



Andrzej BIAŁOŃ, Artur DŁUŻNIEWSKI

ANALIZA POKRYCIA RADIOWEGO DLA ŁÓDZKIEGO WĘZŁA KOLEJOWEGO NA PRZYKŁADZIE KOLEJOWEGO SYSTEMU ŁĄCZNOŚCI RADIOWEJ GSM-R

Streszczenie

W artykule opisano zagadnienia związane z symulacją komputerową pokrycia radiowego naziemnych systemów łączności radiowej. Jako przykład pokazano symulację komputerową pokrycia radiowego standardu GSM-R dla najciekawszych przypadków na terenie Łódzkiego Węzła Kolejowego. Pokazano problemy wynikające z przeprowadzonej analizy komputerowej będące konsekwencją z braku możliwości uwzględnienia wszystkich przypadków przez nowoczesne aplikacje komputerowe.

WSTĘP

Celem przedstawionej analizy pokrycia radiowego jest propozycja wykonania modernizacji infrastruktury radiokomunikacyjnej wchodzącej w zakres Łódzkiego Węzła Kolejowego (ŁWK). Linie kolejowe wchodzące w skład ŁWK powinny zostać dostosowane do potrzeb, skali i struktury przewozów kolejowych, zarówno w wymiarze ilościowym i jakościowym, a także do efektywnej integracji poszczególnych gałęzi transportu w oparciu o zdefiniowane węzły przesiadkowe i integracyjne. Aby zrealizować powyższe założenia należy zmodernizować lub wybudować od nowa infrastrukturę kolejową w całym jej zakresie zatem również w zakresie infrastruktury radiokomunikacyjnej.

Zakres przedstawionej analizy obejmuje obszar linii kolejowych 1, 14,15,16,17, 22, 24, 25, 53, 534, 535, 536, 539, 540 o łącznej długości 357,011 km

W zakresie radiołączności wykorzystywanego obecnie analogowego systemu pracującego na częstotliwości 150MHz instalowane urządzenia powinny spełniać istniejące wymagania PLK [3] i [4] oraz właściwe normy przedmiotowe. Eksploatowany na PKP PLK system łączności radiowej jest systemem wyeksploatowanym technicznie i przestarzałym technologicznie. PKP PLK rozpoczęła wdrażanie pilotowego odcinka linii z zainstalowanym systemem łączności w standardzie GSM-R. Zakres migracji z systemu analogowego 150MHz do systemu cyfrowej łączności radiowej GSM-R, powinien być zgodny z Narodowym Planem Wdrażania ERTMS [1].

Niniejsza analiza poświęcona jest określeniu technicznej wykonalności sieci ERTMS/GSM-R na terenie Łódzkiego Węzła Kolejowego. W toku prowadzonej analizy pod uwagę wzięto całą infrastrukturalną część architektury sieci GSM-R rozbitą na poszczególne

podsystemy: zespół stacji bazowych (BTS), część komutacyjno-sieciową (NSS) oraz zespół eksploatacji i utrzymania (OMC).

W ramach analizy technicznej wykonalności dostępowego interfejsu radiowego wykonano wstępne planowanie radiowe, w wyniku którego powstała lista kandydackich stacji bazowych BTS potrzebnych do zapewnienia odpowiedniego zasięgu sygnału użytecznego na liniach przeznaczonych do zabudowy systemem GSM-R.

Uzyskane wyniki planowania radiowego zostały następnie użyte do analizy przyłączenia nowych stacji bazowych BTS do infrastruktury GSM-R PKP PLK S.A (która obecnie jest w końcowej fazie budowania).

1. METODA PLANOWANIA POKRYCIA RADIOWEGO

Zgodnie z obowiązującymi wymogami nałożonymi na sieci ERTMS/GSM-R na potrzeby ETCS-u zaprojektowany system musi posiadać strukturę nakładkową. Oznacza to, że składa się z dwóch warstw, tzw. nieparzystej (N) oraz parzystej (P). Zasięg na wszystkich planowanych liniach musi być zapewniony równocześnie z obu warstw sieci. Dzięki temu można uzyskać wysoką niezawodność – nawet w przypadku awarii jednej z komórek pokrycie zostanie zapewnione przez elementy przeciwnej warstwy.

