

SIERGIEJCZYK Mirosław

## WYBRANE ZAGADNIENIA PLANOWANIA SIECI GSM-R W WARUNKACH POLSKICH

### Streszczenie

W artykule zostały przedstawione wybrane problemy dotyczące planowania sieci radiowej systemu kolejowej cyfrowej telefonii komórkowej GSM-R. Przedstawiono opis architektury systemu, zestaw dostępnych usług oraz sposobów realizacji transmisji danych. Następnie zostały określone warunki, które powinno się uwzględnić w budżecie łącza i wyliczeniach dotyczących użytecznego zasięgu poszczególnych stacji bazowych. Przeanalizowano podstawowe parametry transmisji radiowej określono zasady wymiarowania sieci dla potrzeb określenia pojemności ruchu telekomunikacyjnego. Uwzględniono klasyfikację głównych źródeł ruchu wynikającą z wyodrębnionych przez EIRENE zastosowań sieci GSM-R.

### WSTĘP

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*) [14]. Sieci GSM-R są już wykorzystywane na całym świecie, również w krajach europejskich. Obecnie w Polsce trwają badania dla potrzeb oceny w zakresie dopuszczenia do eksploatacji odcinka pilotażowego systemu GSM-R/ETCS poziomu drugiego. Implementacja GSM-R 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). 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. GSM-R 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 GSM-R 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 [8], [14].

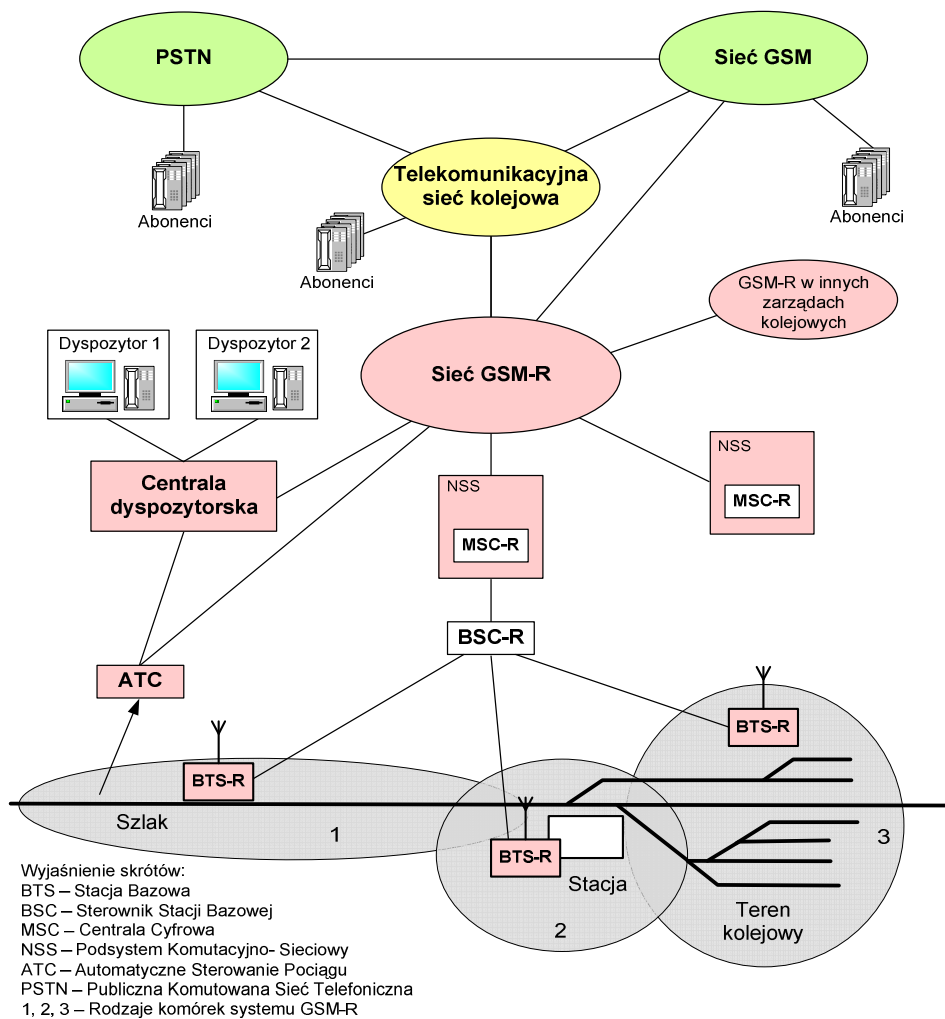
Jednym z kluczowych zagadnień przy wdrażaniu systemu GSM-R jest problem planowania sieci radiowej z uwzględnieniem zarówno wymagań dotyczących pokrycia sygnałem radiowym dla systemu ETCS poziomu drugiego na określonych liniach kolejowych, ale także wymiarowanie pod względem pojemności ruchowej dla komunikacji głosowej i innych usług oferowanych w systemie GSM-R.

