

# Analiza zalecanej przez UIC metody pomiaru pokrycia radiowego w systemach GSM-R

Stanisław GAGO<sup>1</sup>, Mirosław SIERGIEJCZYK<sup>2</sup>

## Streszczenie

W artykule opisano zalecaną przez UIC metodę pomiaru pokrycia radiowego dla systemu GSM-R, który jest bazą do poprawnej transmisji danych na potrzeby systemu ETCS. Przeanalizowano najważniejsze zasady pomiaru pokrycia pola radiowego według tej metody. Zdaniem autorów artykułu, przyjęta przez UIC metoda pomiaru ma wiele mankamentów i dlatego autorzy proponują inną metodę pomiaru pokrycia radiowego do transmisji danych w systemie GSM-R.

**Słowa kluczowe:** metoda, pokrycie radiowe, transmisja, system GSM-R

## 1. Wstęp

System GSM-R jest systemem cyfrowej telefonii komórkowej przeznaczonym na potrzeby transportu kolejowego. Oferuje rozbudowaną funkcjonalność publicznego systemu GSM. System GSM-R zapewnia cyfrową łączność głosową oraz transmisję danych. Cechuje się infrastrukturą zlokalizowaną jedynie w pobliżu linii kolejowych. System GSM-R jest składnikiem, obecnie wdrażanego w wielu krajach, Europejskiego Systemu Zarządzania Ruchem Kolejowym ERTMS (*European Rail Traffic Management System*). Drugim składnikiem systemu ERTMS jest Europejski System Sterowania ruchem pociągów ETCS (*European Train Control System*), który ma za zadanie w ciągły sposób zbierać i wysyłać dane związane z ruchem pociągu, np. prędkość, położenie geograficzne pociągu itd. System GSM-R jest systemem transmisyjnym dla systemu ETCS, pośredniczy przy przekazywaniu informacji maszyniście i innym służbom kolejowym [1]. Wdrożenie wymienionych systemów, istotnie poprawia bezpieczeństwo ruchu kolejowego, daje możliwość diagnostyki pojazdu w czasie rzeczywistym oraz stwarza możliwość wprowadzenia monitoringu przesyłek i wagonów. Ponadto, przez precyzyjne określenie odległości między pociągami, można znacznie zwiększyć przepustowość na poszczególnych liniach [6, 7].

Jak wspomniano, system GSM-R zapewnia cyfrową łączność głosową oraz cyfrową transmisję danych i dlatego bardzo istotną sprawą dla bezpieczeństwa

ruchu kolejowego jest odpowiednie zaplanowanie rozmieszczenia stacji bazowych systemu GSM-R (BTS – *Base Transceiver Station*) wzdłuż linii kolejowej. Rozmieszczenie stacji bazowych w systemach GSM-R może odbywać się w różny sposób w zależności od wymaganego bezpieczeństwa świadczonych usług telekomunikacyjnych. Wybór sposobu rozmieszczenia i połączenia stacji bazowych powinien być podyktowany klasą i przeznaczeniem linii kolejowej, jej przepustowością i wymaganym poziomem bezpieczeństwa. Wielkość komórek i ich kształt można zmieniać przez regulację poziomu mocy, stosowanie anten dokólnych, szerokokątnych bądź liniowych, a także regulacją kąta pochylenia anten w stosunku do toru kolejowego. System GSM-R ma zastosowanie służbowe, dlatego nie przewidziano w nim pokrycia radiowego terenów innych niż tereny kolejowe.

Zwiększenie bezpieczeństwa przesyłanych informacji w systemie GSM-R uzyskano także przez zastosowanie innego pasma częstotliwości niż w systemie GSM. System GSM-R pracuje w paśmie 876–880 MHz (*uplink* – komunikacja w stronę sieci) i 921–925 MHz (*down link* – komunikacja w kierunku terminali), co skutecznie oddziela to pasmo od pasma publicznego systemu GSM (odpowiednio: 890–915 MHz i 935–960 MHz).