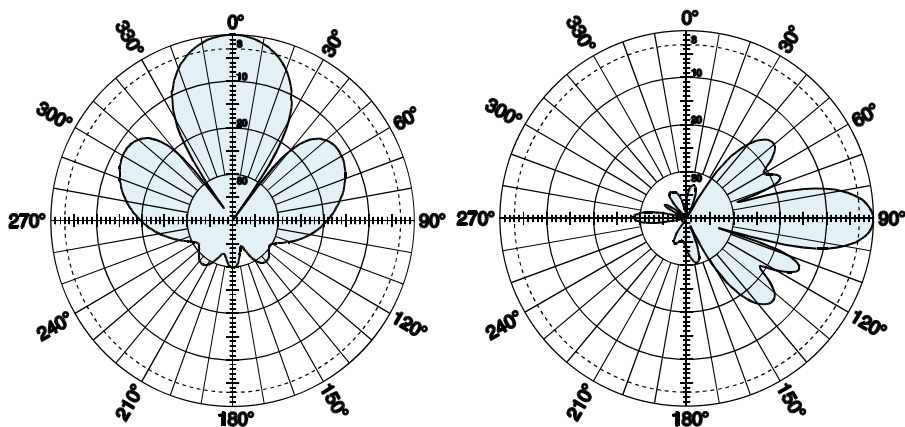
Do planowania radiowego wykorzystano oprogramowanie ATDI ICS Telecom. Mapy cyfrowe zostały pozyskane z Centralnego Ośrodka Dokumentacji Geodezyjnej i Kartograficznej (CODGiK) w postaci NMT oraz klas pokrycia terenu (Clutter) dla projektowanych linii mających postać pasków obejmujących linie kolejowe węzła.

1.1. Założenia metody

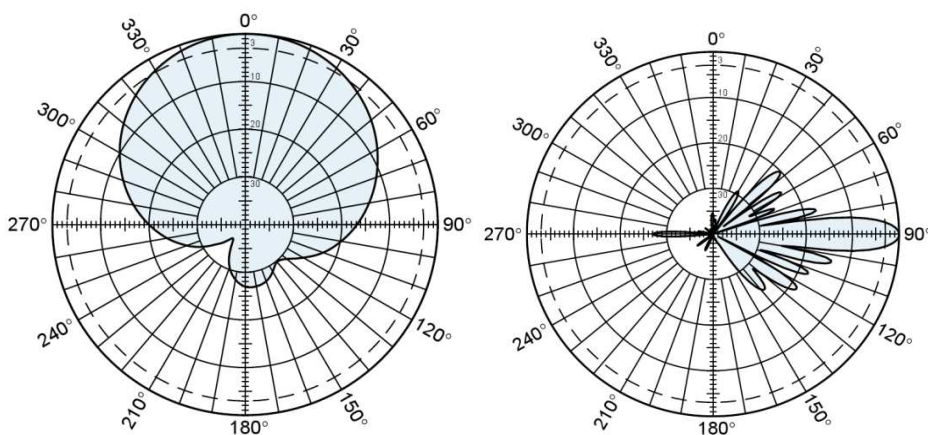
W oparciu o dostępny na rynku sprzęt dokonano wyboru sprzętu wzorcowego dla interfejsu radiowego w sposób zapewniający maksymalną ogólność. Założono konfigurację dwusektorową stacji bazowej w każdej lokalizacji z połączeniem jednostki radiowej z anteną za pomocą kabla koncentrycznego. Konfiguracja taka pozwala na uzyskanie największych zasięgów (brak strat na dzielniki mocy jak w przypadku podziału sygnału z jednej jednostki radiowej do dwóch anten) przy zachowaniu optymalnego ustawienia z punktu widzenia zakłóceń (mniejsza wrażliwość na interferencje wewnętrzny-systemowe). W celu zapobieżenia zjawisku gwałtownego zaniku sygnału pod anteną i tym samym groźbie nieskutecznego przeniesienia połączenia między sektorami założono zastosowanie niskostratnych dzielników – tapperów, które odpowiadają za wprowadzenie części mocy do sąsiedniego sektora.

W celu uproszczenia analizy przyjęto jednolitą wysokość zawieszenia anten. Symulacji dokonano dla wysokości 35m, co jest kompromisem pomiędzy kosztem budowy a zasięgiem stacji. Ze względu na konieczność dostosowania stacji zarówno do terenów otwartych jak również przewyższenia przeszkód w postaci lasu bądź wysokich zabudowań, taka wysokość wieży jest optymalna ze względu na minimalizację liczby stacji bazowych.