## 1. ARCHITEKTURA I USŁUGI SYSTEMU GSM-R

GSM-R jest to system cyfrowej telefonii komórkowej wykorzystywany na potrzeby transportu kolejowego. Zapewnia cyfrową łączność głosową oraz cyfrową transmisję danych. 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. 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 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.

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 usług [8], [9], [14]:

- Komunikacja rozsiewcza VBS (*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 (*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 wpływ czasu aktywności połączenia, zdefiniowany wcześniej na karcie SIM;



**Rys. 1. Możliwe warianty organizacji sieci GSM-R w transporcie kolejowym**

- 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);
- 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 określone 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) - odnosi się do sytuacji w której terminale ruchome komunikują się ze sobą bez pośrednictwa sieci GSM-R. Jest to funkcja przewidziana dla sytuacji takich jak awaria sieci lub brak zasięgu sieci GSM-R.

Transmisja danych w GSM-R 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 GSM-R wprowadza się metody transmisji pakietowej GPRS i EDGE znane z publicznych rozwiązań.

## **2. PLANOWANIE SIECI RADIOWEJ SYSTEMU GSM-R**

### **2.1. 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.

Pasmo dla systemu GSM-R jest wydzielone nieco poniżej pasma 900 MHz. Wykorzystywane są następujące zakresy częstotliwości GSM-R: 876-880 MHz / 921- 925 MHz [13].

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 (*Absolute Frequency Channel Number*) i w systemie GSM-R są to kanały od 955 do 973. 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.

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. Połączenie realizowane jest metodą duplexową z podziałem częstotliwości FDD (*Frequency Division Duplex*). Każdy z kanałów podzielony jest na osiem szczelin czasowych. Została więc zastosowana metoda wielodostępu z podziałem czasowym TDMA (*Time Division Multiple Access*) i z podziałem częstotliwości FDMA (*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.

## 2.2. Opracowanie budżet łącza

Na podstawie dostępnych materiałów można stwierdzić, że brak rekomendacji dotyczących konstruowania budżetu łącza. To wprowadza dużą dowolność pozwalającą na stworzenie dla tych samych warunków pokryciowych całkowicie różnych budżetów łącza – od skrajnie pesymistycznych z użytecznymi zasięgami stacji nieco powyżej kilku kilometrów do takich, gdzie określa się zasięgami na ponad 10 km. Poniżej przedstawione rozważania są zaczerpnięte doświadczeń przy planowaniu publicznych sieci GSM i w szczególnych przypadkach planowania sieci GSM-R te wytyczne (a w szczególności wartości określonych parametrów) mogą być nieco inne. Natomiast sama idea obliczenia budżetu łącza radiowego pozostaje bardzo podobna, jak dla większości łączy radiowych.