Zwiększenie pewności transmisji informacji przez system GSM-R uzyskuje się przez zapewnienie odpowiedniego pokrycia radiowego wzdłuż drogi kolejowej, uzależnionego od szybkości poruszania się pociągów i świadczonej usługi [3].

<sup>1</sup> Dr inż.; Instytut Kolejnictwa, Laboratorium Automatyki i Telekomunikacji; e-mail: sgago@ikolej.pl.

<sup>2</sup> Dr hab. inż., prof. PW; Politechnika Warszawska, Wydział Transportu; e-mail: msi@wt.pw.edu.pl.

Poziom pokrycia radiowego dla transmisji danych jest uzależniony od maksymalnej dopuszczalnej prędkości dla konkretnej linii kolejowej:

- dla prędkości mniejszych niż 220 km/h poziom pokrycia radiowego nie powinien być mniejszy niż  $-95$  dBm,
- dla prędkości większych niż 280 km/h nie powinien być mniejszy niż  $-92$  dBm,
- dla prędkości z przedziału 220 km/h–280 km/h poziom pokrycia radiowego powinien zawierać się w granicach od  $-95$  dBm do  $92$  dBm.

Usługa transmisji głosu, niezależnie od maksymalnej dopuszczalnej prędkości powinna mieć pokrycie radiowe na poziomie minimum  $-98$  dBm. Prawdopodobieństwo pokrycia tymi poziomami nie powinno być gorsze niż 95% na każde 100 m linii kolejowej, mierzone z krokiem 1 m, natomiast przełączanie między dwiema komórkami (*handover*) powinno być realizowane wzdłuż linii kolejowej w normalnych warunkach nie gorzej niż w 99,5%. Połączenia o najwyższym priorytecie (alarmowe) powinny być zestawiane w czasie krótszym niż 2 s (dla 95% połączeń).

## 2. Bezpieczeństwo telekomunikacyjne sieci GSM-R

Zadaniem każdej sieci telekomunikacyjnej jest przesłanie informacji w zadanym czasie i z określoną stopą błędów. Sieć GSM-R 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.

W systemie ERTMS współpraca systemu GSM-R z systemem ETCS poziomu drugiego, nakłada na system GSM-R wymaganie wyrażone przez maksymalny możliwy czas niedostępności systemu wynoszący:

- transmisja danych dla systemu ETCS poziomu 2 i poziomu 3: 4 godziny na 10 lat (dostępność 99,995%),
- transmisja danych na inne potrzeby i usługa transmisji głosu: 8 godzin w ciągu roku (dostępność 99,91%).

Bezpieczeństwo telekomunikacyjne rozumiane jest jako zbiór metod oraz mechanizmów, których zastosowanie zapewnia wymagany poziom pokrycia radiowego, dostępności i ciągłości świadczenia usług

przez dobranie odpowiedniej struktury systemu i topologii sieci. Przeznaczenie systemu GSM-R oraz jego wpływ na bezpieczeństwo ruchu kolejowego nakłada na projektantów obowiązek zapewnienia systemowi odporności na uszkodzenia i zakłócenia. W tej sytuacji bardzo istotne jest opracowanie strategii zapewniającej utrzymanie niezbędnego poziomu bezpieczeństwa oraz przygotowanie planów funkcjonowania systemu w sytuacjach szczególnych zagrożeń. Scenariusze te są określane mianem *Disaster Recovery* (odtworzenie infrastruktury po awarii) i są to procesy i procedury związane ze wznowieniem lub utrzymaniem infrastruktury technicznej, krytycznej dla danej organizacji, po wystąpieniu katastrofy naturalnej lub wywołanej przez człowieka [5].

