RadioPartners Sp. z o.o.
02-674 Warszawa, ul. Marynarska 21
tel. 22 250 81 90, fax 22 250 81 91
NIP: 527-23-22-157

PROJEKT

Planowanie radiowe DMR Tier III dla Tramwaje Śląskie S.A.

Zamawiający:	Tramwaje Śląskie S.A. 41-506 Chorzów, ul. Inwalidzka 5 Tel. +48 32 246 60 61, Fax +48 32 251 00 96
Generalny wykonawca:	RadioPartners Sp. z o.o. 02-674 Warszawa, ul. Marynarska 19A Tel. +48 22 640 4970, Fax +48 22 640 4964 info@radiopartners.pl , www.radiopartners.pl
Autorzy projektu:	inż. Zbigniew Kułakowski – RadioPartners Sp. z o.o. 30.08.2017
Projekt Sprawdził:	mgr. inż. Tomasz Rzeszutek – RadioPartners Sp. z o.o. 30.08.2017

PROJEKT

Planowanie radiowe DMR Tier III dla Tramwaje Śląskie S.A.

Zamawiający:	Tramwaje Śląskie S.A. 41-506 Chorzów, ul. Inwalidzka 5 Tel. +48 32 246 60 61, Fax +48 32 251 00 96
Generalny wykonawca:	RadioPartners Sp. z o.o. 02-674 Warszawa, ul. Marynarska 19A Tel. +48 22 640 4970, Fax +48 22 640 4964 info@radiopartners.pl , www.radiopartners.pl
Autorzy projektu:	inż. Zbigniew Kułakowski – RadioPartners Sp. z o.o.
Projekt Sprawdził:	mgr. inż. Tomasz Rzeszutek – RadioPartners Sp. z o.o.

Historia dokumentu

Nazwa wersji	Opis wersji i wprowadzonych zmian

Spis treści

1 Podstawa opracowania i cel 4
2 Założenia projektowe przekazane przez Tramwaje Śląskie S.A. 6
3 Opis metody projektowania 11
3.1 Narzędzia projektowe 11
3.1.1 Program do analizy zasięgowej RAPTR 11
3.1.2 Cyfrowa wysokościowa mapa Polski 12
3.1.3 Cyfrowa mapa środowiska Polski 14
3.2 Opis kolejnych etapów projektowania 16
3.2.1 Uzupełnienie założeń projektowych 16
3.2.2 Analiza Uplink – Downlink 17
3.2.3 Dobór lokalizacji stacji bazowych 19
4 Opis wyników projektu 21
4.1 Zestawienie projektowanych stacji bazowych z parametrami 21
4.2 Mapy zasięgów i pokrycie 24
4.2.1 Mapy zasięgów z poszczególnych stacji bazowych 24
4.2.2 Zbiorcza mapa zasięgów 24
4.2.3 Raport pokrycia zasięgiem 25
5 Możliwości budowy łączy radioliniowych pomiędzy stacjami bazowymi 25
5.1 Proponowany układ systemu radioliniowego 26
5.1.1 Relacja Inwalidzka 5 ⇨ Wita Stwosza 27
5.1.2 Relacja Inwalidzka 5 ⇨ Koksownia „Jadwiga” 29
5.1.3 Relacja Koksownia „Jadwiga” ⇨ Szpitalna 1 31
5.1.4 Relacja Szpitalna 1 ⇨ Wita Stwosza 33
6 Transmisja danych w systemie DMR 35
6.1 Sterowanie radiowe podstacjami trakcyjnymi 35
6.2 Transmisja danych GPS 36
7 Oddziaływanie instalacji radiowej na środowisko 38
8 Uwagi i wnioski 39
9 Wykaz załączników 41

1 Podstawa opracowania i cel

Podstawą niniejszego opracowania zwanego dalej „Planowanie radiowe DMR Tier III" jest Umowa nr DO/383/17 z 13 lipca 2017 zawarta pomiędzy firmą RadioPartners Sp. z o.o. a Tramwaje Śląskie S.A.. Umowa została zawarta po wyłonieniu zwycięzcy z zaproszenia do złożenia oferty wybranego poprzez porównanie cen w ramach zamówienia sektorowego (o wartości poniżej progów stosowanych przez Pzp), prowadzonego zgodnie z Regulaminem udzielania zamówień w Tramwajach Śląskich S.A. na „*Przeprowadzenie planowania radiowego wraz z opracowaniem koncepcji budowy i funkcjonowania cyfrowego trunkingowego systemu radiowej łączności dyspozytorskiej"*.

Firma RadioPartners Sp. z o.o. posiada wieloletnie doświadczenie w zakresie projektowania, budowy i utrzymania systemów trankingowej łączności radiotelefonicznej, dysponuje również licencjonowanym oprogramowaniem i mapami cyfrowymi niezbędnymi do przeprowadzenia analiz propagacyjnych.

Planowanie radiowe DMR Tier III jest koncepcyjnym projektem cyfrowej łączności radiowej dla obszaru działania spółki Tramwaje Śląskie S.A.

Planowanie radiowe DMR Tier III jest przewidziane jako:

a) ewentualny załącznik do materiałów przetargowych służący przedstawieniu zamiarów spółki Tramwaje Śląskie S.A oraz technicznych uwarunkowań tworzenia sieci cyfrowego trunkingowego systemu radiowej łączności dyspozytorskiej,

b) baza dla rozpoczęcia budowy sieci łączności radiowej systemu DMR Tier III,

c) źródło informacji o skali przedsięwzięcia i ewentualnych zagrożeniach w trakcie realizacji wdrażania nowego systemy radiowej łączności dyspozytorskiej.

Zgodnie z zapisami umowy i opisu przedmiotu zamówienia niniejszy Planowanie radiowe DMR Tier III zawiera:

a) optymalizację pokrycia radiowego dla zapewnienia dobrej i niezakłóconej łączności oraz transmisji danych (w tym transmisji danych niezbędnych do sterowania podstacjami trakcyjnymi) prowadzonej ze wszystkich radiotelefonów Tramwajów

Śląskich S.A. i KZK GOP – przewoźnych zamontowanych w pojazdach szynowych (tramwajach) , samochodach zaplecza technicznego, pojazdach kontroli ruchu a także radiotelefonów przenośnych w obszarze działania spółki Tramwaje Śląskie S.A, w szczególności:

- torowisk tramwajowych istniejących i nowoprojektowanych oraz w obrębie 100 metrów od nich (z wyjątkiem tuneli i przejazdów pod wiaduktami),
- podstacji trakcyjnych istniejących i nowoprojektowanych oraz terenie przyległym do budynku w promieniu 100 metrów,
- punktów regulatorskich oraz terenie przyległym do budynku w promieniu 100 metrów
- siedziby Spółki i Rejonów Komunikacji oraz siedziby KZK GOP

w powyższych obszarach Zamawiający nie dopuszcza istnienia miejsc z których nie można nawiązać łączności. Pozostały teren działania spółki ma być pokryty minimum 90% zasięgiem skutecznej łączności.

b) liczbę i lokalizacje radiowych stacji bazowych, charakterystyki, azymuty oraz wysokości zawieszenia anten, tłumienności torów antenowych,

c) ocenę możliwości wykonania w pełni redundantnych połączeń elementów systemu radiowego radioliniami,

d) ocenę możliwości wykorzystania systemu radiowego do transmisji danych niezbędnych do sterowania podstacjami trakcyjnymi,

e) określenie obszarów niezbędnych do pokrycia ze stacji uzupełniających ewentualnie repeaterów,

f) wyznaczenie liczby stacji niezbędnych do wdrożenia cyfrowego systemu radiowej łączności trunkingowej standardu DMR

g) sporządzenie projektu przydziału kanałów dla poszczególnych stacji zgodnie z posiadanymi dokumentami wydanymi przez Regulatora oraz zarezerwowanych przez Zamawiającego dodatkowych czterech par częstotliwości,

2 Założenia projektowe przekazane przez Tramwaje Śląskie S.A

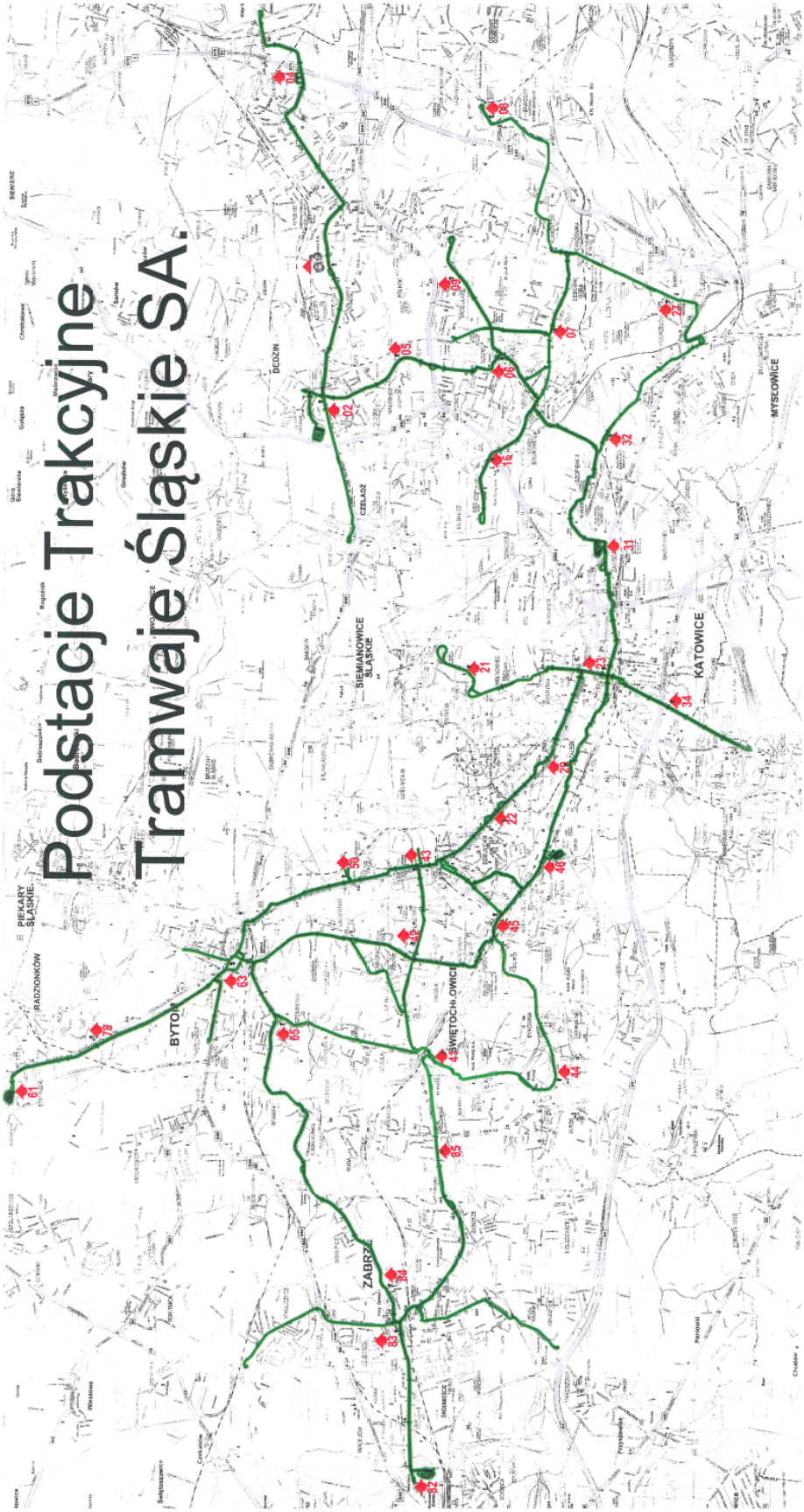
Na podstawie przekazanych przez Tramwaje Śląskie S.A. ogólnych wytycznych do przygotowania planowania radiowego DMR Tier III, oraz planu torowisk i rozmieszczenia Podstacji Trakcyjnych przygotowano, niżej wymienione, podstawowe założenia.

Tabela uwzględnia tylko zalecenia, które są istotne z punktu widzenia przeprowadzenia analiz propagacyjnych, a co za tym idzie doboru liczby i lokalizacji stacji bazowych oraz rozdziału dostępnych częstotliwości.

Tabela 1. Założenia projektowe

L.p.	Nazwa	Opis
	Ogólne	
1	Lokalizacje RBS	Wykorzystanie obecnej lokalizacji systemu analogowego oraz obiektów będących już w dyspozycji Tramwajów Śląskich S.A. Lokalizacje dla ewentualnych uzupełniających stacji bazowych planować w pierwszej kolejności na bazie obiektów będących już w dyspozycji Tramwajów Śląskich S.A., a w drugiej na bazie obiektów dzierżawionych jak kominy EC lub maszty operatorów..
2	Pokrycie łącznością	Dla terminali pojazdowych i noszonych na zewnątrz pomieszczeń. Wymagane 100% pokrycie torowisk zasięgiem do radiotelefonów pojazdowych
3	Pewność pokrycia łącznością	Prawdopodobieństwo lokacyjne 95%.
	Dla stacji bazowej	
1	Czułość dynamiczna stacji bazowej	-104 dBm Zgodnie z ogólnymi zaleceniami standardu.
2	Maksymalna efektywna moc promieniowania stacji bazowej (ERP)	Maksymalnie 44dBm (14dBW). Wymaganie określone przez UKE.

3	Wysokość zawieszenia anteny stacji bazowej	Należy przyjmować aktualnie stosowane wysokości anten, a na nowych obiektach dostępne wysokości
	Dla terminali pojazdowych	
1	Czułość dynamiczna terminala pojazdowego	-104 dBm - Zgodnie z ogólnymi zaleceniami standardu. -107 dBm (nowe radiotelefony oferowane już na rynku)
2	Wysokość zawieszenia anteny	2,5 m
3	Zysk anteny	+2,15 dBi (0 dBd)
4	Moc terminala	10 W
	Dla terminali noszonego	
1	Czułość dynamiczna terminala noszonego	-104 dBm - Zgodnie z ogólnymi zaleceniami standardu. -107 dBm (nowe radiotelefony oferowane już na rynku)
2	Wysokość zawieszenia anteny	1,5 m
3	Zysk anteny	0 dBi (-2,15 dBd)
4	Moc terminala	2 W
	Częstotliwościowe	
1	Kanały DMR	11 kanałów o szerokości 12,5kHz - 8 aktualnie używanych (1 do zwolnienia), oraz rezerwacja 4 kanałów w UKE
2	Liczba kanałów na RBS	W zależności od przewidywanego obciążenia pojemność projektowanych stacji bazowych przewiduje się na od 2 do 5 kanałów (nośnych).



Rys. nr 1: Plan torowisk i rozmieszczenia podstacji

Tabela 2. Podstacje trakcyjne w Tramwajach Śląskich S.A.

L.p.	Nazwa stacji	Adres	Współrzędne geograficzne	
1.	04 „Gołonóg”	Dąbrowa Górnicza, ul. Kasprzaka	50.33981667	19.24389722
2.	03 „Szopena”	Dąbrowa Górnicza, ul. Chopina	50.33150833	19.17223333
3.	02 „Czeladzka”	Będzin, ul. Armii Ludowej 30A	50.32660556	19.11926111
4.	05 „Małobądzka”	Będzin, ul. Małobądzka	50.31170833	19.13995556
5.	09 „Środula”	Sosnowiec, ul. Jędryczki	50.29685278	19.16692778
6.	06 „Sosnowiec”	Sosnowiec, ul. 3-go Maja 50	50.28442222	19.13900278
7.	10 „Baczyńskiego”	Sosnowiec, ul. Baczyńskiego	50.28731944	19.10160556
8.	07 „Andersa”	Sosnowiec, ul. Andersa	50.27268333	19.14778056
9.	27 „Niwka’	Sosnowiec, ul. Wygody 1	50.24521667	19.15683333
10.	08 „Porąbka”	Sosnowiec, ul. Szenwalda 14	50.28991944	19.23253056
11.	46 „Chorzów Batory”	Chorzów, ul. Inwalidzka 5	50.27141944	18.95530278
12.	43 „Konstal”	Chorzów, ul. Katowicka 94	50.30451389	18.95288056
13.	21 „Siemianowice”	Siemianowice, ul. Stara Katowicka 14	50.2934	19.02553333
14.	45 „Świętochłowice	Świętochłowice, ul. Katowicka 75	50.28608889	18.9274
15.	23 „Centralna”	Katowice, ul. Szkolna 2	50.26243889	19.02496667
16.	32 „Szopienice”	Katowice, ul. Wiosny Ludów 44	50.26015	19.10693333
17.	34 „Park Kościuszki”	Katowice, ul. Kościuszki 94	50.24395833	19.00921389
18.	29 „Bracka”	Katowice, ul. Bracka 7	50.27470278	18.98667778

19.	31 „Zawodzie”	Katowice, ul. 1-go Maja 152	50.26108889	19.06948889
20.	22 „Stadion”	Katowice, ul. Chrobrego	50.28608611	18.97101111
21.	50 „Łagiewniki”	Chorzów, ul. Katowicka 152	50.31907222	18.94855
22.	42 „Piaśniki”	Świętochłowice, ul. Chorzowska 2	50.30502222	18.92194722
23.	61 „Radzionków”	Bytom, ul. Drzewna 2	50.39832778	18.87025833
24.	71 „Pogoda”	Bytom, ul. Siemianowicka 23	50.34477222	18.93496111
25.	63 „Centrum”	Bytom, ul. Sądowa 1	50.34708889	18.91793611
26.	78 „Rozbark II”	Bytom, Strzelców Bytomskich 102	50.381425	18.88941667
27.	65 „Szombierki”	Bytom, ul. Witosa 5	50.33507778	18.894675
28.	82 „Zajezdnia Gliwice”	Gliwice, ul. Chorzowska 150	50.30320833	18.72925
29.	83 „Karola Miarki”	Zabrze, ul. Karola Miarki 14	50.30810556	18.78276111
30.	84 „Hagera”	Zabrze, ul. Na Piaskach	50.31156667	18.80064167
31.	85 „Klara”	Ruda Śląska, ul. Klary 6	50.29791389	18.84488056
32.	44 „Wirek”	Ruda Śląska, ul. Katowicka 15	50.27038889	18.86897778
33.	41 „Chebzie”	Ruda Śląska, ul. Niedurnego 127	50.30001944	18.88188056

3 Opis metody projektowania

W trakcie projektowania zasięgów łączności dla obecnych i nowych lokalizacji stacji bazowych wykorzystywane były różne narzędzia. Główne z nich opisane są poniżej.