W projektowanym dla określonych warunków budżecie łącza i wyliczeniach dotyczących użytecznego zasięgu poszczególnych stacji bazowych powinno uwzględnić się następujące parametry [2], [5], [3], [14]:

- wymagany minimalny poziom sygnału oraz prawdopodobieństwo pokrycia sygnałem,
- wysokość zawieszenia anteny stacji bazowej i anteny stacji ruchomej,
- margines handover'u i standardową dewiację sygnału,
- margines bezpieczeństwa,
- straty w torze radiowym,
- zyski anten oraz zysk separacji,
- przewidywane zasięgi stacji bazowych,
- planowanie kanałów radiowych.

Margines handover'u, czyli przekazania połączenia radiowego z jednej stacji bazowej do innej w czasie, gdy połączenie jest aktywne, to istotny z punktu planowania radiowego parametr, ponieważ jego wartość wpływa zarówno na budżet łącza jak również na szybkość przekazania połączeń. Jego zbyt duża wartość może spowodować niepotrzebne zagęszczenie stacji bazowych jak również opóźnienia w przekazaniu połączeń. Zbyt mały margines handover'u lub jego brak będą powodować niepotrzebne przełączenia. Z praktyki planowania radiowego wynika, że standardowa dewiacja dla sygnału w płaskim i otwartym terenie pozamiejskim wynosi ok. 5dB. Jednakże w przypadku planowanego systemu GSM-R ze względu na różnorodne charakterystyki terenu należy przyjmować wartości większe np. 7-10 dB.

Margines bezpieczeństwa zgodnie z zaleceniami EIRENE wynosi 3dB i uwzględnia w tym parametrze czynnik starzenia się infrastruktury systemu GSM-R.

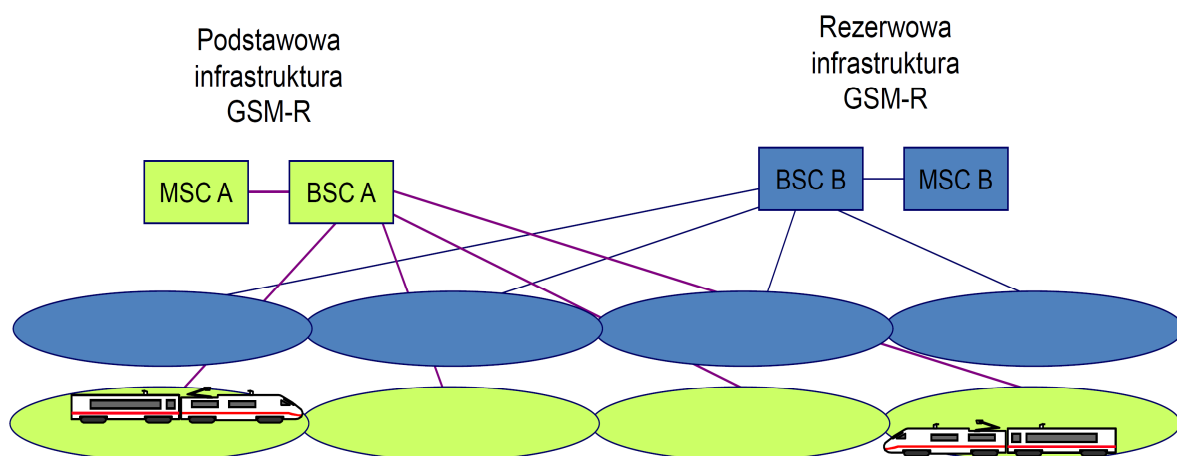
Podobnie jak w przypadku sieci publicznych straty w torze radiowym powinny obejmować całkowite tłumienie sygnału radiowego pomiędzy wyjściem sygnału ze stacji bazowej a wejściem anteny. Na straty te składają się tłumienności giętkich kabli, złączy oraz tłumienność kabla koncentrycznego.