Operatorzy kolejowi muszą wyspecyfikować strategię *Disaster Recovery* dla swojej sieci, która to strategia będzie podstawą wdrożenia tej funkcjonalności. Dlatego należy ściśle określić następujące zagadnienia oraz wymagania:

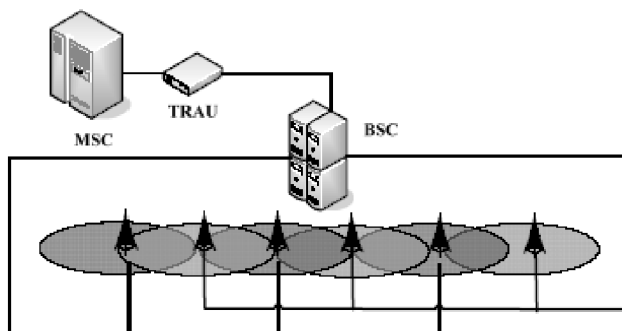
- definicję awarii,
- docelowy czas odtworzenia funkcjonalności systemu,
- poziom usług, które są priorytetowe po odtworzeniu (rodzaje połączeń usługi o wartości dodanej),
- metodę odtworzenia (interwencja ręczna, zdalne przeprogramowywanie, lokalizacja personelu).

Zależnie od priorytetowego poziomu usług, które po odtworzeniu muszą być zachowane, można zidentyfikować krytyczne urządzenia systemu GSM-R i zapewnić ich redundancję [8, 9].

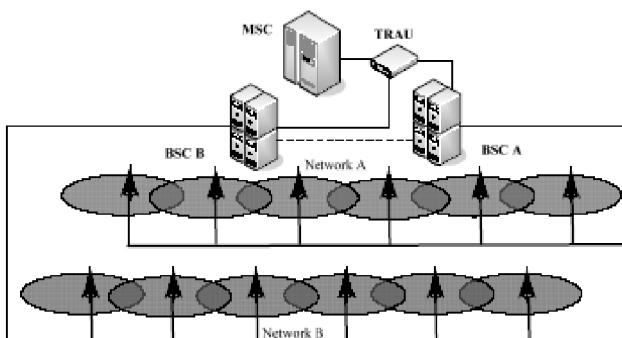
Naturalną metodą umożliwiającą zwiększenie niezawodności, bezpieczeństwa i dostępności sieci jest redundancja. Redundancja oznacza pewną nadmiarowość, tj. zastosowanie dodatkowych elementów w systemie. Nadmiarowość odnosi się zarówno do informacji przechowywanych w rejestrach, jak i do elementów sprzętowych, które mogą być dublowane w różny sposób m.in.  $n + 1$ ,  $1 + 1$ ,  $1:n$ . Praca tych elementów może przebiegać w różny sposób, np. w trybie gorącej lub zimnej rezerwy. Nadmiarowość może dotyczyć wykonywania kopii całości danych lub też tylko tych, których wartość jest szczególnie ważna. Nadmiarowość dotycząca systemu i składników systemu, może polegać na:

- budowie zapasowego całego systemu,
- zdublowaniu poszczególnych podsystemów, np. podsystem stacji bazowych BSS (*Base Station Subsystem*), podsystem komutacyjno-sieciowy NSS, centrum eksploatacyjno-utrzymawcze OMC,
- zdublowaniu poszczególnych elementów wchodzących w skład podsystemu, np. centrala MSC (*Mobile Switching Centre*), rejestr HLR (*Home Location Register*), rejestr VHF (*Visitors Location Register*).

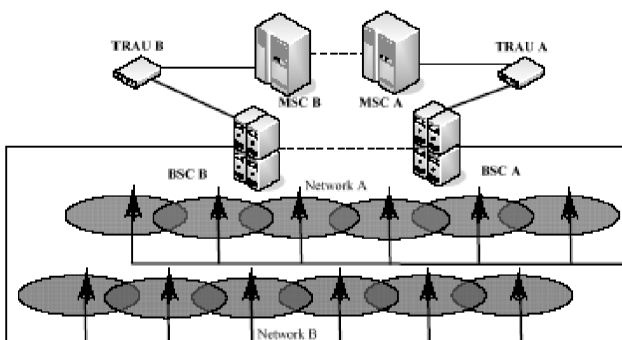
Oprócz dublowania poszczególnych elementów systemu, nadmiarowość jest również stosowana w odniesieniu do takich składników, jak np. karty procesorowe centrali MSC lub interfejsy. Taki rodzaj nadmiarowości jest określany mianem „redundancji wewnętrznej” i jest obecnie stosowany przez wszystkich producentów sprzętu GSM-R. System GSM-R może być zaimplementowany w rozmaitych topologiach (rys. 1, 2, 3).



