz z możliwymi sygnałami alarmowymi inicjowanymi przez maszynistów, dyżurnych ruchu oraz przez personel dokonujący obchodu torów można stwierdzić, że stan istniejący i stan docelowy mają dokładnie opisane procedury związane z bezpiecznym prowadzeniem ruchu kolejowego (funkcje RADIOSTOP i REC).

Okres migracji będzie wymagał opracowania nowych procedur dla systemu bezpiecznej kontroli jazdy pociągów. Dla okresu przejściowego należy opracować i wytworzyć radiotelefony dwusystemowe (GSMR/VHF 150 MHz) zarówno dla maszynistów (radio kabinowe) jak i dla dyżurnych ruchu. Ponadto dla okresu przejściowego należy opracować i moduł STM umożliwiający pojazdom trakcyjnym

z zainstalowanym systemem ETCS jazdę po liniach kolejowych wyposażonych tylko w radiołącność analogową VHF 150 MHz.

Pracownicy dokonujący czynności utrzymaniowych infrastruktury kolejowej na liniach, na których został zainstalowany system GSMR, powinny być bezwzględnie wyposażeni w noszone aparaty GSMR z funkcją REC.

Od wykonania powyższych urządzeń jak i od opracowania odpowiednich procedur zależy będzie bezpieczeństwo prowadzenia ruchu kolejowego. Szczególna rola w tym zakresie, poza wykonawcami, przypada jednostkom certyfikacyjnym, które są upoważnione do oceny urządzeń związanych z prowadzeniem ruchu kolejowego.

---

### Streszczenie

W artykule przedstawiono architekturę oraz ważniejsze funkcje i usługi systemu cyfrowej telefonii komórkowej GSMR. System GSMR jest to system wykorzystywany dla potrzeb wspomagania zarządzania i sterowania w transporcie kolejowym. Szczególną uwagę zwrócono na wybrane problemy związane z bezpieczeństwem teleinformatycznym usług realizowanych z wykorzystaniem systemu GSMR. Przedstawiono także zagadnienia związane z wdrażaniem systemu GSMR i dotyczące zapewnienia bezpieczeństwa w transporcie kolejowym.

Słowa kluczowe: radiołącność, system GSMR, transport kolejowy, bezpieczeństwo.

### Safety issues of GSMR system in the context of supporting of rail transport

#### Abstract

The paper presents the architecture and major features and services of the digital mobile telephone system GSM-R. GSM-R system is a system used for the purpose of supporting the management and control of rail transport. Particular attention is paid to the selected problems related to the teleinformatic security services realized with using GSM-R system. There are also presented issues related to the implementation of GSM-R system and for ensuring safety in rail transport.

Key words: radio-communication, GSMR system, rail transport, safety.

#### LITERATURA

- [1] Białoń A. Masterplan wdrażania ERTMS w perspektywie krajowej i wspólnotowej. *Transport i Komunikacja* 2010, nr 2.
- [2] Gago S.: Niektóre problemy praktyczne występujące w układach sterowania i telekomunikacji KDP. Konferencja Naukowa Kolej dużych prędkości. 15 listopada Warszawa 2011.
- [3] International Union of Railways, Project EIRENE – Functional Requirements Specification, 2006.
- [4] International Union of Railways, Project EIRENE – System Requirements Specification, 2006.
- [5] Markowski R. Założenia i ogólny opis systemu GSM-R. Konferencja naukowo-techniczna „Europejski System Sterowania Pociągiem (ETCS/ERTMS)”, Poznań, 28-29 października 1999.
- [6] Pawlik M. Polski Narodowy Plan Wdrażania Europejskiego Systemu Zarządzania Ruchem Kolejowym ERTMS. *Technika Transportu Szynowego* 2007, nr 1.
- [7] Przelaskowski K.: Eksploatacja systemu GSM-R w kolejnictwie europejskim. *Przegląd Telekomunikacyjny* Nr 2-3, 2003.
- [8] Sauthier E., Poutas L., Radio bearer capacity and planning for ETCS Solutions for BSS redundancy, 10th December 2003.
- [9] Seminarium: Radiołącność w kolejnictwie wczoraj – dziś – jutro, SITK RP, Radom 2003.
- [10] Siergiejczyk M.: Wybrane zagadnienia systemów sterowania ruchem i łączności dla kolei dużych prędkości w Polsce. Konferencja Naukowa Kolej dużych prędkości. 15 listopada Warszawa 2011.
- [11] Siemens: Bezprzewodowa łączność GSM-R. *Nowe Sygnały* nr 29, KOW, Warszawa 2001.
- [12] Simon A., Walczyk M. Sieci komórkowe GSM/GPRS. Usługi i bezpieczeństwo. Wydawnictwo: Xylab, Kraków 2002.
- [13] Urbanek A.: Komunikacja kolejowa GSM-R. *Networld* nr 1. IDG, Warszawa 2005.