3.1 Narzędzia projektowe

3.1.1 Program do analizy zasięgowej RAPTR

Program RAPTR (wersja 25.2.305) jest narzędziem korporacyjnym działu Public Safety RF Communications firmy Harris Corporation przeznaczonym do projektowania systemów radiowych. RadioPartners Sp. z o.o. jest licencjonowanym użytkownikiem tego programu.

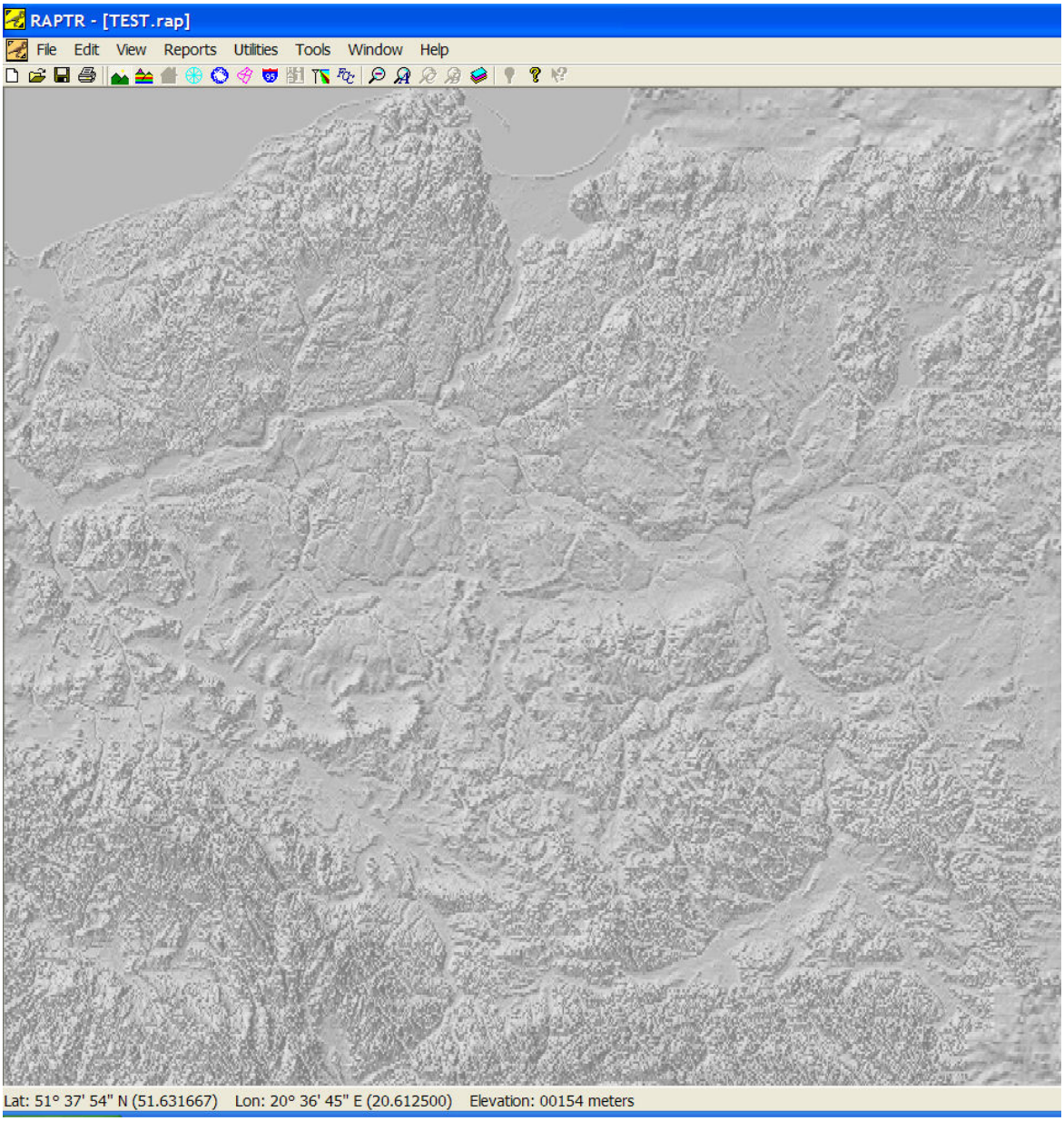
Narzędzie to powstało przed 15 laty i jest stale rozwijane i uaktualniane z uwzględnieniem praktycznych doświadczeń firmy z różnych testów i zaimplementowanych systemów. RAPTR umożliwia przeprowadzenie szczegółowych obliczeń w zakresie projektowania zasięgów stacji bazowych w relacjach do i od terminali ręcznych i samochodowych oraz przeprowadzenie różnych wariantów analiz zakłóceniowych będących elementem projektowania rozdziału częstotliwości na poszczególne stacje bazowe.

Program wykorzystuje metodę kafelkową (Tile Metod) do analizy propagacyjnej. W metodzie kafelkowej obszar projektu jest dzielony na małe kawałki nazywane kafelkami. Rozmiar każdego kafelka wynosi 3’ (arcsekundy) czyli około 100x100m. RAPTR modeluje propagację od stacji bazowej do każdego kafelka w obszarze projektu. Metoda kafelkowa jest znacznie lepsza niż stara metoda kątowa modelowania propagacji. Znacznie dokładniej przewiduje wartość sygnału, nie tracąc dokładności w miarę oddalania się od źródła (stacji bazowej), jak to dzieje się w metodzie kątowej. Dodatkowo bardziej dokładnie mogą być uwzględnione interakcje sygnałów przychodzących od różnych stacji bazowych, co jest istotne przy projektowaniu systemów synchronicznych (Simulcast), z odbiorem zbiorczym oraz sieci wielostrefowych z roamingiem.

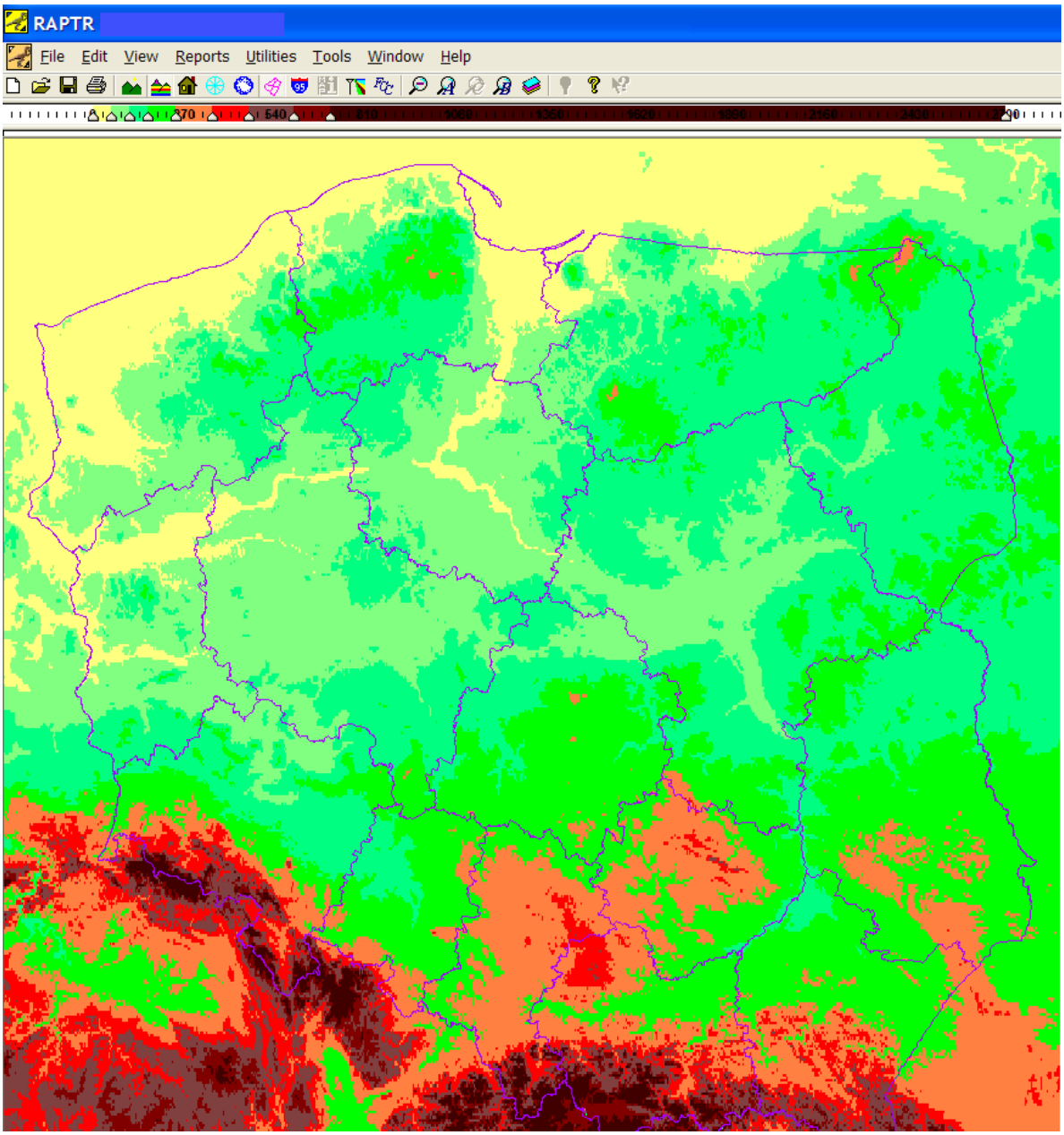
Model propagacyjny RAPTR bazuje na modelu Okumura-Hata-Davidson (OHD). W obliczeniach ścieżki strat są uwzględniane zadane parametry środowiska i terenu. W narzędziu RAPTR połączono w sposób specjalny model dyfrakcyjny Epstein-Peterson z modelem OHD, znacznie poprawiając dokładność uzyskiwanych wyników. Obliczenia dyfrakcyjne są prowadzone z uwzględnieniem właściwości środowiska, co dodatkowo polepsza dokładność obliczeń.

3.1.2 Cyfrowa wysokościowa mapa Polski

Cyfrowa wysokościowa mapa Polski pochodzi z zasobów Podwykonawcy. Mapa z 2006 roku zawiera zbiór danych odwzorowujących wysokość powierzchni Polski uśrednioną w kwadratach 100x100m. Ilustracje poniżej pokazują obraz wysokościowy powierzchni Polski wyświetlony w programie RAPTR w dwu wariantach: pierwszym - pokazujący ukształtowanie powierzchni i drugim - pokazującym kolorem wysokości npm.

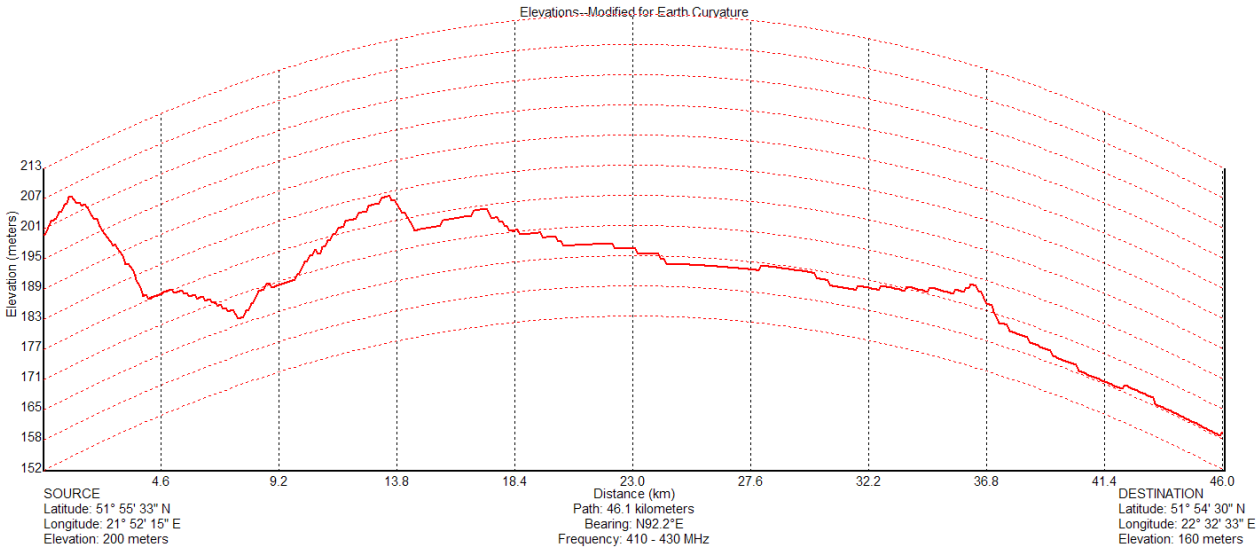


Rys. nr 2: RAPTR – Mapa wysokościowa – rzeźba terenu



Rys. nr 3: RAPTR – Mapa wysokościowa – wysokość npm.

Kolejny rysunek uzyskany z mapy cyfrowej w programie RAPTR pokazuje przekrój pionowy trasy pomiędzy dwoma wskazanymi punkami na mapie. Tego typu przekrój może być wykorzystywany do sprawdzania przeszkód terenowych utrudniających propagację fal radiowych, projektowania wysokości i lokalizacji masztów radiowych oraz do sprawdzania widoczności dla linii radiowych.



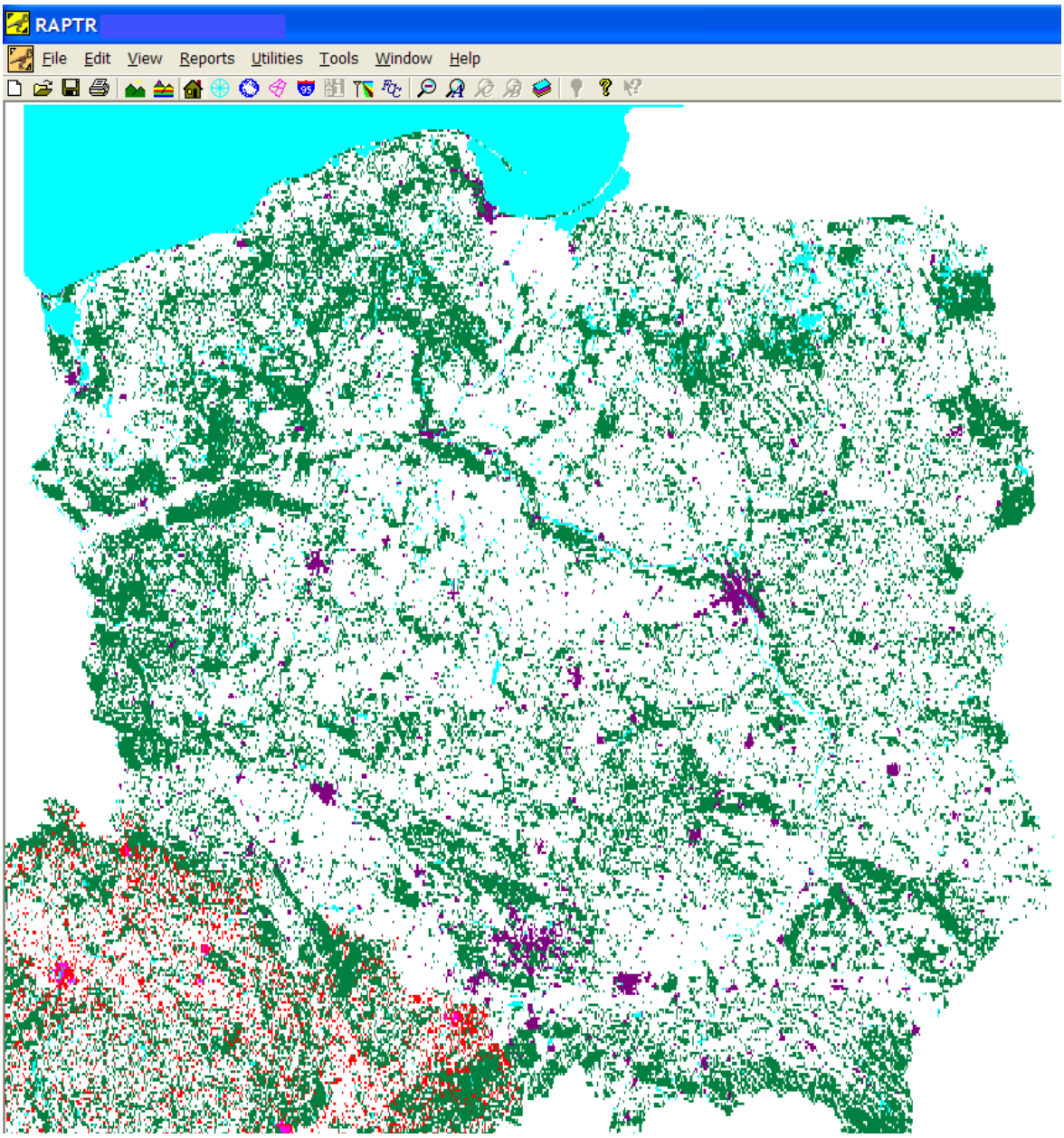
Rys. nr 4: RAPTR – Mapa wysokościowa – przekrój poprzeczny terenu

3.1.3 Cyfrowa mapa środowiska Polski

Cyfrowa mapa środowiska znacznie poprawia dokładność obliczeń propagacyjnych uwzględniając różne wartości tłumienia fal radiowych w zależności od dominującego w danym kafelku typu środowiska oraz od środowiska dominującego w otaczających kafelkach. Dla potrzeb projektu została wykorzystana cyfrowa mapa firmy IMAGIS obejmująca obszar Polski (stan na 2013 rok) i zawierająca między innymi dane:

a) Granic 15000 większych miast
b) Granic obszarów leśnych
c) Granic obszarów wodnych (rzeki, jeziora, kanały)
d) Linii kolejowych
e) Głównych dróg numerowanych.