Przyjęto dwa typy anten sektorowych: o wąskiej (30 stopni) oraz szerokiej (60 stopni) wiązce głównej. Anteny o wąskiej charakterystyce przeznaczone są do doświetlania korytarzy głównie na odcinkach liniowych, anteny o szerszej wiązce stosowane są na rozjazdach, dużych obszarach manewrowych oraz na nieprostoliniowych odcinkach. Charakterystyki kierunkowe w płaszczyźnie poziomej i pionowej zamieszczone są na rysunku 1 i 2.



Rys. 1. Charakterystyka kierunkowa pozioma oraz pionowa anteny o szerokości wiązki 30 stopni



Rys.2. Charakterystyka kierunkowa pozioma oraz pionowa anteny o szerokości wiązki 65 stopni

1.2. Budżet łącza radiowego

Symulacji zasięgu stacji bazowych dokonano wykorzystując model propagacyjny Okumura-Hata. Model ten jest szeroko stosowany do symulacji zasięgu sieci komórkowych. Ponadto algorytm symulacyjny uwzględnił straty wynikające z dyfrakcji (m.in. przesłonięcia bezpośredniej widoczności przez przeszkody terenowe).

Dla wybranej konfiguracji stacji bazowej opracowano budżet łącza radiowego dla czterech przypadków zdefiniowanych w standardzie EIRENE. W przeprowadzanej analizie wzięto pod uwagę:

- minimalny poziom odbieranej mocy – wartości dla końcówki klienckiej zostały zaczerpnięte z rekomendacji przedstawionej w standardzie EIRENE. Poziomy mocy uwzględniają 3dB zapas na tłumienie kabla oraz 3dB margines na dodatkowe straty (m.in. starzenie materiału). Wartość dla stacji bazowej przyjęto typową.
- prawdopodobieństwo nawiązania połączenia – zgodnie z EIRENE przyjęto 95%, zdefiniowane jako prawdopodobieństwo, że w każdym miejscu pomiaru mocy (rozmeszczonym co 100m) zmierzony poziom mocy będzie większy lub równy zakładanemu progowi.
- odchylenie standardowe – parametr przyjęty dla modelu propagacyjnego. Dla modelu Okumura-Hata przyjęte jest odchylenie 7dB w terenie o mieszanej charakterystyce.

- margines zaniku – wartość obliczana na podstawie odchylenia standardowego modelu oraz prawdopodobieństwa nawiązania połączenia. Przy założeniu rozkładu logarytmiczno-normalnego, wartości te są stabelaryzowane.
- margines handoveru – margines konieczny do skutecznej realizacji przeniesienia między komórkami. Wartość marginesu została przyjęta z praktyki operatorskiej.
- margines bezpieczeństwa – zapas uwzględniający m.in. starzenie się infrastruktury.
- tłumienie toru radiowego – przyjęto maksymalne tłumienie rekomendowane przez EIRENE – 3dB.
- zysk anten – zysk energetyczny przyjętych anten wzorcowych (dla stacji klienckiej 0dBi zgodnie z EIRENE).
- zysk odbioru zbiorczego – czynnik odpowiadający zyskowi wynikającemu ze zjawiska propagacji wielotorowej i depolaryzacji sygnału.
- strata tappera – strata wprowadzana przez niskostratny sprzęgacz (tapper) – przyjęto 0.5dB.
- strata sprzęgacza – strata urządzenia odpowiedzialnego za sumowanie sygnałów z więcej niż jednego TRX do toru antenowego.
- moc nadawana – dla stacji klienckiej przyjęto wartość z rekomendacji EIRENE, dla stacji bazowej przyjęto wartość typową.

W tabeli nr 2 przedstawiono parametry jakie uwzględniono przy bilansowaniu mocy łącza radiowego.