Rys. 1. Komórki nakładające się z pokryciem radiowym realizowanym przez naprzemienne łańcuchy; opracowanie własne na podstawie [2]



Rys. 2. Komórki nakładające się z pokryciem radiowym realizowanym przez naprzemienne łańcuchy i redundancję sprzętową sterowników BSC; opracowanie własne na podstawie [2]



Rys. 3. Komórki nakładające się z pokryciem radiowym realizowanym przez naprzemienne łańcuchy i pełną redundancję sprzętową; opracowanie własne na podstawie [2]

Oznaczenia na rysunkach 1, 2, 3:

MSC (*Mobile Switching Centre*) – centrala komutacyjna,  
 BSC (*Base Station Controller*) – sterownik stacji bazowych,  
 TRAU (*Transcoder and rate Adaptation Unit*) – transkoder.

Należy wziąć pod uwagę, że uzyskana stopa procentowa poprawnie zrealizowanych usług typu *handover* musi wynosić przynajmniej 99,5% przy standardowych warunkach działania (warunki atmosferyczne, obciążenie sieci itd.). System GSM-R ma działać poprawnie w środowisku kolejowym, które jest „agresywne” w zakresie kompatybilności elektromagnetycznej EMC. W tym środowisku w bezpośredniej bliskości działają systemy trakcji elektrycznej o dużych mocach (MW) i systemy telekomunikacyjne o małych mocach (mW, W) i dlatego System GSM-R musi spełniać bardziej rygorystyczne normy w tym zakresie, niż publiczny system GSM. Ponadto system GSM-R powinien być odporny na nieuprawniony dostęp i poufność przesyłanych informacji. System powinien realizować połączenia, przełączenia i przesyłanie danych w założonych reżymach czasowych. W celu spełnienia tych wymagań, ważna jest nie tylko radiowa część systemu GSM-R, ale również ważna jest część łączności przewodowej, bez której cały system GSM-R, jak również system ERTMS nie mógłby poprawnie pracować. Z tego względu konieczne jest stosowanie teletransmisyjnych struktur samonaprawialnych, zapewnienie rezerwowych dróg transmisyjnych, synchronizacji, zintegrowanego systemu zarządzania i kontroli dostępu. Tylko kompleksowe działania mogą zapewnić bezpieczeństwo systemu GSM-R, a tym samym zapewnić bezpieczeństwo systemu ERTMS.

### 3. Krytyczna analiza założeń do systemu GSM-R

W celu spełnienia przytoczonych wymagań, w wielu Zarządach Kolejowych, w tym w Polsce, przyjęto zasadę, że architektura sieci GSM-R w części przytorowej będzie w 100% redundantna, tzn. zainstalowano podwójny podsystem NSS i podwójny podsystem BSS. Połączenie pomiędzy tymi systemami jest realizowane przez podwójne, kierowane różnymi drogami trakty telekomunikacyjne. W przypadku awarii podstawowej konfiguracji systemu, automatycznie następuje przełączenie na konfigurację rezerwową.

Część pokładowa systemu GSM-R nie ma pełnej redundancji. O ile transmisja danych pomiędzy centrum zarządzania ruchem i jadącym pociągiem realizowana przez tzw. podwójne radio EDOR (*ETCS Data Only Radio*), o tyle radio kabinowe (*CabRadio*), jest pojedynczym urządzeniem. Oczywiście można przyjąć, że w normalnych warunkach, podstawą do bezpiecznego prowadzenia ruchu na liniach kolejowych wyposażonych w system ETCS poziomu 2 jest transmisja danych, natomiast w sytuacjach „awaryjnych”, gdy należy wysłać sygnał REC (*Railway Emergency*



Call), konieczne jest zrealizowanie połączenia grupowego głosowego VGCS (*Voice Group Call Service*) i podanie przyczyny wysłania tego sygnału, bądź też odsłuchania tego komunikatu. W przypadku usterki radia kabinowego, maszynista prowadzący pociąg będzie pozbawiony takich możliwości, co z kolei może mieć wpływ na bezpieczeństwo ruchu kolejowego.