Zysk anteny urządzenia mobilnego jaki powinien być przyjmowany do budżetu łącza na poziomie 0 dBi, natomiast dla anten stacji bazowych powinno się przyjmować się do budżetu łącza wartości standardowe najczęściej kilkunastu dBi jako zysku anteny.

Z kolei zysk separacji (*diversity*) to zysk związany ze zjawiskiem propagacji wielotorowej i depolaryzacji sygnału. Przyjmowana do budżetu łącza wartość tego parametru w sieciach publicznych wynosi zazwyczaj 3 dB. Jednakże ze względu na fakt, że zysk z separacji jest mniejszy w środowisku otwartym (a w dużej części system GSM-R w takim środowisku jest budowany) do budżetu łącza należy przyjmować wartości mniejsze.

W celu opracowania budżetu łącza wcześniej należy określić możliwe do wykorzystania w planowanym obszarze typy konfiguracji stacji bazowych.

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% nawet w sytuacji, gdy połowa stacji bazowych z podstawowej infrastruktury jest wyłączona (rys. 2).



**Rys. 2. Wykorzystanie podwójnego pokrycia i rezerwowej infrastruktury w sieci GSM-R**

Źródło: Opracowano na podstawie [7]

Plan rozdziału kanałów częstotliwościowych dla sieci GSM-R wymaga, aby przed utworzenia dla każdej stacji bazowej identyfikacji relacji z sąsiadującymi stacjami bazowymi, które są niezbędne w celu zapewnienia przenoszenia rozmów pomiędzy poszczególnymi sektorami. Relacji powinny być utworzone z uwzględnieniem specyfiki systemu GSM-R, a w szczególności liniowy a nie obszarowy charakter pokrycia radiowego na liniach kolejowych i konieczności zapewnienia przenoszenia połączeń w przypadku jednoczesnej awarii stacji z puli parzystej lub nieparzystej

### 2.3. Wymiarowanie pojemności sieci

W celu właściwego wymiarowania sieci dla potrzeb określenia pojemności ruchu telekomunikacyjnego uwzględnić klasyfikację głównych źródeł ruchu wynikającą z wyodrębnionych przez EIRENE zastosowań sieci GSM-R w odniesieniu do typowej współczesnej sieci kolejowej [14], [15]. Źródła ruchu telekomunikacyjnego w sieci GSM-R to:

- Sterowanie i sygnalizacja
- automatyka i sterowania pociągiem
- zdalne sterowanie elementami sieci kolejowej
- Łączność technologiczna
- dyspozytor – maszynista
- połączenia alarmowe
- łączność manewrowa
- łączność maszynisty
- łączność utrzymania szlaku
- łączność obsługi pociągu
- Łączność lokalna na szlakach i w węzłach
- Łączność nieoperacyjna obszarowa
- Łączność pasażerska w tym Informacja pasażerska

Sieć GSM-R musi zapewnić obsługę różnego typu usług generujących różne typy ruchu sieciowego. W związku z tym wszystkie możliwe do wystąpienia profile ruchowe powinny być rozpatrzone na etapie wymiarowania sieci.

#### Komunikacja głosowa

Komunikacje głosową możemy podzielić na:

- łączność punkt-punkt (PTP)
- łączność punkt-wielopunkt (PTMP)
- komunikacja grupowa (VGCS)
- komunikacja rozsiewcza (VBS)

Wielkość oferowanego ruchu może zostać określona jako iloczyn liczby zgłoszeń w jednostce czasu (zwykle w trakcie godziny największego ruchu GNR) i średniego czasu trwania połączenia. Ruch generowany przez połączenia głosowe oraz dane z komutacją łączy przedstawiane są w Erlangach [Erl].

$$A = \frac{n_{GNR} \times \tau_{sr}}{3600} \quad (1)$$

gdzie:

A - natężenie ruchu telekomunikacyjnego [Erl]