Dane pochodzące z tej mapy zostały przekonwertowane do formatu wykorzystywanego w programie RAPTR. Dla poszczególnych rodzajów środowiska założono odpowiednie parametry tłumienia.



Rys. nr 5: RAPTR – Mapa środowiska

3.2 Opis kolejnych etapów projektowania

Kolejne podpunkty tego rozdziału zawierają opis kolejnych etapów planowania radiowego DMR Tier III z uwzględnieniem istotnych wniosków i uwarunkowań wpływających na kształt projektu i budowę systemu DMR dla Tramwajów Śląskich S.A. w przyszłości.

3.2.1 Uzupełnienie założeń projektowych

Oprócz założeń podanych w Tabeli 1, na etapie wstępnym projektu zdefiniowano uzupełniające założenia wymagane przez przyjętą metodę obliczeniową bazującą na programie RAPTR. Założenia te podane są w Tabeli 3.

Tabela 3. Uzupełniające założenia projektowe

L.p.	Nazwa	Opis
1	Dodatkowy margines sygnału na zaniki szybkozmienne (Rayleigh)	0dB Wartość dodatkowego marginesu sygnału na zaniki szybkozmienne uwzględniona jest w wykorzystywanej w obliczeniach czułości dynamicznej.
2	Dodatkowy margines sygnału na zaniki wolnozmienne (Log Normal)	1dB (dla 95% prawdopodobieństwa lokalizacyjnego dla kafelka 100x100m)
3	Dodatkowy margines sygnału (Confidence)	10,5dB (dla 95% pewności obliczeń)
4	Łączny dodatkowy margines sygnału (wyliczony na podstawie 1,2 i 3)	10,5dB Łączny dodatkowy margines sygnału nie jest sumą arytmetyczną marginesów z punktu 1, 2 i 3.
5	Promień obliczeniowy	50km dla obliczeń zasięgu użytecznego.
6	Moc nadajnika stacji bazowej	Przy założonych typach anten, długościach torów antenowych i typach kabli osiągnięcie ERP=14dBW (44dBm) jest możliwe z każdej oferowanej na rynku stacji bazowej o mocy nominalnej 25W.

7	Regulacja mocy (ERP)	Przyjęto krok regulacji 2dB, co jest typowym parametrem dla stacji bazowych oferowanych na rynku.
8	Kable antenowe	W obliczeniach przyjęto stosowanie kabli w.cz. 7/8". Program RAPTR w obliczeniach strat toru antenowego uwzględnia uśrednione straty złączy oraz jumperów.
9	Tor odbiorczy Rx	W torze antenowy odbiorczy ze względu na konieczność zastosowania kabli o długości powyżej 100m przewidziano zastosowanie wzmacniaczy szczytowych (Tower Top Aplifier) o wzmocnieniu 18-20 dB
10	Charakterystyki anten	W Załączniku nr 1 podano parametry różnych typów anten uwzględnionych w obliczeniach. Są to typowe anteny dostępne na rynku i posiadające zamienniki innych producentów o takich samych lub zbliżonych parametrach. W przypadku wykorzystania kominów EC charakterystyki anten będą dobierane indywidualnie dla każdej lokalizacji
11	Tłumienie środowiska	Dla poszczególnych typów środowiska przyjęto następujące wartości tłumienia (Clutter Loss): Wody – 0dB Lasy – 7dB Miasta – 12dB Tereny pozostałe – 4dB

3.2.2 Analiza Uplink – Downlink

Na etapie prac wstępnych przeprowadzono analizę budżetu sygnału w kierunku Uplink (od terminala do stacji bazowej) i Downlink (od stacji bazowej do terminala). Przy założonych parametrach mocy nadawania oraz czułości dynamicznej dla stacji bazowej oraz terminala, kluczowym jest sprawdzenie, który kierunek jest słabszy oraz w jakim stopniu oba kierunki są zrównoważone. Obliczenia przeprowadzono dla mocy nadawania terminali samochodowych 10W oraz terminala noszonego 2W.

Tabela 4. Bilans sygnału Downlink-Uplink

	Downlink (kierunek od stacji bazowej)		
A	Moc ERP stacji bazowej	44	dBm
B	Zysk anteny pojazdowej	0	dBd
C	Straty złączy i kabla	2	dB
D	Łączny dodatkowy margines sygnału	10,5	dB
E	Założona czułość terminali mobilnych	-104	dB
F	Maksymalne straty kierunku Downlink F=A+B-C-D-E	**135,5**	dB
	Uplink (kierunek do stacji bazowej)	**Terminal 10 W**	
G	Moc ERP stacji samochodowej	38	dBm
H	Zysk przykładowej anteny odbiorczej stacji bazowej	6	dBd
I	Zysk netto toru odbiorczego dla 110 m kabla 7/8", standardowych złączy i jumperów	-2,0	dB
J	Łączny dodatkowy margines sygnału	10,5	dB
K	Założona czułość stacji bazowej	-104	dBm
L	Maksymalne straty kierunku Uplink L=G+H+I-J-K	**135,5**	dB
	DL-UPL bez wzmacniacza TTA	**0**	
	Uplink (kierunek do stacji bazowej) ze wzmacniaczem TTA	**Terminal 10 W**	
G	Moc ERP stacji samochodowej	38	dBm
H	Zysk anteny odbiorczej stacji bazowej	6	dBd
I	Zysk netto toru odbiorczego dla 125 m kabla 7/8", standardowych złączy i jumperów	12,7	dB
J	Łączny dodatkowy margines sygnału	10,5	dB
K	Założona czułość stacji bazowej	-104	dBm
L	Maksymalne straty kierunku uplink L=G+H+I-J-K	**152,7**	dB
	DL-UPL ze wzmacniaczem TTA	**12.2**	
	Uplink (kierunek do stacji bazowej) ze wzmacniaczem TTA	**Terminal 2 W**	
G	Moc ERP stacji noszonej	31	dBm
H	Zysk anteny odbiorczej stacji bazowej	6	dBd
I	Zysk netto toru odbiorczego dla 125 m kabla 7/8", standardowych złączy i jumperów	10,5	dB
J	Łączny dodatkowy margines sygnału	10,5	dB
K	Założona czułość stacji bazowej	-104	dBm
L	Maksymalne straty kierunku uplink L=G+H+I-J-K	**141,0**	dB
	DL-UPL ze wzmacniaczem TTA	**2,5**	

Z powyższych obliczeń wynikają następujące wnioski:

a) Kierunki Uplink Downlink są zbalansowane do terminali pojazdowych
b) Bez zastosowania szczytowego wzmacniacza antenowego słabszym kierunkiem jest relacja od terminala noszonego do stacji bazowe
c) Zastosowanie szczytowego wzmacniacza antenowego powoduje, że słabszym kierunkiem generalnie jest relacja od stacji bazowej do terminali pojazdowych i noszonych.
d) Zastosowanie szczytowego wzmacniacza antenowego powoduje, że oba kierunki będą zbalansowane w relacji stacja bazowa – terminal noszony.

Na podstawie powyższych wniosków przyjęto, że projektowanie zasięgów oraz lokalizacji stacji bazowych będzie się odbywało w oparciu o obliczenia zasięgowe dla słabszego kierunku – od stacji bazowej do terminala pojazdowego (Downlik).

3.2.3 Dobór lokalizacji stacji bazowych

Przystępując do prac analitycznych w pierwszej kolejności zweryfikowano możliwość wykorzystania i obiektów będących już w dyspozycji Zamawiającego lub takie, które mógłby pozyskać:

1. Katowice, ul. Wita Stwosza 1 (budynek Prokuratury Okręgowej
2. Zabrze, ul. Wolności 345
3. Zabrze „Mostostal”
4. Będzin, ul. 9 Maja
5. Mysłowice, ul Mikołowska 42
6. Bytom, ul. Łużycka 2a
7. Dąbrowa Górnicza, ul. Adamieckiego 11 (SM Lokator)
8. Sosnowiec, Uniwersytet Śląski, ul. Będzińska 60
9. Sosnowiec, Szpital Specjalistyczny, Pl. Medyków 7

Wykonano różnorodne wstępne analizy propagacyjne biorąc jako podstawowy wymóg zdefiniowany przez Zamawiającego tj. pokrycie pewnym zasięgiem łączności torowisk.

Spełnienie tego wymagania skutkuje koniecznością wykorzystania 5 lokalizacji:

- Katowice, ul. Wita Stwosza 1 (budynek Prokuratury Okręgowej)
- Zabrze, ul. Wolności 345
- Dąbrowa Górnicza, ul. Adamieckiego 11 (SM Lokator)
- Mysłowice, ul Mikołowska 42
- Bytom, Łużycka 2a

Mapy zasięgów z wyżej wymienionych lokalizacji prezentują rysunki w załącznikach:

1. Zasięgi do radiotelefonów pojazdowych – Załącznik nr 1
2. Zasięgi do radiotelefonów noszonych – Załącznik nr 2

Kolejnym etapem wykonanym wraz z Zamawiającym było wytypowanie innych obiektów możliwych do wykorzystania budowy systemu, takich jak kominy elektrociepłowni i wieże operatorów GSM tak bo możliwe było zmniejszenie do 3 lokalizacji stacji bazowych. Do dalszych analiz wytypowano następujące obiekty:

1. Komin EC „Nowa Dąbrowa”
2. Komin EC „Łagisza”
3. Komin EC Zabrze
4. Komin EC Katowice
5. Komin EC Będzin
6. Komin EC Sosnowiec
7. Maszt „Kosztowy” (EMITEL)
8. Maszt „Szyb Walentyny”, Ruda Śląska (ORANGE)
9. Maszt „Szyby Rycerskie”, Bytom (ORANGE)

10. Maszt, ul. Stalowa2, Chorzów (ORANGE)
11. Maszt, ul. 3 Maja, Chorzów (T-MOBILE)
12. Maszt, ul. Szybowa 13, Zabrze (ORANGE)
13. Maszt, ul. Zabrzańska 17, Ruda Śląska (ORANGE)
14. Sosnowiec, ul Dworska 12B (budynek)
15. Koksownia ”Jadwiga”, Zabrze (komin)
16. UM Zabrze, ul. Wolności 286
17. Maszt ORANGE (przy Szpitalu Specjalistycznym, Pl. Medyków 7)
18. Szpitalna 1, Sosnowiec
19. Lenartowicza 1, Sosnowiec
20. Modrzewiowa, sosnowiec (wieża CENTERTEL)

Po kilku wstępnych analizach propagacyjnych wymienionych powyżej lokalizacji aprobatę Zamawiającego uzyskała propozycja budowy systemu radiokomunikacyjnego w oparciu o 3 stacje bazowe z wykorzystaniem następujących obiektów:

- Katowice, ul. Wita Stwosza 1 (budynek Prokuratury Okręgowej)
- Szpitalna 1, Sosnowiec (opcja - komin EC „Nowa”, Dąbrowa Górnicza)
- Komin „Koksowni Jadwiga” w Zabrzu (opcja – komin EC „Fortum”, Zabrze)

Lokalizacje opcjonalne pod względem osiąganych zasięgów łączności są tożsame z lokalizacjami podstawowymi.

4 Opis wyników projektu

4.1 Zestawienie projektowanych stacji bazowych z parametrami

W Tabeli 5 podano zestawienie proponowanych lokalizacji stacji bazowych wraz z parametrami. Wszystkie mapy prognozowanych zasięgów zostały wykonane dla podanych w tabeli parametrów.

Poniżej opis parametrów podanych w Tabeli 5.

ID.	Identyfikator stacji bazowej
Nazwa	Nazwa stacji bazowej
Szerokość geogr.	Współrzędna szerokości geograficznej
Długość geogr.	Współrzędna długości geograficznej
Liczba nośnych	Planowana liczba nośnych na lokalizację
Wysokość npm (m)	Wysokość nad poziomem morza lokalizacji stacji bazowej
Rodzaj kabla anten.	Zwykle 7/8" piankowy, w lokalizacjach z krótką drogą kablową zastosowana ½" piankowy
Długość kabla anten. (m)	Podano długości kabli antenowych Tx/Rx
Straty drogi kablowej (dB)	Wyliczone straty drogi kablowej. Program uwzględnia standardowe jumpery wykonane kablem ¼"
Wysokość zawieszenia anten(y) (m)	Projektowane wysokości zawieszenia anten Tx/Rx
Model anten(y)	Opis poszczególnych modeli anten w Aneksie nr 1
Azymut głównej wiązki (stopnie)	Dla anten kierunkowych
Pochylenie głównej wiązki (stopnie)	Pochylenie mechaniczne dla anten kierunkowych
Zysk anteny (dBd)	Zysk anteny w kierunku maksimum promieniowania
ERP (dBm)	Efektywna moc wypromieniowywana (z uwzględnieniem zysku anteny)
Zysk anteny w poziomie (dBd Hzn)	Zysk anteny w kierunku równoległym do powierzchni ziemi
ERP w poziomie (dBm Hzn)	Efektywna moc wypromieniowywana w kierunku równoległym do powierzchni ziemi
Wzmacniacz antenowy (TTA) (dB)	Wzmocnienie wzmacniacza szczytowego

Tabela 5. Parametry projektowanych stacji bazowych

L.p.	Parametr	ID 110	ID 014	ID 017
1	Nazwa	Katowice; ul. W. Stwosza 1	Zabrze Koksownia „Jadwiga”	Sosnowiec: ul. Szpitalna 1
2	Szerokość geograficzna	50-14-50,360N	50-19-57,472N	50-17-52,650N
3	Długość geograficzna	19-00-58,230E	18-50-00,820E	19-10-51,970E
4	Liczba nośnych	5	3	3
5	Wysokość npm (m)	292	275	296
Tor Nadawczy Tx				
1	Rodzaj kabla antenowego	LDF5-50	LDF5-50	LDF5-50
2	Długość kabla anten.(m)	40	110	40
3	Straty drogi kablowej (dB)	1,0	2,6	1,0
4	Wysokość zaw. anten(y) (m)	94	85	40
5	Model anten(y)			
6	Azymut głównej wiązki (st.)	7	0	0
7	Pochylenie głównej wiązki (st.)	0	0	0
8	Zysk anteny (dBd)	8,0	8,2	8,0
9	ERP (dBm)	44	44	44
10	Zysk ant. w poz. (dBd Hzn)	8,0	8,2	8,0
11	ERP w poziomie (dBm Hzn)	44	44	44
Tor odbiorczy Rx				
	Rodzaj kabla antenowego	LDF5-50	LDF5-50	LDF5-50
	Długość kabla anten. (m)	45	120	45
	Straty drogi kablowej (dB)	1,1	2,9	1.1
	Wysokość zaw. anten(y) (m)	98	95	45
	Model anten(y)			
	Azymut głównej wiązki (st.)	7	0	0
	Pochylenie głównej wiązki (st.)	0	0	0
	Zysk anteny (dBd)	8,0	8,2	8,0
	Zysk ant.w poz. (dBd Hzn)	8,0	8,2	8,0
	Wzmacniacz anten. TTA (dB)	0	12	0

4.2 Mapy zasięgów i pokrycie

4.2.1 Mapy zasięgów z poszczególnych stacji bazowych

W załącznikach nr 8 do 13 znajdują się mapy zasięgów dla projektowanych lokalizacji 3 stacji bazowych. Mapy prezentują przewidywany zasięg łączności dla radiotelefonów przewoźnych (tramwaje, pojazdy) oraz noszonych. Mapy zostały wygenerowane w programie RAPTR dla kierunku downlink od stacji bazowej do terminala przewoźnego i w kierunku uplink od terminala noszonego do stacji bazowej).

Mapy w wersji elektronicznej wykonane są w formacie pdf, zwykle w formacie A3 lub A2.

Poniżej znajduje się wykaz map z poszczególnych lokalizacji:

1. W. Stwosza - zasięgi do radiotelefonów pojazdowych – Zał. nr 3
2. W. Stwosza - zasięgi do radiotelefonów noszonych – Zał. nr 4
3. Szpitalna 1, Sosnowiec – zasięgi do radiotelefonów pojazdowych – Zał. nr 5
4. Szpitalna 1, Sosnowiec – zasięgi do radiotelefonów noszonych – Zał. nr 6
5. Koksownia „Jadwiga” Zabrze – zasięgi do radiotelefonów pojazdowych – Zał. nr 7
6. Koksownia „Jadwiga” Zabrze – zasięgi do radiotelefonów noszonych – Zał. nr 8

4.2.2 Zbiorcza mapa zasięgów

Zbiorcze mapa zasięgów prezentuje sumaryczny zasięg ze wszystkich 3 analizowanych lokalizacji:

1. Zasięgi do radiotelefonów pojazdowych i podstacji trakcyjnych – Zał. nr 9
2. Zasięgi do radiotelefonów noszonych – Zał. nr 10

Mapy prognozowanych zasięgów łączności wykonano z rozkładem siły pola gdzie poszczególne kolory oznaczają:

- zielony – sygnał powyżej -95 dBm
- żółty – sygnał od -104 dBm do -95 dBm
- czerwony – sygnał od -107 dBm do -104 dBm
- biały - sygnał poniżej -107 dBm

Poszczególne podstacje trakcyjne zostały oznaczone symbolem „▲” i jej numerem (np.