Analizując wymagania UIC na systemy sterowania ruchem kolejowym, np. ERTMS można odnieść wrażenie, że usługa telekomunikacyjna transmisji głosu została mocno zmarginalizowana na rzecz transmisji danych. Zdaniem autorów, proporcje te należałoby zweryfikować. Transmisja danych przynosi informacje „beznamiętne” i w sytuacjach awaryjnych jest niewystarczająca, gdy tymczasem informacja głosowa oprócz „beznamiętnych” informacji przekazuje także emocje. Oczywiście, jak już wcześniej wspomniano, po wysłaniu sygnału REC musi nastąpić połączenie grupowe VGCS, ale w całym łańcuchu redundantnych urządzeń GSM-R, jak pokazuje praktyka, jest pojedyncze radio kabinowe.

Zgodnie z obowiązującym w Polsce prawem, każdy odcinek linii kolejowej wyposażony w system GSM-R musi mieć wystawiony certyfikat zapewniający, że zainstalowany system GSM-R spełnia wymagania interoperacyjności przedstawione w dokumentach UIC (TSI CCS). Spełnienie tych wymagań sprawdza się przez pomiary i testy opisane w aktualnych dokumentach UIC [5].

Podstawowym czynnikiem, który decyduje o sprawnym działaniu sieci GSM-R jest zapewnienie odpowiedniego pokrycia radiowego wzdłuż drogi kolejowej. Z tego względu pomiary natężenia pola radiowego powinny być prowadzone z odpowiednią starannością, tzn. pokrycie pola ma być zmierzone z rozdzielczością 0,1 m na każde 100 m toru kolejowego mierzonego z krokiem 1 m (według dokumentu). Suma długości odcinków, na których stwierdzono obniżenie pola poniżej przyjętego poziomu ( $-95$  dBm) nie może być większa niż 5 m (95% pokrycia na każde 100 m), z dokładnością  $\pm 0,1$  m, a najkrótsza przerwa, wynikająca z przyjętej metody pomiarowej, powinna być równa 0,1 m. Liczba przerw na odcinkach pomiarowych może mieścić się w granicach od jednej długiej przerwy (5 m) do 50 przerw 0,1 m.

Należy postawić pytanie, czy taka dokładność pomiaru natężenia pola radiowego na potrzeby ETCS jest konieczna, czy może nie jest wystarczająca, ponieważ np. w niektórych krajach pomiar pola radiowego mierzy się z dokładnością 0,075 m a nawet 0,04 m [10]. Zdaniem autorów ta metoda pomiarowa jest bardzo nadmiarowa, a w związku z tym nieekonomiczna w stosunku do aplikacji ETCS. Analizując zalecaną przez UIC metodę pomiaru natężenia pola radiowego w paśmie GSM-R na potrzeby ETCS można wysnuć następujące stwierdzenia:

1. Pomiary powinny być przeprowadzane specjalnym pojazdem pomiarowym, ponieważ odcinki pomiarowe toru są związane z obwodem koła pojazdu pomiarowego; powoduje to, że teoretycznie, przed każdą serią pomiarową powinien być zmierzony obwód koła „pomiarowego” pojazdu po to, aby zminimalizować błędy pomiaru drogi.
2. Bieżnie kół pojazdów kolejowych są stożkowe i średnice kół są mierzone w określonym miejscu powierzchni stożkowej. Powstaje pytanie, jaka musi być dokładność pomiaru średnicy koła „pomiarowego” lokomotywy lub jego obwodu, aby pomiary mogły być wiarygodne na wielokilometrowych odcinkach pomiarowych?
3. Pojazdy kolejowe podczas jazdy „wężykują”, wprowadzając tym samym dodatkową niedokładność pomiarów drogi.