Tab. 1. Budżet mocy łącza radiowego

Konfiguracja dwusektorowa		Głos i dane niekrytyczne		ETCS poziom 2/3					
		Prędkość poniżej 220 km/h		Prędkość poniżej 220 km/h		Prędkość pomiędzy 220 a 280 km/h		Prędkość ponad 280km/h	
Obliczenie min. poziomu odbieranej mocy	Jedn.								
Rekomendowany min. poziom odbieranej mocy	dBm	-98.0		-95.0		-95.0		-92.0	
Margines zaniku	dB	11.5							
Margines handoveru	dB	2.0							
Minimalny poziom odbieranej mocy	dBm	-84.5		-81.5		-81.5		-78.5	
Kierunek transmisji (uplink/downlink):		UL	DL	UL	DL	UL	DL	UL	DL
Strona odbiorcza:		BTS	MS	BTS	MS	BTS	MS	BTS	MS
Minimalny poziom odbieranej mocy	dBm	-112.0	-84.5	-112.0	-81.5	-112.0	-81.5	-112.0	-78.5
Margines bezpieczeństwa	dB	3.0	0.0	3.0	0.0	3.0	0.0	3.0	0.0
Tłumienie toru antenowego (kable, łącza)	dB	3.0	0.0	3.0	0.0	3.0	0.0	3.0	0.0
Zysk anteny	dB	18.5	0.0	18.5	0.0	18.5	0.0	18.5	0.0
Zysk odbioru zbiorczego	dB	2.0	0.0	2.0	0.0	2.0	0.0	2.0	0.0
Moc odbierana izotropowa	dBm	-126.5	-84.5	-126.5	-81.5	-126.5	-81.5	-126.5	-78.5
Strona nadawcza:		MS	BTS	MS	BTS	MS	BTS	MS	BTS
Moc nadawana	dBm	39.0	47.0	39.0	47.0	39.0	47.0	39.0	47.0
Strata sprzęgacza	dB	0.0	2.0	0.0	2.0	0.0	2.0	0.0	2.0
Tłumienność toru antenowego	dB	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0
Strata tappera	dB	0.0	0.5	0.0	0.5	0.0	0.5	0.0	0.5
Zysk anteny	dB	0.0	18.5	0.0	18.5	0.0	18.5	0.0	18.5
Maksymalna moc EIRP	dBm	36.0	60.0	36.0	60.0	36.0	60.0	36.0	60.0
Margines na straty propagacyjne	dB	162.5	144.5	162.5	141.5	162.5	141.5	162.5	138.5
Zbalansowanie łącza:									
Różnica budżetu uplink/downlink	dB	18.0		21.0		21.0		24.0	
Strona limitująca zasięg		Downlink		Downlink		Downlink		Downlink	
Maksymalne straty propagacyjne łącza	dB	144.5		141.5		141.5		138.5	

We wszystkich przypadkach stroną ograniczającą zasięg stacji jest kierunek downlink, czyli łączność od stacji bazowej do terminala klienckiego. Na podstawie maksymalnych dopuszczalnych strat na propagację w łączu dla każdego z tych przypadków obliczono maksymalne przewidywane zasięgi dla różnych warunków środowiskowych. Wyniki zostały podsumowane w tabeli numer 3.

Tab. 2. Szacowany zasięg stacji bazowych

Konfiguracja dwusektorowa		Głos i dane niekrytyczne	ETCS poziom 2/3		
		Prędkość poniżej 220 km/h	Prędkość poniżej 220 km/h	Prędkość pomiędzy 220 a 280 km/h	Prędkość ponad 280km/h
Zasięg komunikacji (Okumura-Hata)					
Wysokość zawieszenia anteny pojazdowej	m	4.0			
Wysokość zawieszenia anteny stacji bazowej	m	35.0			
Częstotliwość	MHz	921.2			
Odchylenie standardowe modelu	dB	7.0			
Prawdopodobieństwo nawiązania łączności	%	95.0			
Margines na zaniki (rozkład log-normal)	dB	11.5			
Promień komórki (duże miasto)	km	4.5	3.7	3.7	3.0
Promień komórki (miasto)	km	5.3	4.3	4.3	3.6
Promień komórki (teren podmiejski)	km	10.3	8.4	8.4	6.9
Promień komórki (teren otwarty)	km	35.13	28.80	28.80	23.61

Uzyskane zasięgi wahają się od 3 km w mieście o gęstej zabudowie do ponad 30 km dla terenu całkowicie otwartego. Symulacja komputerowa zakłada przejście linii kolejowych objętych projektem głównie przez tereny miejskie lub typu podmiejskiego (z rzadką zabudową i zadrzewieniem).