)

4.2.3 Raport pokrycia zasięgiem

Na podstawie map pokrycia zasięgiem terenu działania Tramwajów Śląskich S.A. program RAPTR obliczył prognozowane procentowe pokrycie torowisk tramwajowych istniejących oraz do podstacji trakcyjnych z rozbiciem na różne wartości siły sygnału (dBm). Wynik obliczeń zawarty jest w Tabeli nr 6.

Tabela 6. Prognozowane procentowe pokrycie zasięgiem łączności

	≥-95	≥-104	≥-107
Radiotelefon pojazdowy - torowiska	91,7%	99,4%	99,9%
Radiotelefon noszony - torowiska	56,2%	83,2%	87,5%
Podstacje	90,9%	96,9%	96,9%

Wskaźnik pokrycia zasięgiem łączności dla radiotelefonów pojazdowych spełnia ogólne wymagania Zamawiającego w tym zakresie. Dalsza poprawa pokrycia zasięgiem dla radiotelefonów noszonych wymagałaby budowy jeszcze 2 stacji bazowych co podniosło by niewspółmierne nakłady w stosunku do uzyskiwanych efektów.

Zarówno wygenerowane mapy prognozowanego pokrycia jak i Tabela 6 pokazują, że zaprojektowana siatka stacji bazowych zapewnia bardzo dobre pokrycie torowisk sygnałem o wartościach powyżej -104 dBm, gwarantujących dobrą jakość korespondencji.

Z przeprowadzonej analizy wynika, że problem może się pojawić ze sterowaniem tylko jedną podstacją trakcyjną (nr 44 Ruda Śląska – Wirek) może to być spowodowane niedokładnością zastosowanej mapy cyfrowej, ponieważ aktualnie ta podstacja sterowana jest z wykorzystaniem radiotelefonu system radiokomunikacyjnego EDACS. Nie powinno być tez problemów ze sterowaniem w nowym systemie radiowym standardu DMR Tier III. Dla tej lokalizacji zalecane jest zastosowanie anteny kierunkowej instalowanej najwyżej jak to jest możliwe od powierzchni ziemi. Przyjęcie w obliczeniach braku możliwości sterowania tą jedną podstacją dało w efekcie wynik 96,9%.

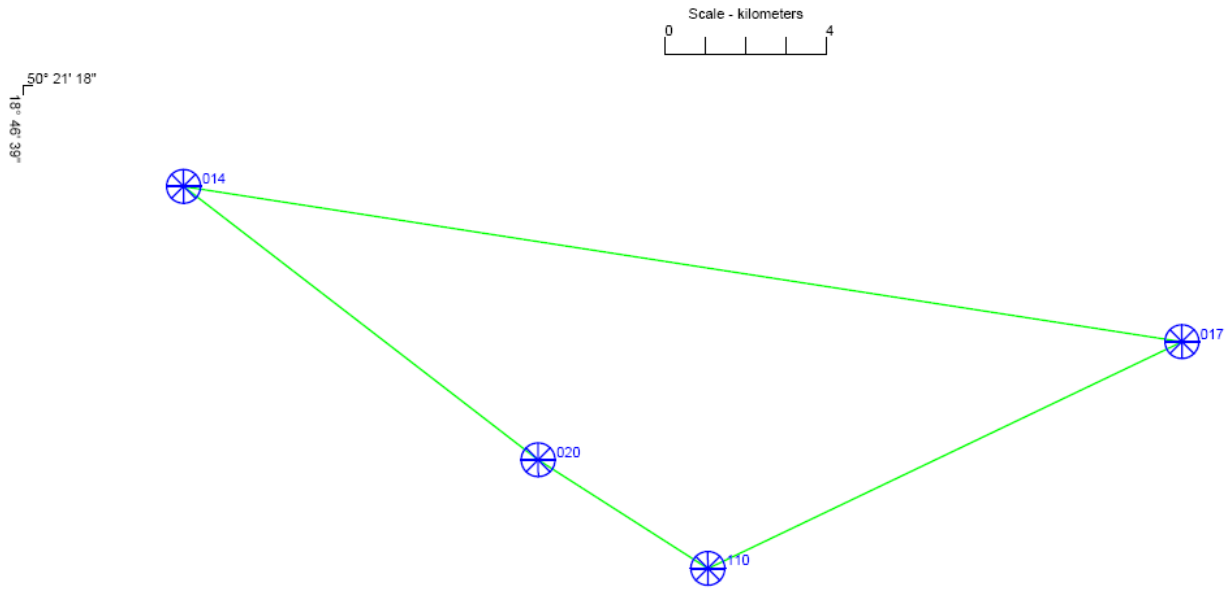
5 Możliwości budowy łączy radioliniowych pomiędzy stacjami bazowymi

Prawidłowe ciągłe funkcjonowanie wielostrefowego systemu łączności trunkingowej wymaga połączenia poszczególnych stacji bazowych pewnym systemem transmisyjnym. Zazwyczaj

stosuje się łącza światłowodowe lub w przypadku ich braku łącza radioliniowe. W projekcie propagacyjnym wykorzystano nowe obiekty nie będące w dyspozycji Zamawiającego najprostszym i najszybszym rozwiązaniem będzie wybudowanie systemu połączeń radioliniowych, który połączy poszczególne stacje bazowe z „Centrum Zarządzania" systemem radiowym. Utrzymanie rozległego systemu radiokomunikacyjnego jest optymalne gdy użytkownik systemu dysponuje centrum, w którym zgromadzony jest cały sprzęt odpowiedzialny za utrzymanie systemu i zarządzanie abonentami (radiotelefonami), serwery AVL, rejestrator korespondencji itp.. Zazwyczaj lokalizowane jest ono w siedzibie użytkownika. W opracowaniu przejęto, że „Centrum Zarządzania" zlokalizowane będzie w siedzibie Zamawiającego w Chorzowie przy ul. Inwalidzkiej 5.

5.1 Proponowany układ systemu radioliniowego

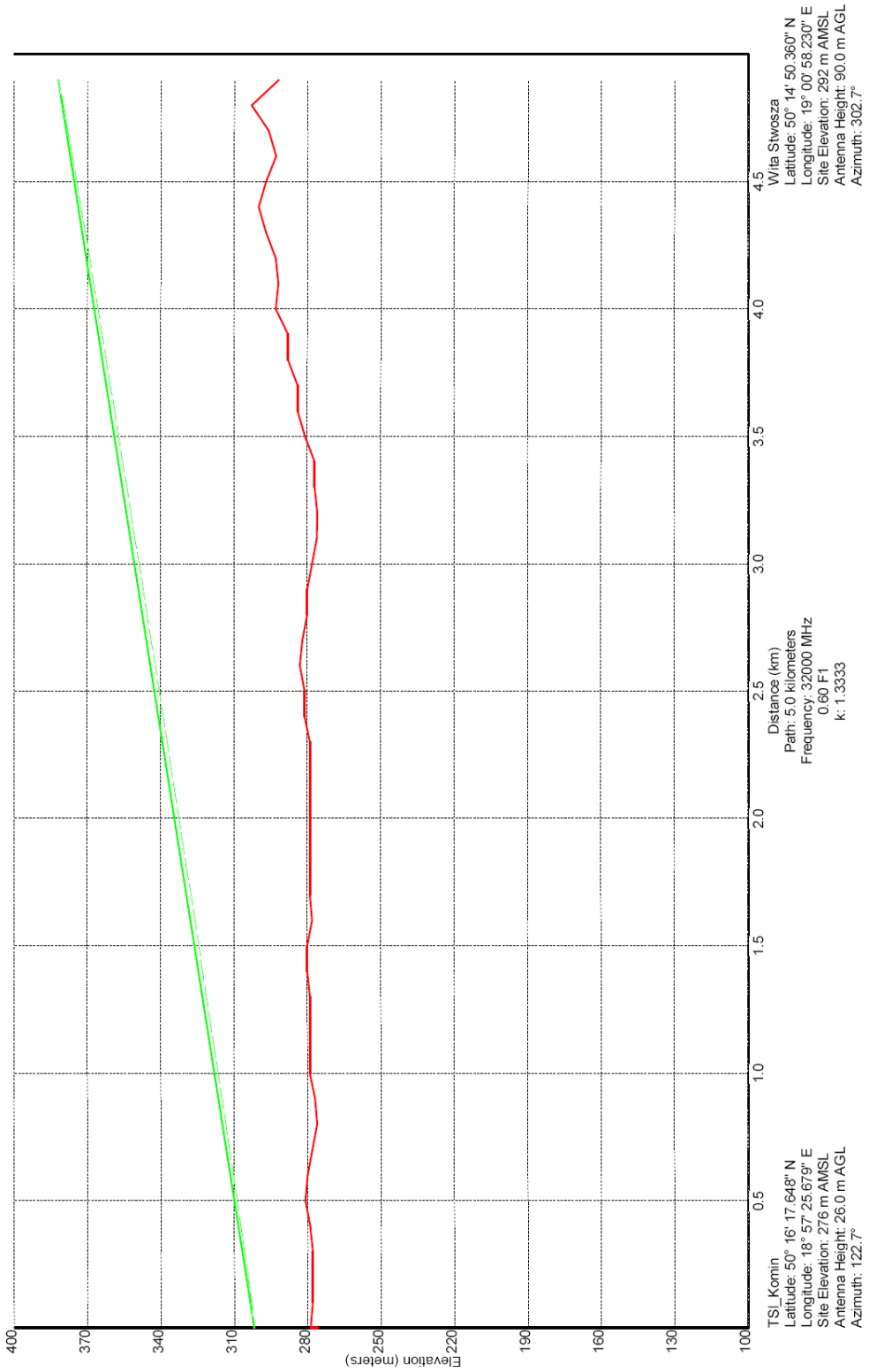
Dla bezpieczeństwa funkcjonowania całego systemu radiowego proponuje się wykonanie połączeń radioliniowych w układzie „ring" z wykorzystaniem radiolinii klasy operatorskiej co zapewni dwustronne dojście do poszczególnych stacji bazowych.



Oznaczenia na rysunku:
014 – lokalizacja Koksownia „Jadwiga", Zabrze
017 – lokalizacja Szpitalna 1, Sosnowiec
020 – centrum zarządzania systemem – Inwalidzka 5, Chorzów
110 – lokalizacja W. Stwosza, Katowice

Rys. nr 6: Schemat systemu radioliniowego – układ „ring"

5.1.1 Relacja Inwalidzka 5 ⇨ Wita Stwosza



Rys. nr 7: Profil łącza radioliniowego Inwalidzka5 – Wita Stwosza

Budżet łącza

Performance Prediction for **32 GHz C-QPSK** Date: 8/25/2017
BER 10-6 performance 99.999% of year on a 1 hop chain

Path: **WST_TSI** from (A) **Stwosza** to (B) **Inwalidzka**

Propagation prediction data

Path length (km): 5.0		0.01% rain int. (mm/h): 37
Inclination (mrad): 0.0	Longitude (deg. E): 19.0	Latitude (deg. N): 50.2
Altitude of lower antenna (m): 200	Terrain roughness (m): 20	Refr. gradient: -269

Equipment and system

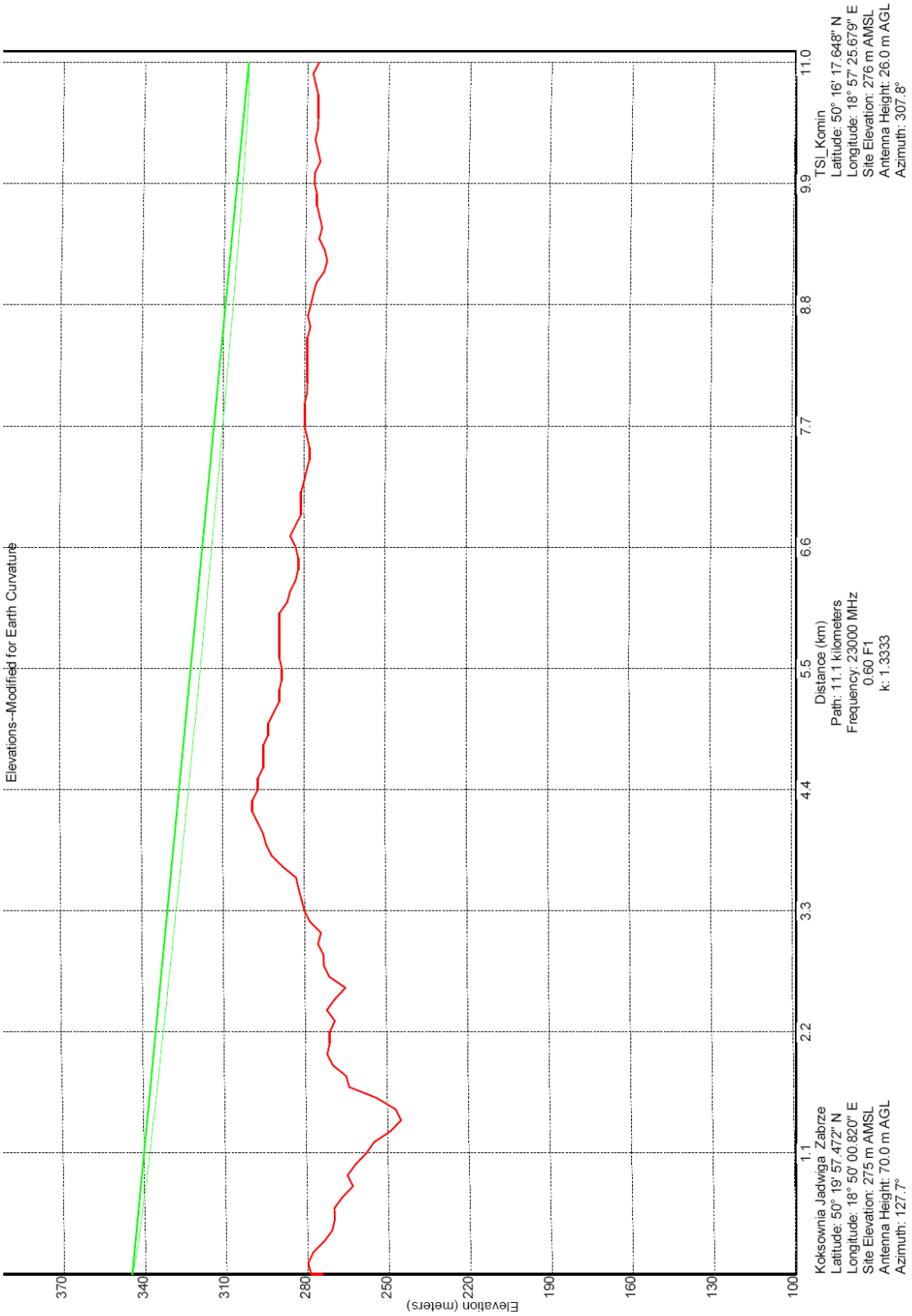
The prediction is based on planning data.