Wymienione ustalenia doprowadzają do wniosku, że na wielokilometrowych liniach kolejowych nie jest możliwe określenie miejsca, w którym występuje ewentualna „dziura radiowa”. W celu zilustrowania tego wniosku podano następujący przykład:

- średnica koła lokomotywy Husarz EU44 wynosi max 1150 mm, min. 1070 mm,
- obwód koła dla średnicy  $d = 1150$  mm wynosi 3611 mm,
- na drodze długości 10 km koło wykona około 2769 obrotów,
- zakładany błąd pomiarowy pomiaru średnicy koła 1%, tj. 1,1 mm,
- średnica koła z uwzględnieniem błędu pomiarowego  $d_1 = 1150 - 1,1 = 1148,9$  mm,
- obwód koła dla średnicy  $d_1$  wynosi 3607,5 mm,
- przebyta podczas 2769 obrotów droga, wynosi 9 989 294 mm,
- różnica przebytej drogi przez koło o średnicy  $d$  i  $d_1$  na odcinku 10 km wynosi:  
 $10\,000\,000 - 9\,989\,294 = 10\,706$  mm  $\rightarrow 10,7$  m.

Reasumując, można stwierdzić, że dokładna lokalizacja dziur 0,1 m a nawet 5 m na liniach kolejowych jest praktycznie niemożliwa. Można postawić pytanie, czy do oceny pokrycia radiowego jest konieczna informacja, w których miejscach linii kolejowej występują dziury radiowe o określonej wielkości, a może wystarczy tylko stwierdzenie binarne, że dziury występują lub nie występują bez określania ich pozycji.

Z przyjętej metody pomiarowej wynika, że dokładność pomiaru długości dziury radiowej wynika z częstości pomiarów. Jak już wspomniano, pomiary są wykonywane na odcinkach linii kolejowej co 0,1 m. W tym przypadku dokładność pomiarów wynosi  $\pm 0,1$  m, tzn., że maksymalna dziura radiowa może zawierać się w granicach 4,9–5,1 m. Interpretując jednocześnie zapis o 95% pokryciu można stwierdzić,

że suma dziur na każde 100 m nie może przekroczyć 5 m. Teoretycznie na każde 100 m linii kolejowej może przypaść wiele mniejszych dziur, np. o długości 0,2 m, których sumaryczna długość nie może przekroczyć 5 m, ale każda będzie mierzona z tolerancją  $\pm 0,1$  m, co powoduje zwiększenie niedokładności pomiarów.

Innym aspektem wymagania na pokrycie radiowe linii kolejowej (*Eirene System Requirements Specification v. 15.4.0:6/01/2015*) jest dopuszczenie do niepełnego pokrycia radiowego na każdym 100 m odcinku linii kolejowej (95% pokrycia) i w związku z tym maksymalna długość dziury może wynieść 5 m. Zdaniem autorów, z praktycznego punktu widzenia, wystarczyłoby wykrywać tylko dziury radiowe przekraczające długość 5 m, ponieważ dziury mniejsze od 5 m z założenia nie mają znaczenia dla działania systemu GSM-R. W celu uniknięcia różnych interpretacji, zalecenie UIC powinno być pod tym względem znowelizowane.

Drugim powodem do nowelizacji zalecenia UIC jest fakt, że jak już wspomniano, pomiary należy wykonywać, co 0,1 m przy maksymalnej dopuszczalnej prędkości pociągów na badanej linii kolejowej. Jak wykazuje praktyka, każda maksymalna prędkość dla linii kolejowej obowiązuje tylko na pewnych odcinkach tej linii. Jeżeli przeprowadzi się badania pokrycia pola radiowego dla tej konkretnej linii, to np. po modernizacji torów zwiększających liczbę lub długość odcinków maksymalnej prędkości na tej linii, należałoby ponownie przeprowadzić pomiary pokrycia radiowego (co najmniej na zmodernizowanych odcinkach tej linii), pomimo, że w radiołączności nic się nie zmieniło (emitowana moc jest taka sama, ustawienie anten na masztach stacji bazowych nie uległo zmianie), a system radiowy został dopuszczony do eksploatacji. Ponowne pomiary to dodatkowe koszty.