$n_{GNR}$  - liczba połączeń w godzinie największego ruchu

$\tau$  - średni czas trwania jednego połączenia

Transmisja danych w systemie GSM-R może być podzielona w zależności od użytych procedur transmisyjnych. Generalnie ruch generowany przez dane można określić bazując na ilości przesłanych w jednostce czasu komunikatów oraz wielkości pojedynczego komunikatu. Dodatkowo należy wziąć pod uwagę intensywność transmisji – czy jest to transmisja ciągła czy też przerywana. Można wyróżnić następujące mechanizmy zapewniające transmisję danych w systemie GSM-R:

- wiadomości SMS tekstowe – do wymiarowania należy użyć ilości komunikatów, niezależnie od średniej wielkości wiadomości (maksymalnie 140 bajtów)
- transmisja pakietowa – można przyjąć średnią wielkość komunikatu 64 bajty,
- usługi dodatkowe transmisji danych – wykorzystywane do rejestracji i wyrejestrowania stacji ruchomej na potrzeby adresowania funkcyjnego – jednostką jest tutaj ilość komunikatów
- transmisja danych z wykorzystaniem komutacji łączy – może być wymiarowanie w ten sam sposób jak połączenie głosowe,
- transmisja danych dla ETCS

Głównym wykorzystaniem transmisji danych w GSM-R będzie ETCS. Wprowadzenie ETCS poziom 2/3 wymaga medium transmisyjnego zapewniającego komunikację pomiędzy pociągiem a urządzeniami przytorowymi. Sieć GSM-R jako element systemu ERTMS/ETCS

pozwała na dwukierunkową wymianę informacji pomiędzy urządzeniami na pojazdach kolejowych, Centrum Sterowania Radiowego RBC i Radiowym Zespołem Uaktualniającym RIU. Wymaga on stosunkowo niewielkiego pasma (do 9600 bps). Centrum Sterowania Radiowego RBC przesyła do pociągu niewielkie komunikaty (do 200 bajtów) periodycznie co 30 s. Pociąg raportuje do RBC za pomocą 32 bajtowych (dane użytkownika) komunikatów przesyłanych co 10 s. Warto podkreślić, że najważniejsze z punktu widzenia ETCS, jest zapewnienie minimalnych opóźnień transmisji w obydwu kierunkach jak również jej niezawodność. Aktualnie transmisja realizowana jest za pomocą komutacji łączy, co oznacza, że każdy kanał transmisyjny ETCS zajmuje 1 szczelinę czasową. Każdy pociąg z ETCS zajmuje tę szczelinę przez cały czas trwania trasy pociągu, co może powodować problemy z pojemnością sieci na stacjach węzłowych.

Transmisja danych ETCS jest transmisją o stosunkowo niewielkiej intensywności zgłoszeń, ale w związku z faktem, że wymaga ona dedykowanego połączenia punkt-punkt na cały okres jazdy pociągu może generować duże wymagania na pojemność sieci na stacjach węzłowych, gdzie spodziewana jest duża liczba pociągów jednocześnie.

W zależności od typu generowanego ruchu, geograficznej lokalizacji użytkowników i ich funkcji w ramach organizacji można wyróżnić poszczególne grupy użytkowników sieci GSM-R. Najpierw jednak należy określić jakich rodzajów ruchu można spodziewać się w sieci GSM-R: Można tutaj wyróżnić:

- połączenia głosowe punkt-punkt oraz transmisja danych z komutacją łączy, wyrażone w jednostkach natężenia ruchu telekomunikacyjnego [Erl],
- głosowe połączenia grupowe [Erl], punkt-wielopunkt [Erl],
- krótkie wiadomości tekstowe SMS [liczbie wiadomości/h],
- komutacji łączy [liczbie wiadomości/godzinę]
- komunikaty pakietowe [liczba komunikatów/h],
- komunikacja punkt – punkt wykorzystująca adresowanie zależne od lokalizacji [Erl], wyrażone w Erlangach,
- transmisja danych z komutacją łączy wykorzystująca adresowanie zależne od lokalizacji [Erl].