Transm. mode: Fixed/Fixed	Antenna A: 0.6 m	Polarization: Vert.
Bitrate: 34 Mbps	Antenna B: 0.6 m	MUX levels: 0
Red. conf.: No redundancy	Mounting: Split	MTTR (hours): 4.0

Link budget	**A to B**	**B to A**
Transmit power (dBm):	20.0	20.0
Transmit attenuator (dB):	0.0	0.0
Transmit waveguide loss (dB):	0.0	0.0
Transmit antenna gain (dB):	42.8	42.8
Free space loss (dB):	136.7	136.7
Atmospheric absorption loss (dB):	0.6	0.6
Receive antenna gain (dB):	42.8	42.8
Receive waveguide loss (dB):	0.0	0.0
Unfaded receive level (dBm):	-31.6	-31.6
Nominal RSSI (AGC) voltage (V):	2.21	2.21
BER 10-3 threshold (dBm):	-81.0	-81.0
BER 10-6 threshold (dBm):	-77.0	-77.0
Threshold degradation mp/rain (dB):	0.0 /0.0	0.0 /0.0
BER 10-3 fade margin mp/rain (dB):	49.4 /49.4	49.4 /49.4
BER 10-6 fade margin mp/rain (dB):	45.4 /45.4	45.4 /45.4

BER 10-6 exceeded during worst month			**Prop. target**
Flat mp (%/worst month):	0.00001	0.00001	
Selective mp (%/worst month):	0.0	0.0	
Rain (%/worst month):	0.01522	0.01522	
Total (%/worst month):	0.01523	0.01523	
equal to (min/worst month):	6.6	6.6	
BER 10-6 exceeded during year			
Flat mp (%/year):	0.0	0.0	
Selective mp (%/year):	0.0	0.0	
Rain (%/year):	0.00244	0.00244	
Total (%/year):	**0.00244**	**0.00244**	0.001
equal to (min/year):	12.8	12.8	
RBER			
Equipment:	1.0e-12	1.0e-12	
Noise:	2.3e-26	2.3e-26	
Total:	1.0e-12	1.0e-12	
Unavailability			
Hardware (%/year):	0.00338	0.00338	
Total (%/year):	0.00338	0.00338	
equal to (min/year):	17.8	17.8	

5.1.2 Relacja Inwalidzka 5 ⇨ Koksownia „Jadwiga”



Rys. nr 8: Profil łącza radioliniowego Inwalidzka5 – Koksownia „Jadwiga”

Budżet łącza

Performance Prediction for **23 GHz C-QPSK** Date: 8/25/2017
BER 10-6 performance 99.999% of year on a 1 hop chain

Path: **KJ_TSL** from (A) **Koksownia Jadwiga** to (B) **Inwalidzka**

Propagation prediction data

Path length (km): 11.1		0.01% rain int. (mm/h): 37
Inclination (mrad): 0.0	Longitude (deg. E): 18.6	Latitude (deg. N): 50.2
Altitude of lower antenna (m): 200	Terrain roughness (m): 20	Refr. gradient: -270

Equipment and system

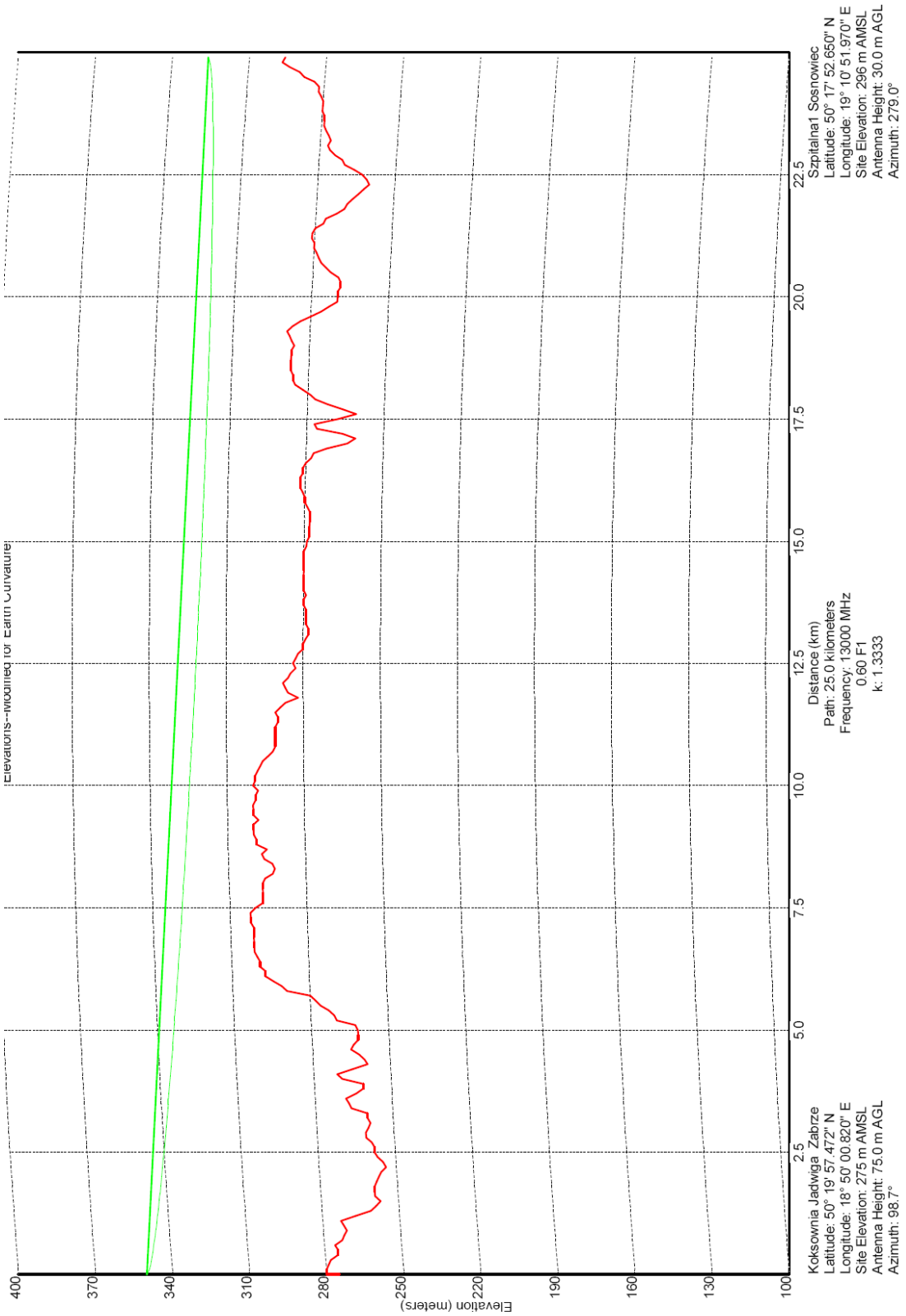
The prediction is based on planning data.

Transm. mode: Fixed/Fixed	Antenna A: 0.6 m	Polarization: Vert.
Bitrate: 34 Mbp	Antenna B: 0.6 m	MUX levels: 0
Red. conf.: No redundancy	Mounting: Split	MTTR (hours): 4.0

Link budget	**A to B**	**B to A**
Transmit power (dBm):	18.0	18.0
Transmit attenuator (dB):	0.0	0.0
Transmit waveguide loss (dB):	0.0	0.0
Transmit antenna gain (dB):	40.0	40.0
Free space loss (dB):	140.4	140.4
Atmospheric absorption loss (dB):	2.4	2.4
Receive antenna gain (dB):	40.0	40.0
Receive waveguide loss (dB):	0.0	0.0
Unfaded receive level (dBm):	-44.8	-44.8
Nominal RSSI (AGC) voltage (V):	1.88	1.88
BER 10-3 threshold (dBm):	-83.0	-83.0
BER 10-6 threshold (dBm):	-79.0	-79.0
Threshold degradation mp/rain (dB):	0.0 /0.0	0.0 /0.0
BER 10-3 fade margin mp/rain (dB):	38.2 /38.2	38.2 /38.2
BER 10-6 fade margin mp/rain (dB):	34.2 /34.2	34.2 /34.2

BER 10-6 exceeded during worst month			**Prop. target**
Flat mp (%/worst month):	0.00068	0.00068	
Selective mp (%/worst month):	0.00003	0.00003	
Rain (%/worst month):	0.03355	0.03355	
Total (%/worst month):	0.03425	0.03425	
equal to (min/worst month):	14.8	14.8	
BER 10-6 exceeded during year			
Flat mp (%/year):	0.0001	0.0001	
Selective mp (%/year):	0.00001	0.00001	
Rain (%/year):	0.00605	0.00605	
Total (%/year):	**0.00616**	**0.00616**	0.001
equal to (min/year):	32.4	32.4	
RBER			
Equipment:	1.0e-12	1.0e-12	
Noise:			
Total:	1.0e-12	1.0e-12	
Unavailability			
Hardware (%/year):	0.00338	0.00338	
Total (%/year):	0.00338	0.00338	
equal to (min/year):	17.8	17.8	

5.1.3 Relacja Koksownia „Jadwiga” ⇨ Szpitalna 1



Rys. nr 9: Profil łącza radioliniowego Szpitalna 1 – Koksownia „Jadwiga”

Budżet łącza

Performance Prediction for **13 GHz C-QPSK** Date: 8/25/2017
BER 10-6 performance 99.999% of year on a 1 hop chain

Path: **Jadwiga_Szpitalna** from (A) **Koksownia Jadwiga** to (B) **Szpitalna**

Propagation prediction data

Path length (km): 25.0		0.01% rain int. (mm/h): 37
Inclination (mrad): 0.0	Longitude (deg. E): 19.1	Latitude (deg. N): 50.2
Altitude of lower antenna (m): 200	Terrain roughness (m): 20	Refr. gradient: -271

Equipment and system

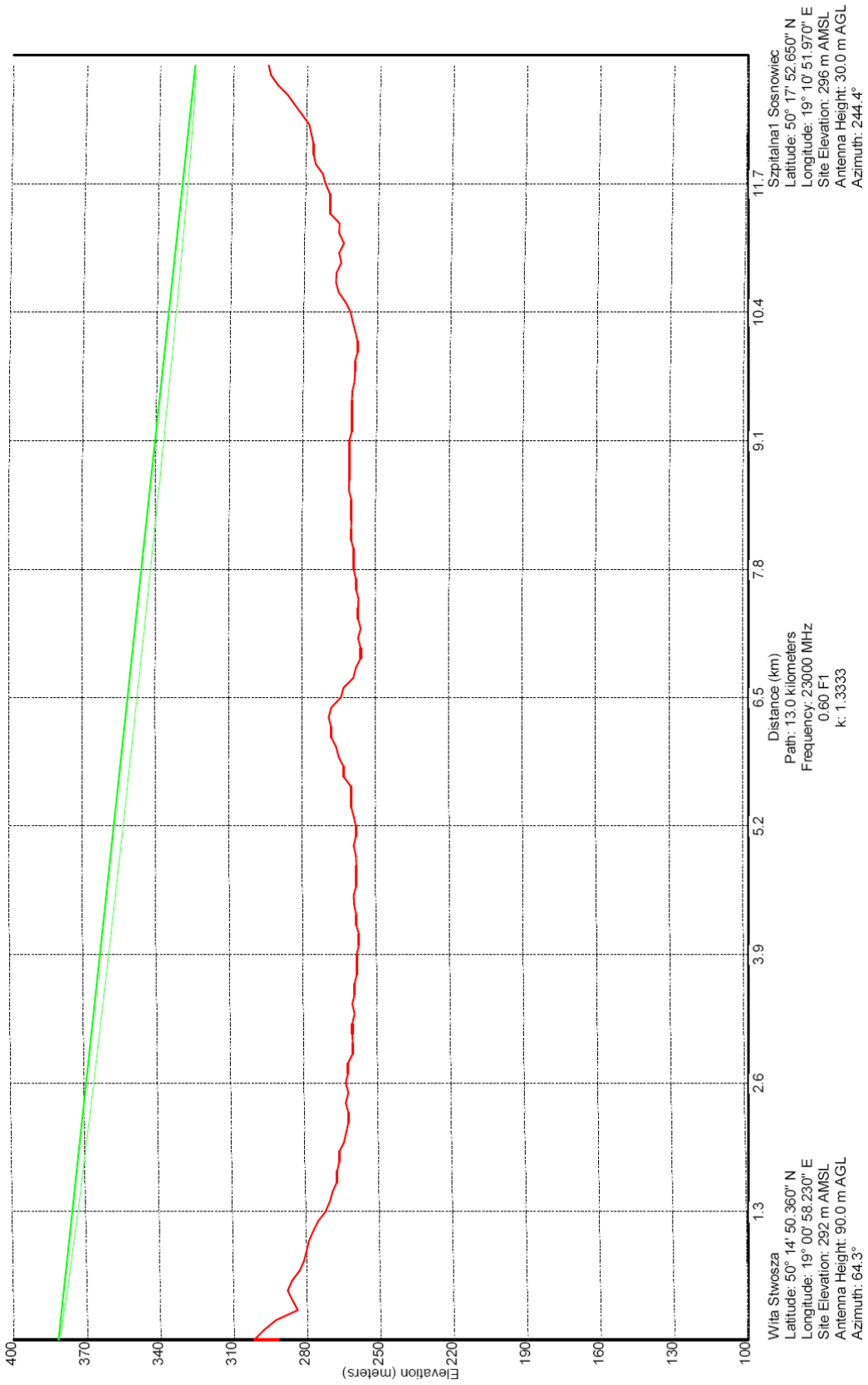
The prediction is based on planning data.

Transm. mode: Fixed/Fixed	Antenna A: 0.6 m	Polarization: Vert.
Bitrate: 34 Mbps	Antenna B: 0.6 m	MUX levels: 0
Red. conf.: No redundancy	Mounting: Split	MTTR (hours): 4.0

Link budget	**A to B**	**B to A**
Transmit power (dBm):	24.0	24.0
Transmit attenuator (dB):	0.0	0.0
Transmit waveguide loss (dB):	0.0	0.0
Transmit antenna gain (dB):	36.0	36.0
Free space loss (dB):	142.7	142.7
Atmospheric absorption loss (dB):	0.6	0.6
Receive antenna gain (dB):	36.0	36.0
Receive waveguide loss (dB):	0.0	0.0
Unfaded receive level (dBm):	-47.3	-47.3
Nominal RSSI (AGC) voltage (V):	1.82	1.82
BER 10-3 threshold (dBm):	-83.0	-83.0
BER 10-6 threshold (dBm):	-79.0	-79.0
Threshold degradation mp/rain (dB):	0.0 /0.0	0.0 /0.0
BER 10-3 fade margin mp/rain (dB):	35.7 /35.7	35.7 /35.7
BER 10-6 fade margin mp/rain (dB):	31.7 /31.7	31.7 /31.7

BER 10-6 exceeded during worst month			**Prop. target**
Flat mp (%/worst month):	0.00816	0.00816	
Selective mp (%/worst month):	0.00093	0.00093	
Rain (%/worst month):	0.01351	0.01351	
Total (%/worst month):	0.02261	0.02261	
equal to (min/worst month):	9.8	9.8	
BER 10-6 exceeded during year			
Flat mp (%/year):	0.00153	0.00153	
Selective mp (%/year):	0.00027	0.00027	
Rain (%/year):	0.00213	0.00213	
Total (%/year):	**0.00393**	**0.00393**	0.001
equal to (min/year):	20.6	20.6	
RBER			
Equipment:	1.0e-12	1.0e-12	
Noise:			
Total:	1.0e-12	1.0e-12	
Unavailability			
Hardware (%/year):	0.00338	0.00338	
Total (%/year):	0.00338	0.00338	
equal to (min/year):	17.8	17.8	

5.1.4 Relacja Szpitalna 1 ⇨ Wita Stwosza



Rys. nr 10: Profil łącza radioliniowego Szpitalna 1 – Wita Stwosza

Budżet łącza

Performance Prediction for **23 GHz C-QPSK** Date: 8/25/2017
BER 10-6 performance 99.999% of year on a 1 hop chain

Path: **WST_Szpitalna** from (A) **W Stwosza** to (B) **Szpitalna**

Propagation prediction data

Path length (km): 13.0		0.01% rain int. (mm/h): 37
Inclination (mrad): 0.0	Longitude (deg. E): 19.1	Latitude (deg. N): 50.2
Altitude of lower antenna (m): 200	Terrain roughness (m): 20	Refr. gradient: -270

Equipment and system

The prediction is based on planning data.		
Transm. mode: Fixed/Fixed	Antenna A: 0.6 m	Polarization: Vert.
Bitrate: 34 Mbps	Antenna B: 0.6 m	MUX levels: 0
Red. conf.: No redundancy	Mounting: Split	MTTR (hours): 4.0

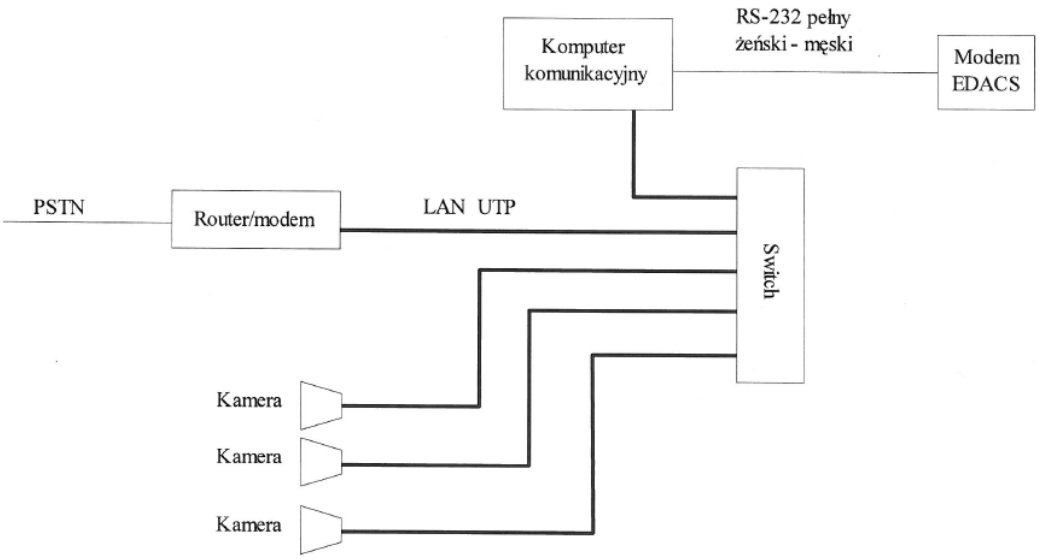
Link budget	**A to B**	**B to A**
Transmit power (dBm):	20.0	20.0
Transmit attenuator (dB):	0.0	0.0
Transmit waveguide loss (dB):	0.0	0.0
Transmit antenna gain (dB):	40.0	40.0
Free space loss (dB):	141.7	141.7
Atmospheric absorption loss (dB):	2.8	2.8
Receive antenna gain (dB):	40.0	40.0
Receive waveguide loss (dB):	0.0	0.0
Unfaded receive level (dBm):	-44.6	-44.6
Nominal RSSI (AGC) voltage (V):	1.89	1.89
BER 10-3 threshold (dBm):	-83.0	-83.0
BER 10-6 threshold (dBm):	-79.0	-79.0
Threshold degradation mp/rain (dB):	0.0 /0.0	0.0 /0.0
BER 10-3 fade margin mp/rain (dB):	38.4 /38.4	38.4 /38.4
BER 10-6 fade margin mp/rain (dB):	34.4 /34.4	34.4 /34.4