Czy można to zmienić? Zdaniem autorów, jest to możliwe pod warunkiem zmiany metody pomiarowej pokrycia pola radiowego. Po analizie obowiązującej metody pomiarowej można ustalić przesłanki, którymi kierowali się autorzy zalecanej metody:

- pomiary co 0,1 m przy maksymalnej szybkości miały zapewnić dokładność pomiaru długości dziur radiowych,
- wymagane 95% pokrycie radiowe na każde 100 m linii kolejowej praktycznie wskazuje, że niebezpieczne są dziury 5 m mierzone z dokładnością 0,1 m,
- dziury mniejsze niż 5 m z założenia nie są szkodliwe dla systemów,
- dokładna lokalizacja dziur w każdym stumetrowym odcinku nie jest istotna.

Biorąc pod uwagę opisane założenia, można zaproponować inną metodę pomiaru pokrycia radiowego, która spełni założone oczekiwania, a jednocześnie wyeliminuje niedogodności dotychczasowej metody, które wcześniej opisano.

Dotychczasowa metoda pomiaru pokrycia pola radiowego jest realizowana w „dziedzinie drogi” (pomiar co 0,1 m, z maksymalną prędkością przypisaną do danej linii kolejowej), a proponowana metoda to pomiary w „dziedzinie czasu” tzn., że pomiary będą wykonywane w określonych przedziałach czasowych. Jeżeli proponowana metoda ma spełnić warunki dotychczasowej metody, to częstość pomiarów, równa:

$$t = f(s, v), \text{ czyli } t = s/v,$$

dla  $s = 0,1$  m i np.  $v = 220$  km/h,  $t = 1,64$  ms, tzn. że jeśli będą pobierane próbki pomiarowe co 1,64 ms to przy szybkości 220 km/h będą wykrywane dziury radiowe o długości 0,1 m, natomiast jeśli prędkość będzie mniejsza, to dokładność pomiarowa będzie większa, tj. będą wykrywane mniejsze dziury radiowe. W ten sposób, np. przy modernizacji linii kolejowej zwiększającej liczbę odcinków lub ich długość o maksymalnej dla danej linii prędkości, nie będzie konieczności przeprowadzania ponownych pomiarów pokrycia radiowego. Można natomiast zmierzyć w ten sposób pole pokrycia radiowego dla dowolnej maksymalnej prędkości, wykonując pomiary z dowolnie niższą niż dopuszczalna prędkość ruchu pociągów na danej linii kolejowej.

Lokalizacja dziur radiowych może być dokładniejsza niż w obowiązującej metodzie, np. przez rejestrację prędkości jazdy pociągu za pomocą systemu GPS lub przez korelację czasu jazdy z pomiarami prędkości zarejestrowanymi przez odometr. Zalety proponowanej metody to:

- metoda jest znacznie dokładniejsza od obowiązującej metody, ponieważ stosowane obecnie zegary w systemach pomiarowych mają bardzo dużą dokładność w przeciwieństwie do pomiarów obwodu koła pojazdu trakcyjnego, szczególnie w warunkach polowych,
- pomiary pokrycia pola radiowego nie są związane z konkretnym pojazdem trakcyjnym i nie są uzależnione od prędkości jazdy pociągów,
- lokalizacja dziur radiowych jest bardziej dokładna niż w dotychczasowej metodzie (eliminacja błędów pomiaru obwodu koła pomiarowego, eliminacja efektu „wężykowania” pojazdu).