Ruch oferowany odnosi się do określonych obszarów i obejmuje ruch generowany z pociągu zarówno przez terminale personelu oraz systemy transmisji danych. Ruch ten powinien także uwzględniać pozostałych użytkowników systemu, zarówno stacjonarnych jak i mobilnych, określony jako liczba aktywnych terminali.

Ze względu na charakterystykę ruchu i jego natężenie należy uwzględnić wymiarowania przy określaniu pojemności sieci warianty organizacji sieci GSM-R:

- węzły sieci kolejowej z uwzględnieniem ich wielkości,
- stacje kolejowe,
- obszary manewrowe
- linie kolejowe o dużym natężeniu ruchu i linie kolejowe o małym natężeniu ruchu.

W procesie wymiarowania pojemności sieci należy także odnieść się do oszacowanie średniej ilości pociągów w ruchu, które są obsługiwane przez stację bazową. Dla poszczególnych warianty organizacji sieci powinno się przeprowadzić analizy dobowego rozkładu natężenia ruchu pociągów w odniesieniu do oszacowania natężenia ruchu pociągów w godzinie największego ruchu.

## **PODSUMOWANIE**

System GSM-R jest składnikiem systemu ERTMS, który stanowi o bezpiecznym prowadzeniu ruchu pociągów. W związku z tym system GSM-R musi być pewnie działającym systemem w zakresie przesyłania informacji (głos i dane), która powinna być



większa niż w publicznym systemie GSM, i pewności działania co jest zapewnione przez dodatkowe środki (redundancja sprzętu, odpowiednie pokrycie pola elektromagnetycznego). Obecny przydział częstotliwości wykorzystuje tylko 7 z 19 kanałów przewidzianych dla systemu GSM-R. Taka liczba kanałów może okazać się niewystarczająca dla sieci zaprojektowanej zgodnie z opisanymi wymaganiami, szczególnie w obrębie dużych węzłów kolejowych. Wykorzystując te 7 kanałów można nie spełnić podstawowych wymagań w zakresie separacji przydzielanych kanałów. W efekcie nie można dochodzić do niekorzystnych zjawisk związanych z interferencją.

Ponieważ każda modernizowana linia kolejowa wymaga indywidualnego projektowania to w ślad za tym, linia ta musi mieć wystawiony osobny certyfikat Weryfikacji WE wydany przez jednostkę certyfikacyjną (NoBo).

Wdrożenie systemu GSM-R przyczyni się do poprawy atrakcyjności polskiej sieci kolejowej. Dzięki tej inwestycji na liniach objętych transeuropejskimi korytarzami transportowymi przebiegającymi przez teren Polski uzyskane zostaną standardy europejskie. Dzięki zapewnieniu interoperacyjności kolei, umożliwiony będzie dostęp do polskiej infrastruktury kolejowej operatorom z innych krajów, usprawnione zostanie przemieszczanie się ludzi i transportu towarów w kraju i poza jego granicami, a także prowadzenie transportu tranzytowego pomiędzy krajami UE i do niej sąsiednimi.

Bezpośrednio inwestycja zapewni cyfrową łączność głosową (głównie między dyżurnymi ruchu i maszynistami) oraz cyfrową transmisję danych w szczególności dla systemu ETCS. Dzięki wprowadzeniu specyficznych usług dla kolei takich jak REC i eREC nastąpi zwiększenie bezpieczeństwa ruchu kolejowego. Z punktu widzenia przewoźników najistotniejsza jest możliwość poprawy oferty przewozowej. Zwiększy się konkurencyjność kolei w stosunku do innych środków transportu, zwłaszcza w zakresie prędkości i punktualności. W konsekwencji czego skróceniu ulegnie czas podróży.