BER 10-6 exceeded during worst month			**Prop. target**
Flat mp (%/worst month):	0.00107	0.00107	
Selective mp (%/worst month):	0.00006	0.00006	
Rain (%/worst month):	0.04196	0.04196	
Total (%/worst month):	0.0431	0.0431	
equal to (min/worst month):	18.6	18.6	
BER 10-6 exceeded during year			
Flat mp (%/year):	0.00017	0.00017	
Selective mp (%/year):	0.00002	0.00002	
Rain (%/year):	0.00782	0.00782	
Total (%/year):	**0.00801**	**0.00801**	0.001
equal to (min/year):	42.1	42.1	
RBER			
Equipment:	1.0e-12	1.0e-12	
Noise:			
Total:	1.0e-12	1.0e-12	
Unavailability			
Hardware (%/year):	0.00338	0.00338	
Total (%/year):	0.00338	0.00338	
equal to (min/year):	17.8	17.8	

6 Transmisja danych w systemie DMR

6.1 Sterowanie radiowe podstacjami trakcyjnymi

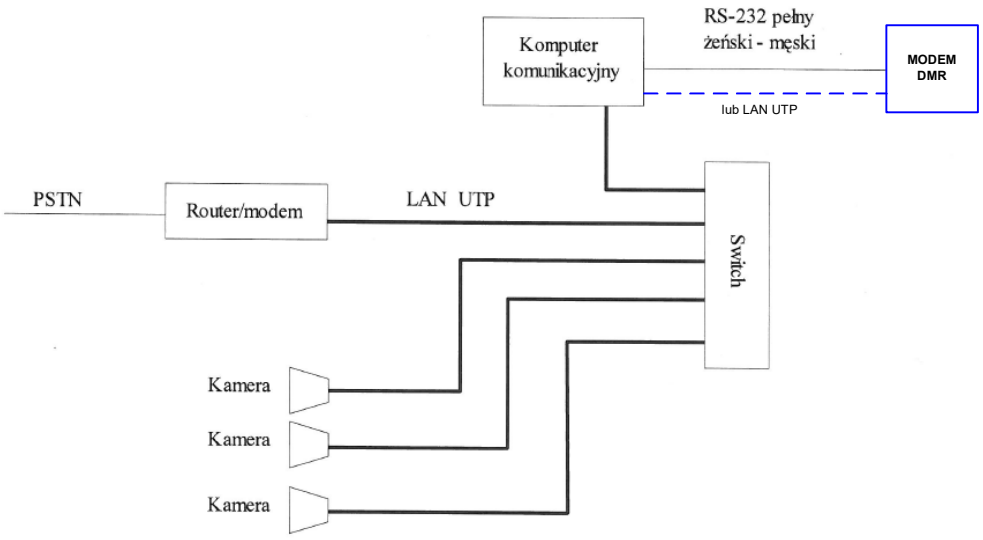
Aktualnie sterowanie podstacjami trakcyjnymi realizowane jest z wykorzystaniem możliwości transmisji danych oferowanych przez system analogowej łączności trunkingowej EDACS. Prędkość transmisji wynosi 9,6 kbit/s. Obecny system sterowania radiowego skonfigurowany został przez firmę „ELESTER PKP" i pracuje w oparciu o aplikację EdacsCln i zapewnia przekazywanie danych pakietowych pomiędzy radiotelefonem na Centralnej Dyspozytorni i radiotelefonami na poszczególnych podstacjach trakcyjnych.
Wykorzystywany system sterowania realizuje funkcje „załącz/wyłącz", potwierdzenie wykonania polecenia oraz zapewnia okresowe odpytywanie stanu sterowanego obiektu.



Rys. nr 6: Aktualny schemat blokowy urządzeń podstacji

Nowe sterowanie radiowe poprzez system DMR Tier III nie będzie wnikało w istniejącą infrastrukturę zainstalowaną w Centralnej Dyspozytorni jak i na poszczególnych podstacjach trakcyjnych. Zmianie ulegnie jedynie medium transmisyjne. Konieczna będzie tylko wymiana

„Modemu EDACS" (w rzeczywistości radiotelefon M7100 Scan z otwartą opcją transmisji danych) na modem obsługujący pakietową transmisję danych w standardzie DMR Tier III. Podobnie jak obecnie wykorzystywany system sterowania zapewni on realizuję funkcji „załącz/wyłącz", potwierdzenie wykonania polecenia oraz okresowego odpytywania stanu sterowanego obiektu



Rys. nr 6: Schemat blokowy urządzeń podstacji w systemie DMR Tier III

Dla sprawnego funkcjonowania sterowania zaleca się stosowanie anten kierunkowych do modemów szczególnie gdy obiekty sterowane znajdują się na skraju zasięgów systemu radiowego.

6.2 Transmisja danych GPS

Wszystkie radiotelefony (przewoźne, noszone) DMR Tier III dostępne na rynku są na życzenie klienta wykonywane w wersji z odbiornikiem GPS. Zakup takich radiotelefonów umożliwi transmisję danych o położeniu poszczególnych radiotelefonów (pojazdów, osób) do dedykowanego centrum dyspozytorskiego. Do pełnego zobrazowania o położeniu zarządzanych pojazdów osób niezbędny jest zakup dedykowanej do tego aplikacji.

Należy pamiętać, że pozycjonowanie pojazdów oraz osób poprzez systemy radiowe nie odbywa się „online". Zazwyczaj stosowane są specjalne algorytmy np. pojazd przesyła informację o swoim aktualnym położeniu co zadany interwał czasowy (co 5 lub 10 sekund) względnie po zmianie swojego położenia o zadaną odległość (100 m od ostatnio przesłanej informacji). Zazwyczaj stosuje się kombinację tych dwóch parametrów. Nie ma bowiem sensu ponowne wysyłanie swojej pozycji co 5 sekund gdy pojazd stoi kilka minut w korku. Niepotrzebne wysyłanie danych o położeniu może bowiem „przytkać" system radiowy co w efekcie może wydłużyć czas oczekiwania na połączenie.

7 Oddziaływanie instalacji radiowej na środowisko

Pełne przeprowadzenie analizy wpływu (oddziaływania) stacji bazowych na środowisko (bezpieczeństwo przebywania ludzi i zwierząt) na tym etapie prowadzenia prac projektowych nie jest prawnie wymagane.
Zgodnie z rozporządzeniem Rady Ministrów z dnia 9 listopada 2010 w sprawie przedsięwzięć mogących znacząco oddziaływać na środowisko, za przedsięwzięcia mogące znacząco oddziaływać na środowisko uznaje się instalacje radiokomunikacyjne emitujące pola elektromagnetyczne o częstotliwościach od 0,03 MHz do 300 000 MHz, w których równoważna moc promieniowania izotropowego anteny zawarta jest w przedziale od 15 W do 100 W a miejsca dostępne dla ludności znajdują się w odległości nie większej jak 5 m od środka elektrycznego w osi głównej wiązki promieniowania anteny.
Przyjęty w projekcie sposób i wysokość instalacji anten (maszt antenowe oraz kominy EC) ponad budynkami mieszkalnymi wyklucza możliwość przebywania ludności w odległości mniejszej niż 5 m od anteny, dotyczy to również systemu radioliniowego. Zaznaczyć jednak należy że cytowane rozporządzenie wyłącza z tego wymogu radiolinie.

Obecnie w systemach radiokomunikacyjnych dopuszczona prawnie jest instalacja tylko urządzeń, które przeszły badania i otrzymały oznaczenie CE w zakresie spełniania wymagań zasadniczych (również w zakresie kompatybilności elektromagnetycznej). Nie jest więc możliwe by zainstalowane nowe urządzenia były źródłem zakłóceń elektromagnetycznych.

Należy jednak pamiętać by po instalacji kompletnego systemu (stacje bazowe, radiolinie) zostały wykonane przez akredytowane laboratorium lub placówkę badawczą pomiary promieniowania elektromagnetycznego dla celów ochrony środowiska oraz BHP na poszczególnych lokalizacjach stacji bazowych.

8 Uwagi i wnioski

Projektanci dołożyli wszelkich starań, aby zamieszczone w projekcie przewidywane zasięgi łączności były jak najbardziej zbliżone do zasięgów uzyskiwanych w praktyce po wybudowaniu systemu. Należy jednak wyraźnie zaznaczyć, że dokładność przeprowadzonych obliczeń jest pochodną wielu przyjętych założeń, a także dokładności danych lokalizacji, dokładności użytej cyfrowej mapy wysokości i cyfrowej mapy środowiska.

Wszystkie mapy zasięgowe odnoszą się do założonego prawdopodobieństwa uzyskania poprawnej łączności i w żadnym wypadku nie stanowią 100% gwarancji nawiązania lub braku łączności.

Decydującym czynnikiem limitującym zasięg poszczególnych stacji bazowych jest ukształtowanie terenu, a dopiero w dalszej kolejność moc ERP nadawania oraz cechy środowiska. Stosunkowo najsłabiej w obliczeniach odwzorowany jest efekt tłumienia środowiska, gdyż wykorzystana baza danych środowiska nie różnicuje tłumienia w lasach w zależności od ich gęstości i rodzaju, a w miastach w zależności od wysokości, gęstości i rodzaju zabudowy. Przyjęte uśrednione wartości stanowią jednakże bezpieczny kompromis, co potwierdziły testy w terenie.

Projektanci wybierając lokalizacje dla nowych stacji bazowych uzyskali znaczne nakładanie się zasięgów od poszczególnych stacji bazowych. Celowo, jeżeli nie było to wymuszone innymi czynnikami (np. koordynacja częstotliwości) stosowano anteny omni bez pochylenia elektrycznego charakterystyki. Uznano, że znaczne nakładanie się zasięgów zapewnia silniejszy sygnał i jest korzystne z punktu widzenia automatycznego przełączania się terminali abonenckich pomiędzy stacjami bazowymi..

O optymalności wykonania projektu świadczy również raport wykazujący zbalansowanie poszczególnych stref radiowych tzn. czy zasięgi od stacji bazowej do terminala i od terminala do stacji bazowej są porównywalne. Uzyskany efekt w przypadku radiotelefonów noszonych jest zadawalający. W przypadku radiotelefonów pojazdowych trochę gorzej wypada relacja od stacji bazowej do terminala co spowodowane jest wymaganym przez UKE maksymalnym promieniowaniem EIRP zdefiniowanym na 14 dBW.

W przypadku strefy radiowej instalowanej na Koksowni „Jadwiga” niezbalansowanie relacji spowodowane jest zastosowaniem wzmacniacza w torze Rx, bez którego drastycznie uległ by zmniejszeniu zasięg do radiotelefonów noszonych, ze względu na długość kabla (120 m).

RadioPartners Sp. z o.o.

Site Balance Report

Date: 08/25/2017
Time: 12:35:05 PM

Site: 017, Szpitalna1 Sosnowiec		
Mobile:		
Maximum Antenna Gain	TO-TB = -1.6 dB	Comment: Slightly Talkout Limited
Average Antenna Gain	TO-TB = -1.6 dB	Comment: Slightly Talkout Limited
Portable:		
Maximum Antenna Gain	TO-TB = 0.4 dB	Comment: Balanced
Average Antenna Gain	TO-TB = 0.4 dB	Comment: Balanced
Site: 014, Koksownia Jadwiga Zabrze		
Mobile:		
Maximum Antenna Gain	TO-TB = -5.2 dB	Comment: Talkout Limited
Average Antenna Gain	TO-TB = -5.2 dB	Comment: Talkout Limited
Portable:		
Maximum Antenna Gain	TO-TB = -3.2 dB	Comment: Talkout Limited
Average Antenna Gain	TO-TB = -3.2 dB	Comment: Talkout Limited
Site: 110, Wita Stwosza		
Mobile:		
Maximum Antenna Gain	TO-TB = -1.4 dB	Comment: Slightly Talkout Limited
Average Antenna Gain	TO-TB = -1.4 dB	Comment: Slightly Talkout Limited
Portable:		
Maximum Antenna Gain	TO-TB = 0.6 dB	Comment: Balanced
Average Antenna Gain	TO-TB = 0.6 dB	Comment: Balanced

Określone w Tabeli 5 ilości częstotliwości nośnych dla poszczególnych lokalizacji zapewnią prawidłową pracę w sieci radiowej planowanej przez Zamawiającego ilości radiotelefonów (ok. 490 szt.) z uwzględnieniem korespondenci, przesyłania danych o lokalizacji (GPS) oraz sterowanie podstacjami trakcyjnymi. Zwiększenie ilości radiotelefonów wymagać będzie wcześniejszego wygenerowania raportów z systemu zarządzania o zajętości eksploatowanych kanałów radiowych i ich wnikliwego przeanalizowaniu tak by zwiększając ilość radiotelefonów nie doprowadzić do „przytkania” systemu.

9 Wykaz załączników

Załącznik nr 1 - Mapa zasięgów z 5 lokalizacji – radiotelefony pojazdowe

Załącznik nr 2 – Mapa zasięgów z 5 lokalizacji – radiotelefony noszone

Załącznik nr 3 - Mapa zasięgów z Wita Stwosza – radiotelefony pojazdowe

Załącznik nr 4 - Mapa zasięgów z Wita Stwosza – radiotelefony noszone

Załącznik nr 5 – Mapa zasięgów ze Szpitalna 1 – radiotelefony pojazdowe

Załącznik nr 6 – Mapa zasięgów ze Szpitalna 1 – radiotelefony noszone

Załącznik nr 7 – Mapa zasięgów z Koksowni „Jadwiga” – radiotelefony pojazdowe

Załącznik nr 8 – Mapa zasięgów z Koksowni „Jadwiga” - radiotelefony noszone

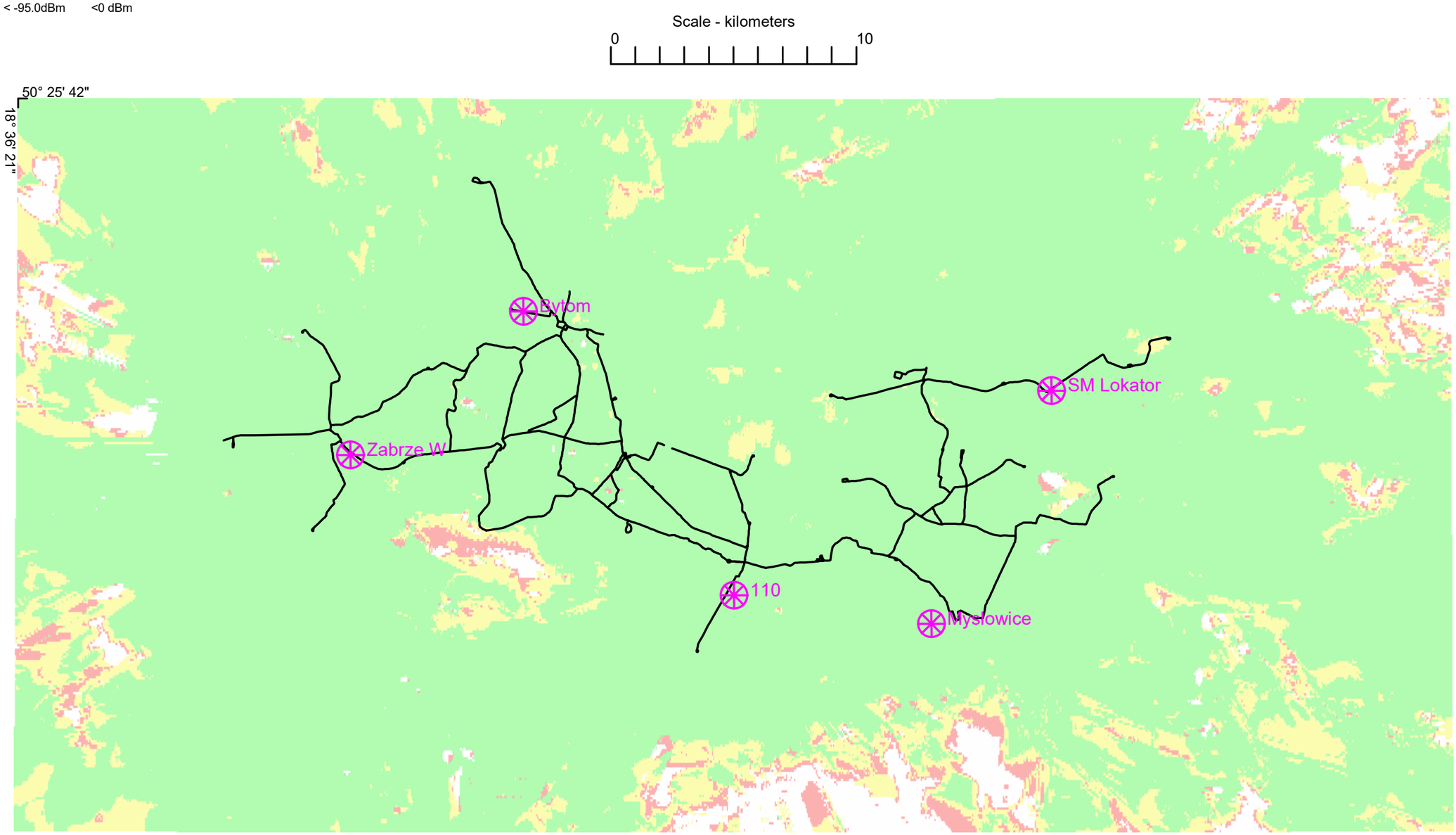
Załącznik nr 9 – Zbiorcza mapa zasięgów - radiotelefony pojazdowe

Załącznik nr 10 – Zbiorcza mapa zasięgów - radiotelefony noszone

RadioPartners Sp. z o.o.