#### 4. Zakończenie

Biorąc pod uwagę opisane rozważania, można wysnuć następujące wnioski:

1. Dużo lepszą i tańszą metodą od zalecanej przez UIC jest metoda pomiaru pokrycia pola radiowego w dziedzinie czasu, a nie w dziedzinie długości linii kolejowej, z pozycjonowaniem pojazdu trakcyjnego przy pomocy systemu GPS.
2. Obecne przyrządy pomiarowe mogą pobierać próbki z częstością 1 ms i podają średnią wartość wyliczoną zgodnie z rachunkiem prawdopodobieństwa.

3. Pozycjonowanie pojazdu pomiarowego przez system GPS wydaje się być wystarczające, biorąc pod uwagę czasy przyjęte przez poszczególne Zarządy kolejowe za przerwę w transmisji danych w systemie ETCS.
4. Przy badaniu pola radiowego na potrzeby systemu GSM-R powinny być wykrywane „dziury radiowe” większe niż 5 m.
4. Instrukcja pomiarów i oceny technicznej zestawów kołowych pojazdów Trakcyjnych Bt-11, Warszawa, PKP Intercity, 2010.
5. Lehrbaum M.: *GSM-R Disaster Recovery, GSM-R Business Operations*, Warsaw, October, 2009.
6. Pawlik M.: *Polski Narodowy Plan Wdrażania Europejskiego Systemu Zarządzania Ruchem Kolejowym ERTMS*, Technika Transportu Szynowego, 1/2007.
7. Siergiejczyk M., Pawlik M., Gago S.: *Safety of the new control command European System*, CRC Press / Balkema, 2015.

## Literatura

1. Białoń A.: *Masterplan wdrażania ERTMS w perspektywie krajowej i wspólnotowej*, Transport i Komunikacja 2010, nr 2.
2. Ding Xun, Chen Xin, Jiang Wenyi: *The Analysis of GSM-R Redundant Network and Reliability Models on High-speed Railway*. „2010 International Conference on Electronics and Information Engineering (ICEIE 2010)”, Kyoto, Japan, 2010.
3. European Integrated Railway Radio Enhanced Network GSM-R System Requirements Specification Version 15.4.0 Date:6 /03/ 2015.
8. Siergiejczyk M., Gago S.: *Zagadnienia bezpieczeństwa systemu GSMR w aspekcie wspomaganie transportu kolejowego*, Logistyka Nr. 6/2012, Poznań 2012.
9. Siergiejczyk M., Gago S.: *Eksploatacja systemu GSM-R w polskim kolejnictwie*. Logistyka nr 4, 2015.
10. White Paper Specialties for GSM-R measurements, Rohde&Schwarz.
11. Yuan C.: *Reliability Analysis of CTCS Based on Two GSM-R Double Layers Networks Structures Communications and Mobile Computing*, 2009. CMC '09. WRI International Conference on 6–8 January 2009.

## Analysis of the UIC Recommended Radio Coverage Measurement Methods in GSM-R Systems

### Summary

The article presents the UIC recommended radio coverage measurement method in GSM-R system, which is the basis for correct data transmission for ETCS needs. The most important principles of this method for radio frequency coverage are analysed. According to the authors, the measurement method adopted by the UIC has many shortcomings and therefore they propose another method of measuring radio coverage for data transmission in the GSM-R system.

**Keywords:** method, radio coverage, transmission, GSM-R system

## Анализ рекомендуемого МСЖД метода измерения дальности действия радиоволн в системах GSM-R

### Резюме

В статье обсужден рекомендуемый МСЖД метод измерения дальности действия радиоволн в системах GSM-R, которое является основой для правильной передачи данных для нужд системы европейской системы управления движением поездов ETCS. Проанализированы основные правила измерений дальности действия радиоволн в этом методе. По мнению авторов статьи, принят МСЖД метод имеет многие недостатки, поэтому авторы советуют другой метод измерения дальности действия радиоволн для нужд передачи данных в системе GSM-R.

**Ключевые слова:** метод, дальность действия радиоволн, передача, система GSM-R