## BIBLIOGRAFIA

1. Białoń A. *Masterplan wdrażania ERTMS w perspektywie krajowej i wspólnotowej*. Transport i Komunikacja 2010, nr 2
2. *GSM-R Radio Planning Guidelines*, 02-2006, JERNBANEVERKET UTBYGGING Document number 3A-GSM-038 ([www.trv.jbv.no/tidligere-utgaver](http://www.trv.jbv.no/tidligere-utgaver) - T6009b00.pdf)
3. *GSM-R Radio Planning Guidelines*, 02-2006, JERNBANEVERKET UTBYGGING Document number 3A-GSM-036 ([www.trv.jbv.no/tidligere-utgaver](http://www.trv.jbv.no/tidligere-utgaver) - T6007a00.pdf)
4. *GSM-R Radio, Guidance on GSM-R Cell Planning Consultation*, 12-2007, Association of Train Operating Companies ([www.rgsonline.co.uk](http://www.rgsonline.co.uk))
5. Katulski R.J.: *Propagacja fal radiowych w telekomunikacji bezprzewodowej*. Wydawnictwo WKiŁ, Warszawa 2010
6. Mandoc D. *GSM-R in 2009 – International Operations Take Off*. European Railway Review 2010, nr 1
7. Mandoc D. *GSM-R railway communication system. UIC ERTMS Training Programme*. Paris, 23-25 June 2010
8. Markowski R.: *Aspekty łączności GSM-R w systemie ERTMS/ETCS2 – cz. I. i cz.II*. Infrastruktura Transportu 2010, nr 3.
9. Siergiejczyk M., Gago S.: *Zagadnienia bezpieczeństwa systemu GSM-R w aspekcie wspomagania transportu kolejowego*. Logistyka 6/2012. Wyd. ILiM Poznań 2012.
10. Siergiejczyk M. *Wybrane zagadnienia systemów sterowania ruchem i łączności dla Kolei Dużych Prędkości w Polsce*. Logistyka 3/2012. Wyd. ILiM Poznań 2012.
11. Wesołowski K.: *Systemy radiokomunikacji ruchomej, WK i Ł, Warszawa 2006*.

12. Włodkowska J. *Pierwsze wdrożenia systemu ERTMS/ETCS w Polsce*. Transport i Komunikacja 2010, nr 2.
13. *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.
14. UIC Project EIRENE, *System Requirements Specification, GSM-R Operators Group, SRS v 15, 2006* ([www.era.europa.eu/Document-Register/Documents/EIRENE-SRS-v15.pdf](http://www.era.europa.eu/Document-Register/Documents/EIRENE-SRS-v15.pdf))
15. *Uzupełnienie Studium Wykonalności w zakresie systemu cyfrowej łączności radiowej GSM-R, łączności technologicznej i systemów teleinformatycznych związanych z prowadzeniem ruchu na projektowanej linii kolejowej Pomorskiej Kolei Metropolitalnej*. Praca naukowo- badawcza Wydział Transportu PW. Warszawa 2010. Kierownik pracy M.Siergiejczyk

## **SELECTED ISSUES OF PLANNING THE GSM-R NETWORK IN POLISH REALITIES**

### ***Abstract***

*The paper presents some problems connected with planning the radio network system for the rail digital mobile system GSM-R. There are presented the architecture of the system, a set of available services and the means of data transmission. Then are determined the certain conditions that should be taken into account for the budget of the link and calculations of the useful range of each base station. There are also analyzed the basic parameters of the radio transmission network dimensioning rules laid down for the purpose of determining the capacity of telecommunications traffic. Paper includes also classification of the main sources of traffic resulting from the applications of GSM-R network separated by EIRENE.*

### ***Autor:***

prof. nzw. dr hab. inż. **Mirosław Siergiejczyk** – Politechnika Warszawska, Wydział Transportu, [msi@wt.pw.edu.pl](mailto:msi@wt.pw.edu.pl)