Przeprowadzona analiza łącza radiowego oraz zasięgów wskazuje, że aby na terenie ŁWK pokrycie radiowe było na wymaganym poziomie konieczne jest wykorzystanie 76 Obiektów radiowych z podziałem na 149 sektory Stacji Bazowych.

1.3. Rozbudowa w wymaganym zakresie segmentów sterujących siecią GSM-R (NSS, OSS)

Zwiększanie zasięgu sieci GSM-R poprzez budowę nowych stacji bazowych (BTS) bądź dodawanie do istniejącej struktury nośnych radiowych (TRX) może nieść za sobą konieczność rozbudowy innych podsystemów architektury GSM-R tj. NSS (Network Station Subsystem) i OSS (Operation Support System). W praktyce może to się wiązać zarówno z koniecznością doposażenia sprzętowego jak i rozszerzenia licencyjnego.

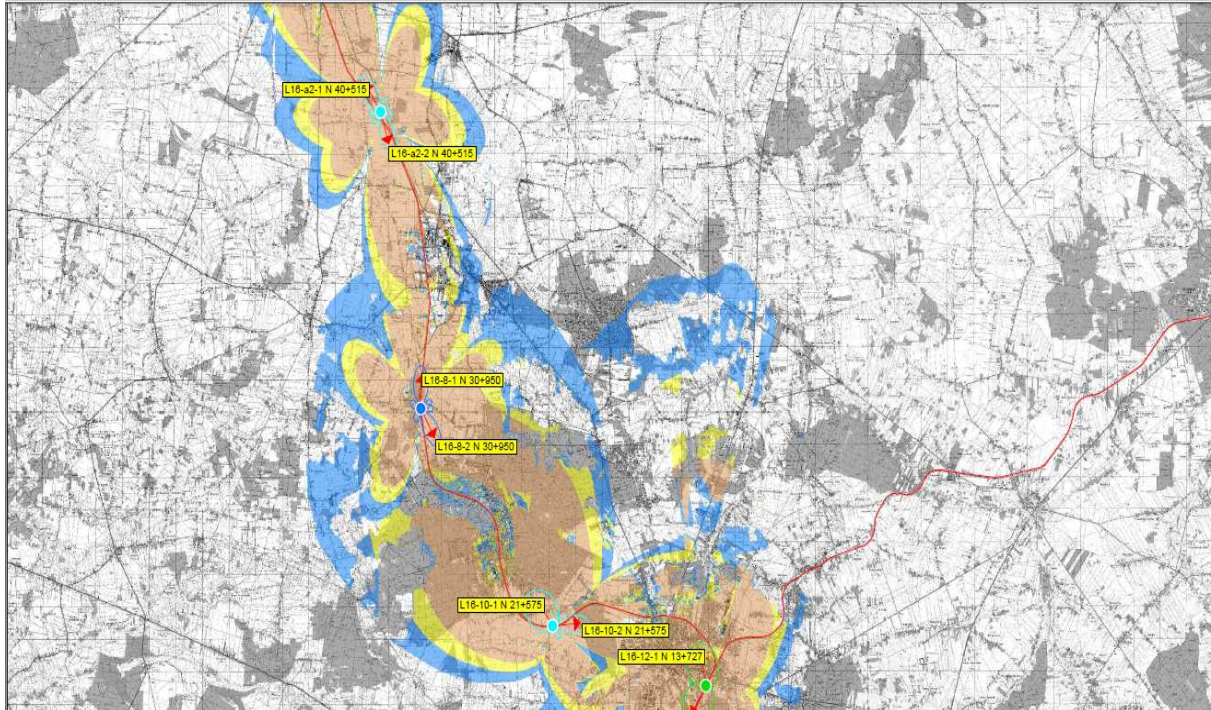
Dodatkowo należy przewidzieć wdrożenie jednostek transkoderów TRAU oraz jednostek PCU, które poprzez styki A oraz Agprs pozwolą na połączenie tych jednostek z MSC, należącym do segmentu NSS.

W ramach wdrożenia należy rozbudować MSC o karty MGW dla podsystemu NSS. Należy przewidzieć odpowiednie licencje, których wymagana liczba powinna zostać oszacowana globalnie biorąc pod uwagę zapotrzebowanie na zasoby w poszczególnych węzłach, na całej linii oraz w innych zabudowywanych systemem GSM-R odcinkach linii kolejowych w Polsce.