RAPTR Version 25.2.305
Friday, August 25, 2017 10:44:41
Project: TramSl DMR
MBP: 4321
Figure:
Design: Bounded Area
Service: Mobile, Talkout, Outdoors, DMR
Engineer: IEDD
Map type - 1:175,427
Note: Map depicts coverage across the defined service area. Statistical variability does not allow for guarantee of coverage in specific locations, but does represent graphically area % coverage.

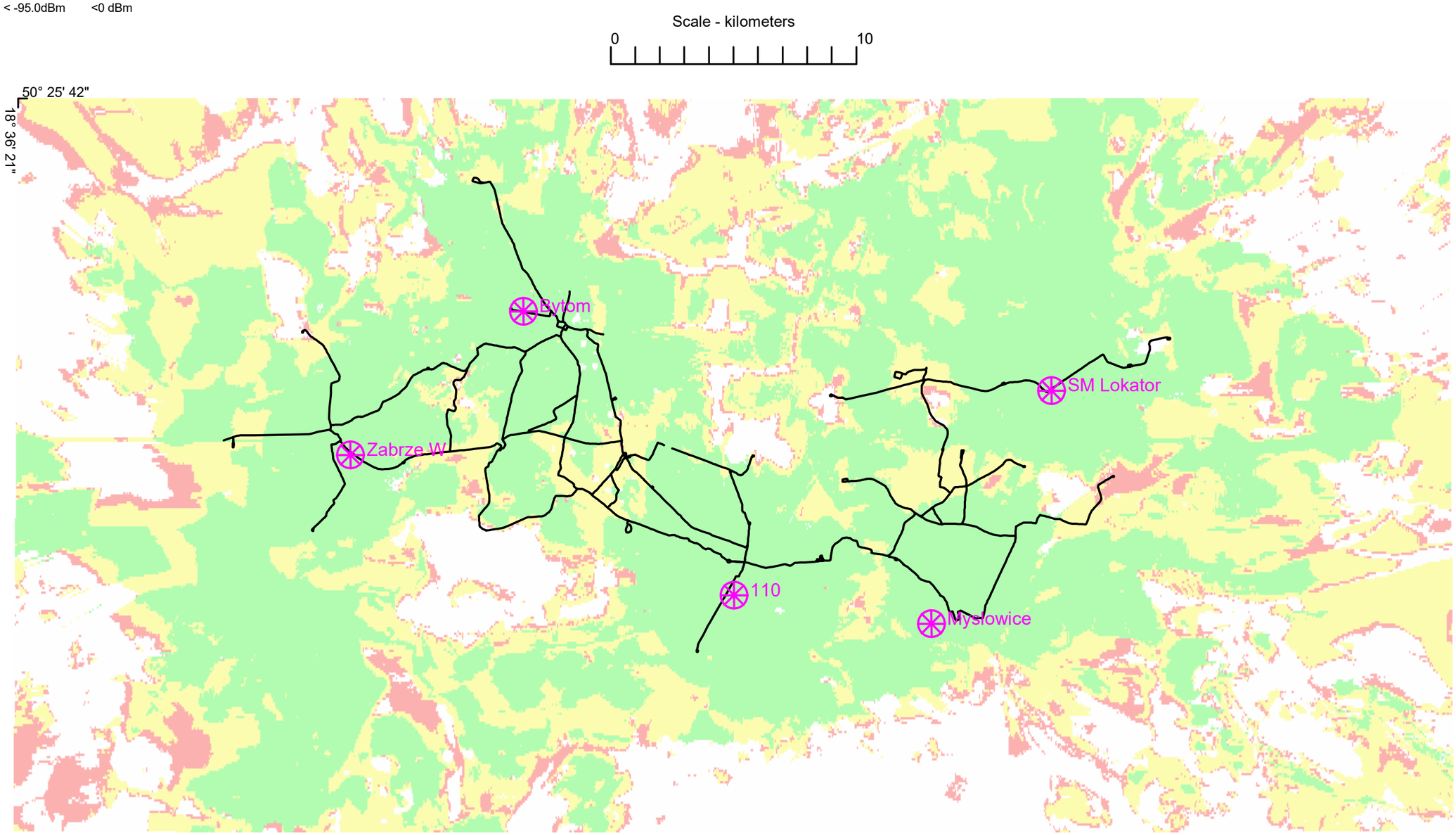
< -107.0dBm < -104.0dBm < -95.0dBm <0 dBm



RadioPartners Sp. z o.o.

RAPTR Version 25.2.305
Friday, August 25, 2017 10:48:52
Project: TramSl DMR
MBP: 4321
Figure:
Design: Bounded Area
Service: Portable, Talkback, Outdoors, No SMA, DMR
Engineer: IEDD
Map type - 1:175,427
Note: Map depicts coverage across the defined service area. Statistical variability does not allow for guarantee of coverage in specific locations, but does represent graphically area % coverage.

< -107.0dBm < -104.0dBm < -95.0dBm <0 dBm

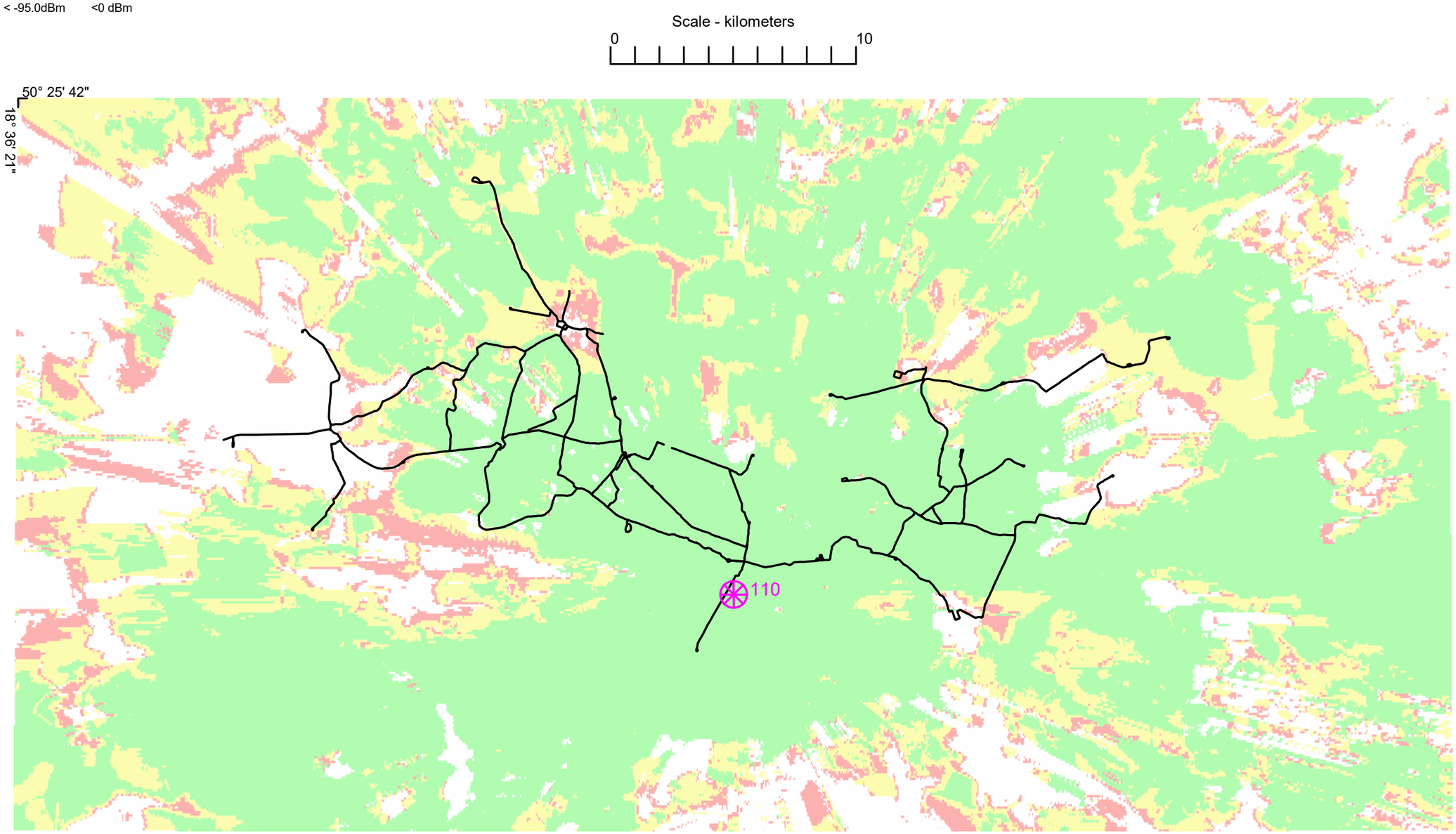


RadioPartners Sp. z o.o.

ZAŁĄCZNIK NR 3

RAPTR Version 25.2.305
Friday, August 25, 2017 10:54:55
Project: TramSl DMR
MBP: 4321
Figure:
Design: Bounded Area
Service: Mobile, Talkout, Outdoors, DMR
Engineer: IEDD
Map type - 1:175,427
Note: Map depicts coverage across the defined service area. Statistical variability does not allow for guarantee of coverage in specific locations, but does represent graphically area % coverage.

< -107.0dBm < -104.0dBm < -95.0dBm <0 dBm



RadioPartners Sp. z o.o.

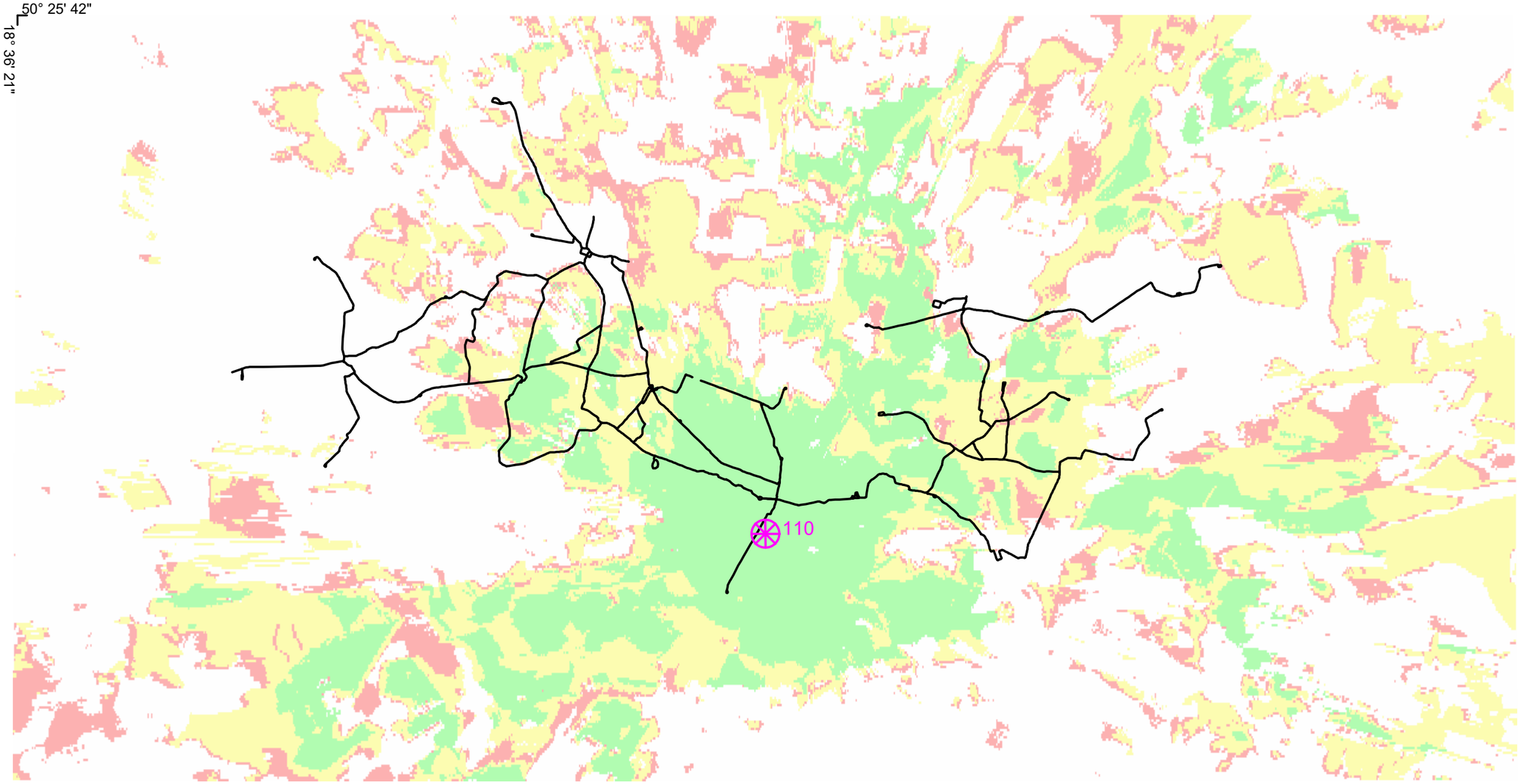
ZAŁĄCZNIK NR 4

RAPTR Version 25.2.305
Friday, August 25, 2017 10:55:43
Project: TramSl DMR
MBP: 4321
Figure:
Design: Bounded Area
Service: Portable, Talkback, Outdoors, No SMA, DMR
Engineer: IEDD
Map type - 1:175,427
Note: Map depicts coverage across the defined service area. Statistical variability does not allow for guarantee of coverage in specific locations, but does represent graphically area % coverage.

< -107.0dBm < -104.0dBm < -95.0dBm <0 dBm

Scale - kilometers
0 10

50° 25' 42"
18° 36' 21"

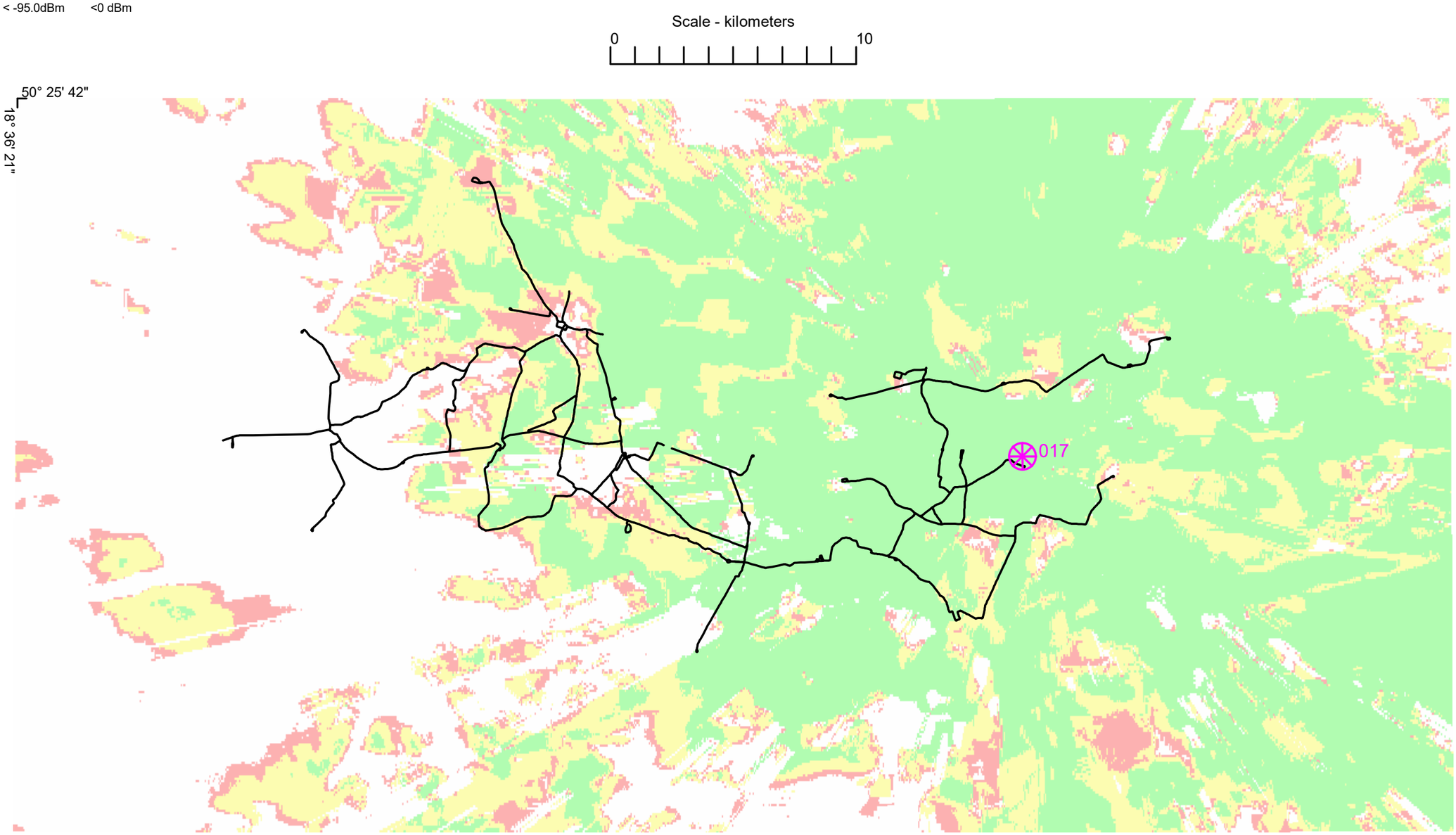


RadioPartners Sp. z o.o.

ZAŁĄCZNIK NR 5

RAPTR Version 25.2.305
Friday, August 25, 2017 10:59:36
Project: TramSl DMR
MBP: 4321
Figure:
Design: Bounded Area
Service: Mobile, Talkout, Outdoors, DMR
Engineer: IEDD
Map type - 1:175,427
Note: Map depicts coverage across the defined service area. Statistical variability does not allow for guarantee of coverage in specific locations, but does represent graphically area % coverage.