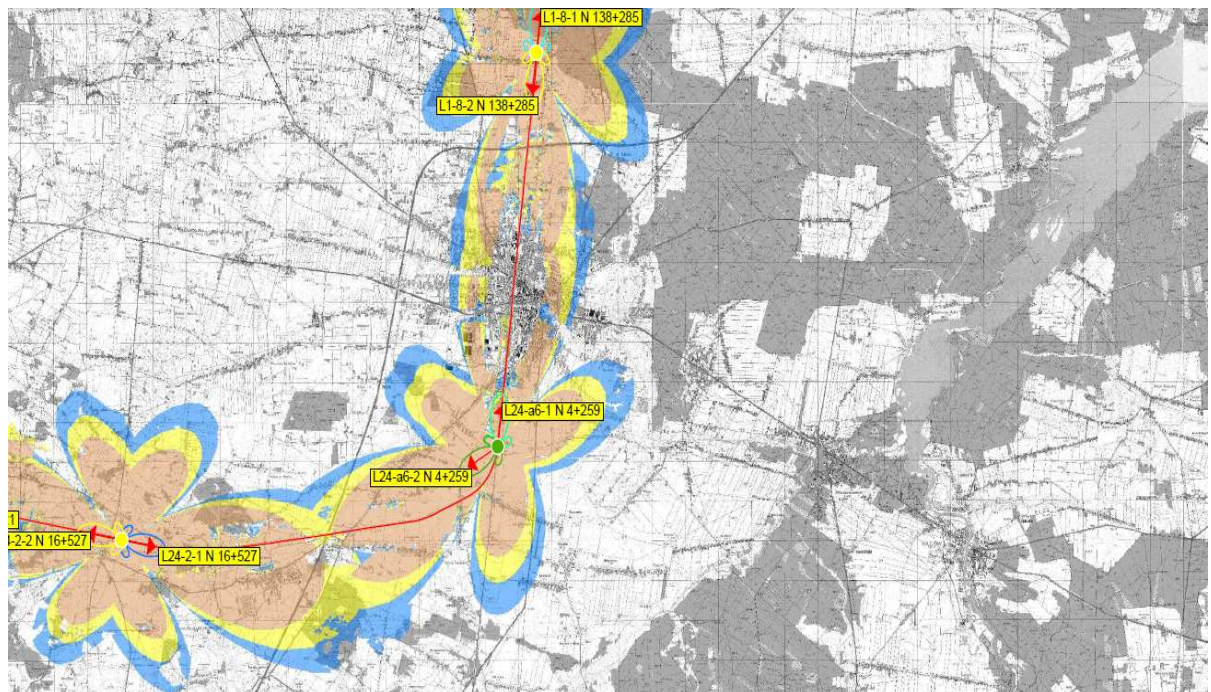
Również segment zarządzania OSS będzie wymagał zwiększenia pojemności poprzez zmianę licencji programowej.

2. ANALIZA UZYSKANEGO POKRYCIA SYGNAŁEM GSM-R

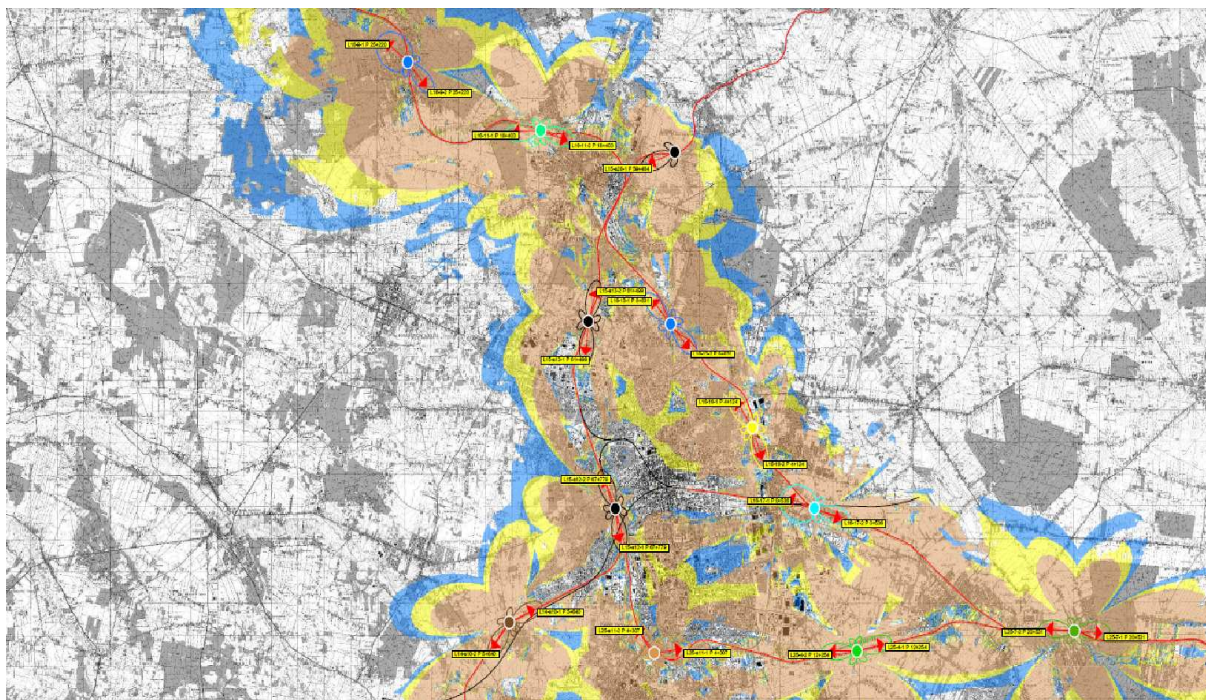
Na rysunkach 3, 4 i 5 przedstawiono wybrane fragmenty analizowanego obszaru ŁWK, na których poziom sygnału pokrycia radiowego nie spełnia wymaganego poziomu. W ramach realizowanej analizy a pozostałym obszarze pokrycie sygnałem GSM-R jest na wymaganym poziomie.



Rys. 3. Pokrycie radiowe dla miasta Łęczycza warstwa N



Rys. 4. Pokrycie radiowe dla miasta Piotrków Trybunalski warstwa N



Rys. 5. Pokrycie radiowe dla miasta Łódź warstwa P

Przedstawiona analiza pokrycia radiowego dla Łódzkiego Węzła kolejowego nie może być jednak ostatnim elementem fazy projektowej. Pomimo, że najnowsze programy komputerowe umożliwiają analizę w bardzo szerokim zakresie oraz uwzględniają wiele czynników. Przeprowadzenie symulacji komputerowej nie daje ona w pełni odpowiedzi na pytanie czy w pierwszej strefie Fresnela nie występują poprzeczne przeszkody w postaci obiektów inżynierskich np. wielokondygnacyjne budynki, maszty itp. Analiza komputerowa może tylko i wyłącznie pokazać czy linia horyzontu nie znajduje się w pierwszej strefie Fresnela.

Z uwagi na powyższe przeprowadzenie symulacji komputerowej nie może być ostatnim elementem fazy projektowej. Przeprowadzenie analizy symulacyjnej jest w stanie pokazać natomiast, w których obszarach mogą pojawić się obszary o krytycznym poziomie sygnału GSM-R. Taka sytuacja jest przedstawiona na rysunkach od 3 do 5, gdzie przedstawione są wizualizacje pokrycia sygnałem GSM-R na obszarach Piotrkowa Trybunalskiego, Łęczycy oraz Łodzi. Sytuacja przedstawiona na wspomnianych rysunkach ma miejsce na terenach o charakterze miejskim gdy sygnał GSM-R jest na poziomie minimalnym. Sytuacja powyższa ma miejsce mimo tego, że zostały spełnione wszystkie warunki prawidłowej metodologii projektowania sieci radiowej standardu GSM-R.

Dodatkową a w tym przypadku konieczną fazą muszą być wykonane pomiary In-situ, czyli rzeczywisty pomiar pokrycia radiowego wzdłuż szlaku kolejowego. Badania pokrycia radiowego wzdłuż szlaku kolejowego umożliwiają ostateczną weryfikację przeprowadzanej analizy pokrycia radiowego.

Przeprowadzona analiza pokrycia radiowego uwidacznia jeszcze jeden problem związany z zarządzaniem zasobami częstotliwościowymi. Obecnie PKP PLK S.A. uzyskało pozwolenie od UKE na wykorzystanie siedmiu częstotliwości na potrzeby łączności radiowej standardu GSM-R. Jak wynika z tabeli numer 2 zasięg pojedynczej stacji bazowej dla dużych miast wynosi 3,7 km. Z założeń jakie są uwzględniane w projektowaniu sieci radiowych odległości pomiędzy BTS-ami pracującymi na tej samej częstotliwości powinny być oddalone o $4R$, gdzie R jest wartością zasięgu z pojedynczej stacji bazowej. Wynika zatem z tego, że

minimalna odległość pomiędzy BTS-ami pracującymi na tej samej częstotliwości może wynosić minimum 14,8 km.

Z przedstawionego rysunku nr 5 widać, że na potrzeby pokrycia radiowego sygnałem GSM-R w Łodzi konieczne jest wybudowanie siedmiu BTS-ów z zainstalowanymi dwoma antenami na każdym z nich przy czym największa odległość między BTS-ami w Łodzi wynosi ok 15 km.

W związku z powyższym istnieje duże prawdopodobieństwo, że z uwagi na ograniczenia zasobów częstotliwościowych nastąpi wzajemne zakłócanie się stacji bazowy pracujących na tej samej częstotliwości. Może to spowodować blokowanie kanałów radiowych a w konsekwencji brak łączności. Taka sytuacja natomiast jest niedopuszczalna ze względu na płynne prowadzenie ruchu kolejowego.

PODSUMOWANIE

Budowa sieci GSM-R bez prawidłowo wykonanej symulacji komputerowej była by narażona w znacznie większym stopniu na prawdopodobieństwo popełnienia błędu na etapie przygotowania projektu projektu co w konsekwencji wiązało by się ze znaczenie większymi kosztami przeprojektowywania infrastruktury radiokomunikacyjnej.

Budowa sieci GSM-R na obszarze Łódzkiego Węzła Kolejowego wymaga:

- powstania 76 Obiektów Radiowych z podziałem na 149 sektory Stacji Bazowych z uwzględnieniem zasobów częstotliwościowych;
- zasoby częstotliwościowe posiadane w gestii PKP PLK S.A. są obecnie nie wystarczające;
- wymagana jest instalacja na terenie węzła kontrolera BSC, transkodera TRAU i jednostki PCU, obsługującego m.in. stacje BTS zlokalizowane w ŁWK;
- doposażenia podsystemu NSS w OC zgodnie z zaplanowaną lokalizacją w Poznaniu i Warszawie w celu umożliwienia włączenia do sieci wspomnianego wyżej BSC;
- zapewnienia odpowiednich zasobów teletransmisyjnych do połączenia BTS z BSC oraz BSC z NSS w OC w Poznaniu i Warszawie;

ANALYSIS OF COVERAGE FOR RAILWAY JUNCTION ŁÓDŹ EXAMPLE OF RAILWAY RADIOCOMMUNICATIONS SYSTEM GSM-R

Abstract

The paper describes issues related to the performance of computer simulations terrestrial radio coverage of radio communication systems. As an example shows, a computer simulation the radio coverage of GSM-R for the most interesting cases in Lodz railway junction. Illustrated problems resulting from computer analysis as a consequence of the impossibility cover all cases by modern computer applications.

BIBLIOGRAFIA

1. Narodowy Plan Wdrażania Europejskiego Systemu Zarządzania Ruchem Kolejowym w Polsce, Rada Ministrów, 6 marca 2007r.
2. Standardy techniczne – szczegółowe warunki techniczne dla modernizacji lub budowy linii kolejowych do prędkości $V_{max} \leq 200$ km/h (dla taboru konwencjonalnego) / 250 km/h (dla taboru z wychylnym pudłem). Tom VII – Telekomunikacja, Warszawa, lipiec 2009 r.;

3. Radiotelefon pociągowy. Standardy Automatyki i Telekomunikacji. PKP PLK 2007;
4. System zdalnego sterowania radiołącznością. Standardy Automatyki i Telekomunikacji. PKP PLK 2007;
5. Standard UIC EIRENE SRS 15.3.0
6. Standard UIC EIRENE FRS 7.3.0
7. www.atdi.pl

Autorzy:

dr inż. Andrzej BIAŁOŃ – Instytut Kolejnictwa - Zakład Sterowania Ruchem i Teleinformatyki,

mgr inż. Artur DŁUŻNIEWSKI – Instytut Kolejnictwa – Laboratorium Automatyki i Telekomunikacji.