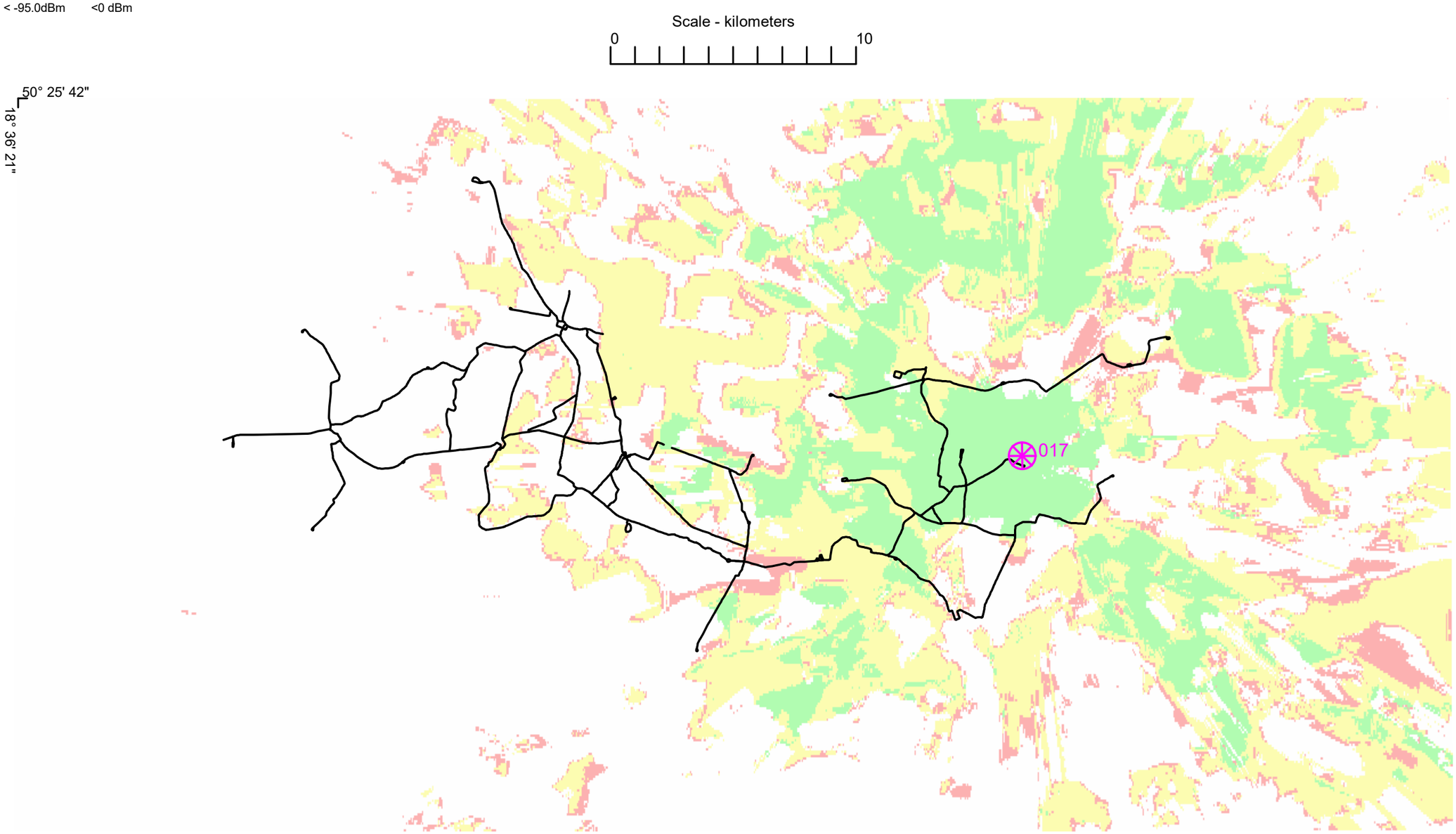
< -107.0dBm < -104.0dBm < -95.0dBm <0 dBm



RadioPartners Sp. z o.o.

RAPTR Version 25.2.305
Friday, August 25, 2017 11:00:25
Project: TramSl DMR
MBP: 4321
Figure:
Design: Bounded Area
Service: Portable, Talkback, Outdoors, No SMA, DMR
Engineer: IEDD
Map type - 1:175,427
Note: Map depicts coverage across the defined service area. Statistical variability does not allow for guarantee of coverage in specific locations, but does represent graphically area % coverage.

< -107.0dBm < -104.0dBm < -95.0dBm <0 dBm

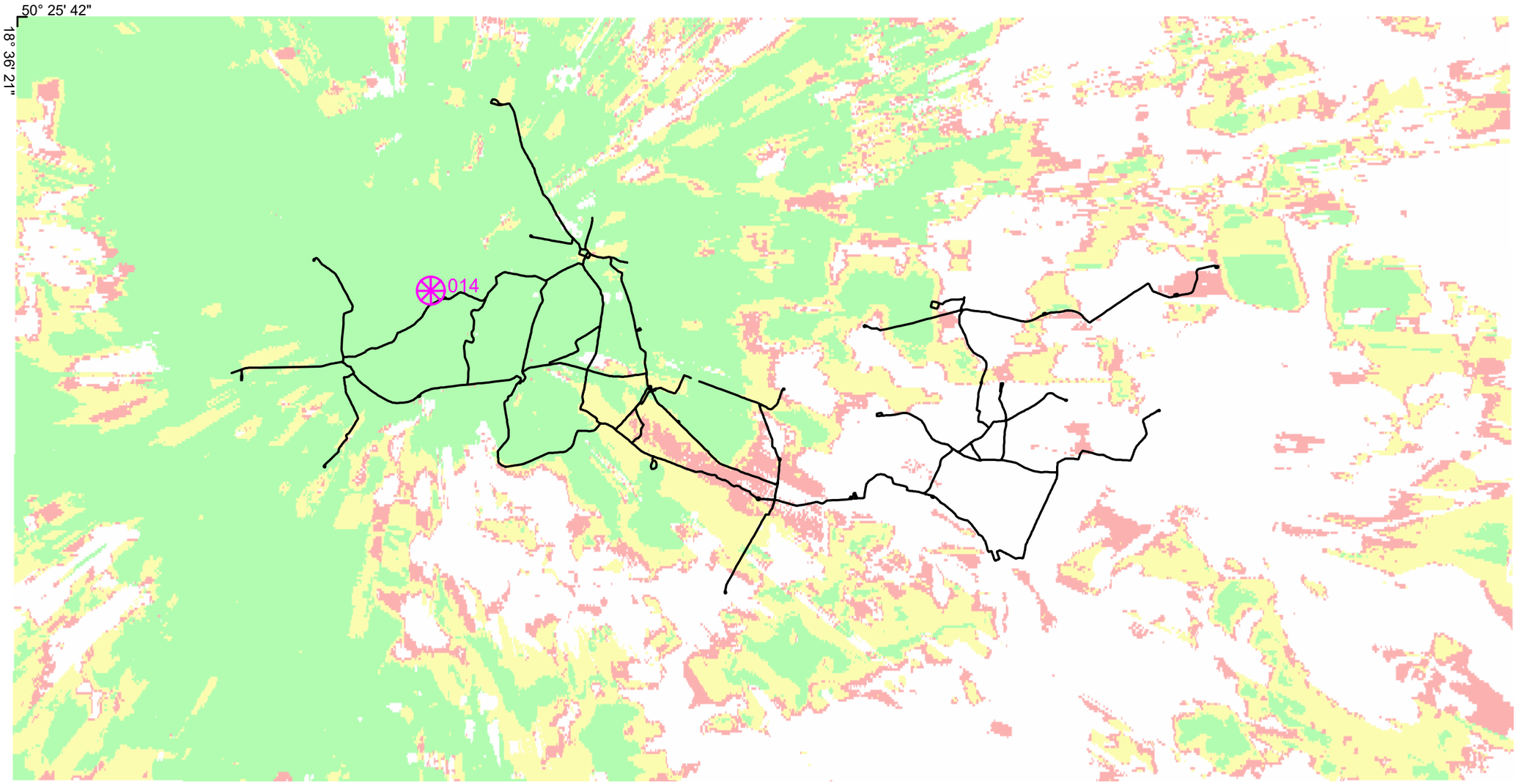


RadioPartners Sp. z o.o.

RAPTR Version 25.2.305
Friday, August 25, 2017 12:27:07
Project: TramSl DMR
MBP: 4321
Figure:
Design: Bounded Area
Service: Mobile, Talkout, Outdoors, DMR
Engineer: IEDD
Map type - 1:175,427
Note: Map depicts coverage across the defined service area. Statistical variability does not allow for guarantee of coverage in specific locations, but does represent graphically area % coverage.

< -107.0dBm < -104.0dBm < -95.0dBm <0 dBm

Scale - kilometers
0 10



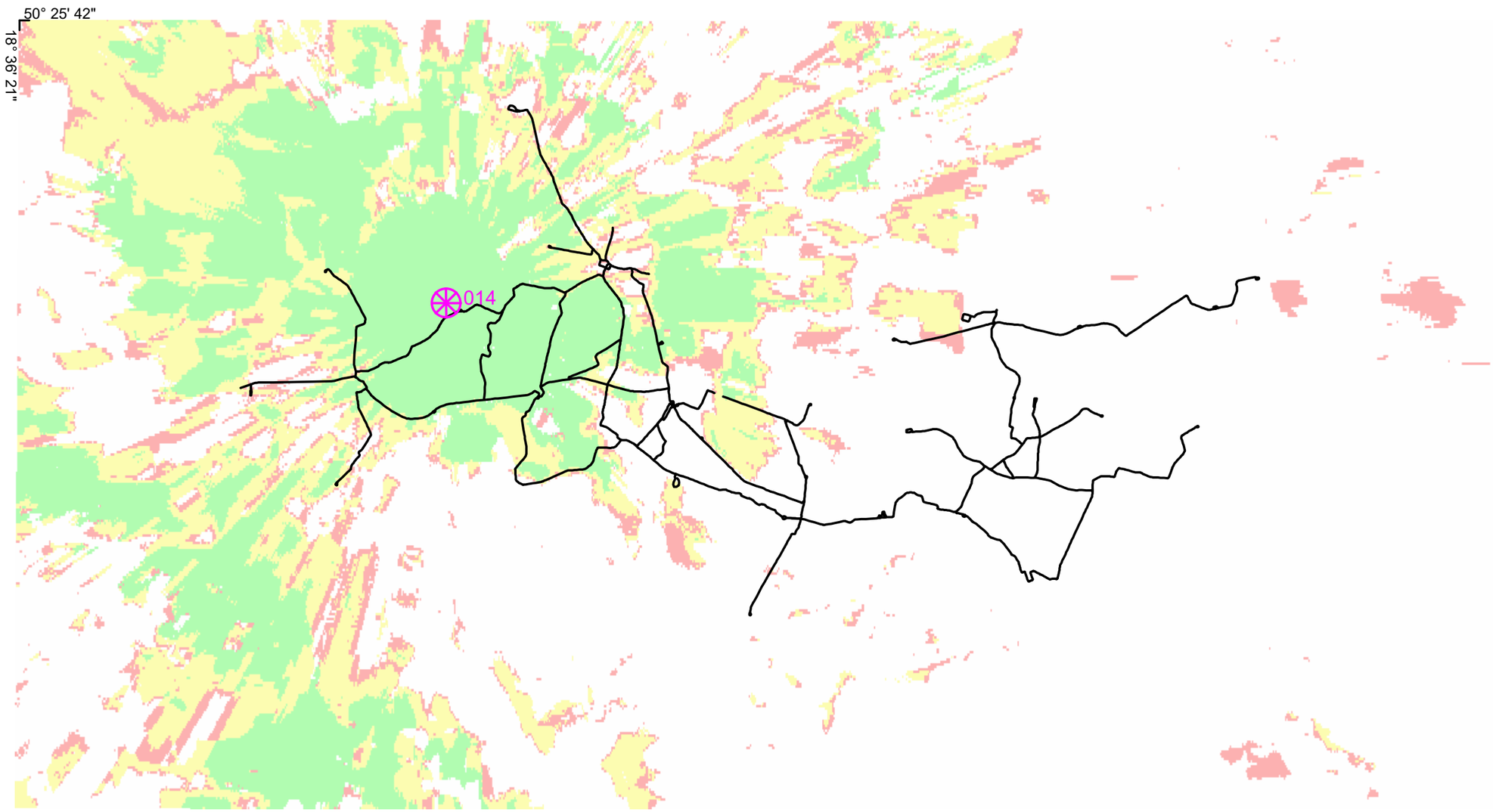
RadioPartners Sp. z o.o.

ZAŁĄCZNIK NR 8

RAPTR Version 25.2.305
Friday, August 25, 2017 12:25:58
Project: TramSl DMR
MBP: 4321
Figure:
Design: Bounded Area
Service: Portable, Talkback, Outdoors, No SMA, DMR
Engineer: IEDD
Map type - 1:175,427
Note: Map depicts coverage across the defined service area. Statistical variability does not allow for guarantee of coverage in specific locations, but does represent graphically area % coverage.

< -107.0dBm < -104.0dBm < -95.0dBm <0 dBm

Scale - kilometers
0 10

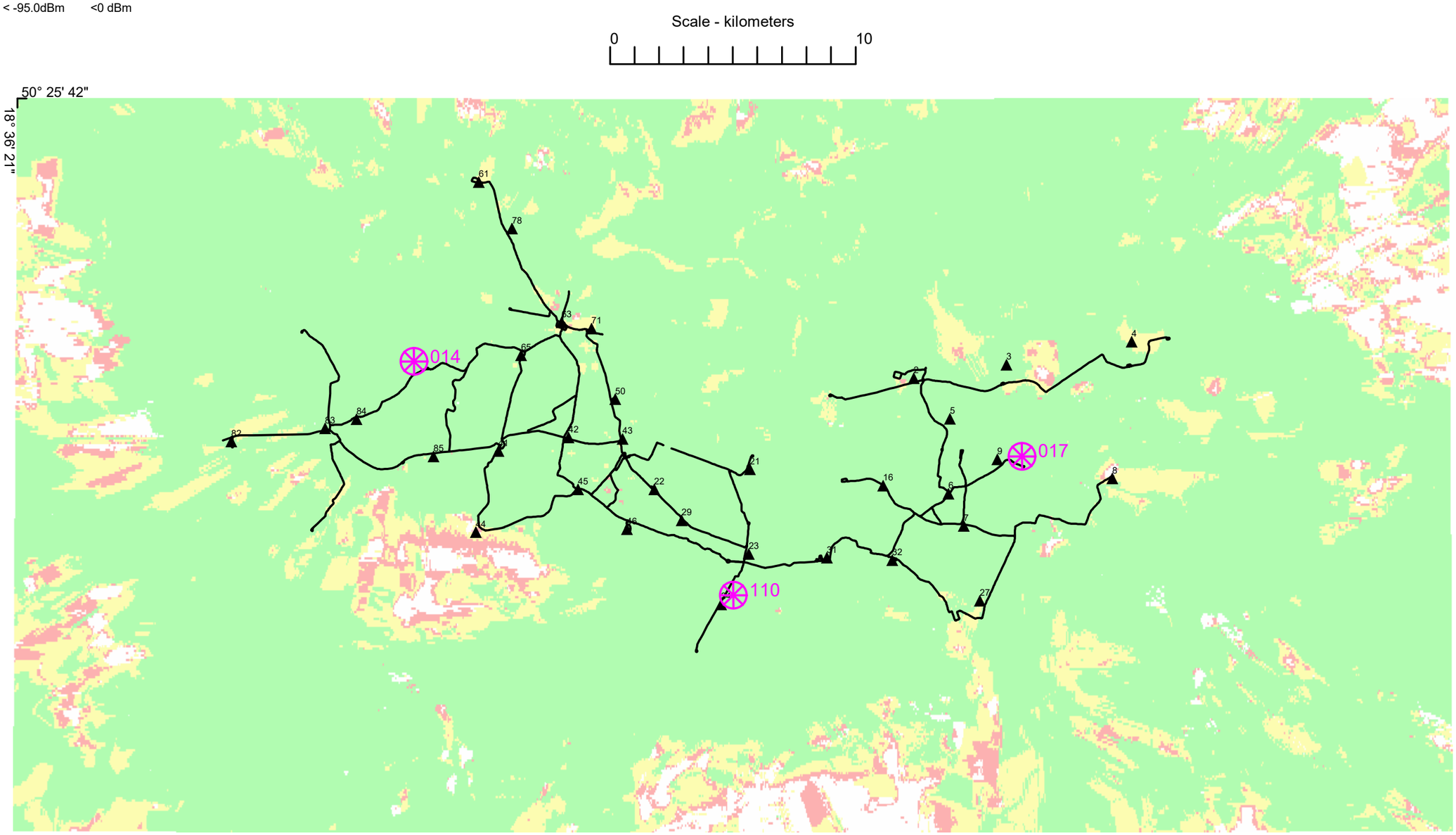


RadioPartners Sp. z o.o.

ZAŁĄCZNIK NR 9

RAPTR Version 25.2.305
Friday, August 25, 2017 12:21:40
Project: TramSl DMR
MBP: 4321
Figure:
Design: Bounded Area
Service: Mobile, Talkout, Outdoors, DMR
Engineer: IEDD
Map type - 1:175,427
Note: Map depicts coverage across the defined service area. Statistical variability does not allow for guarantee of coverage in specific locations, but does represent graphically area % coverage.

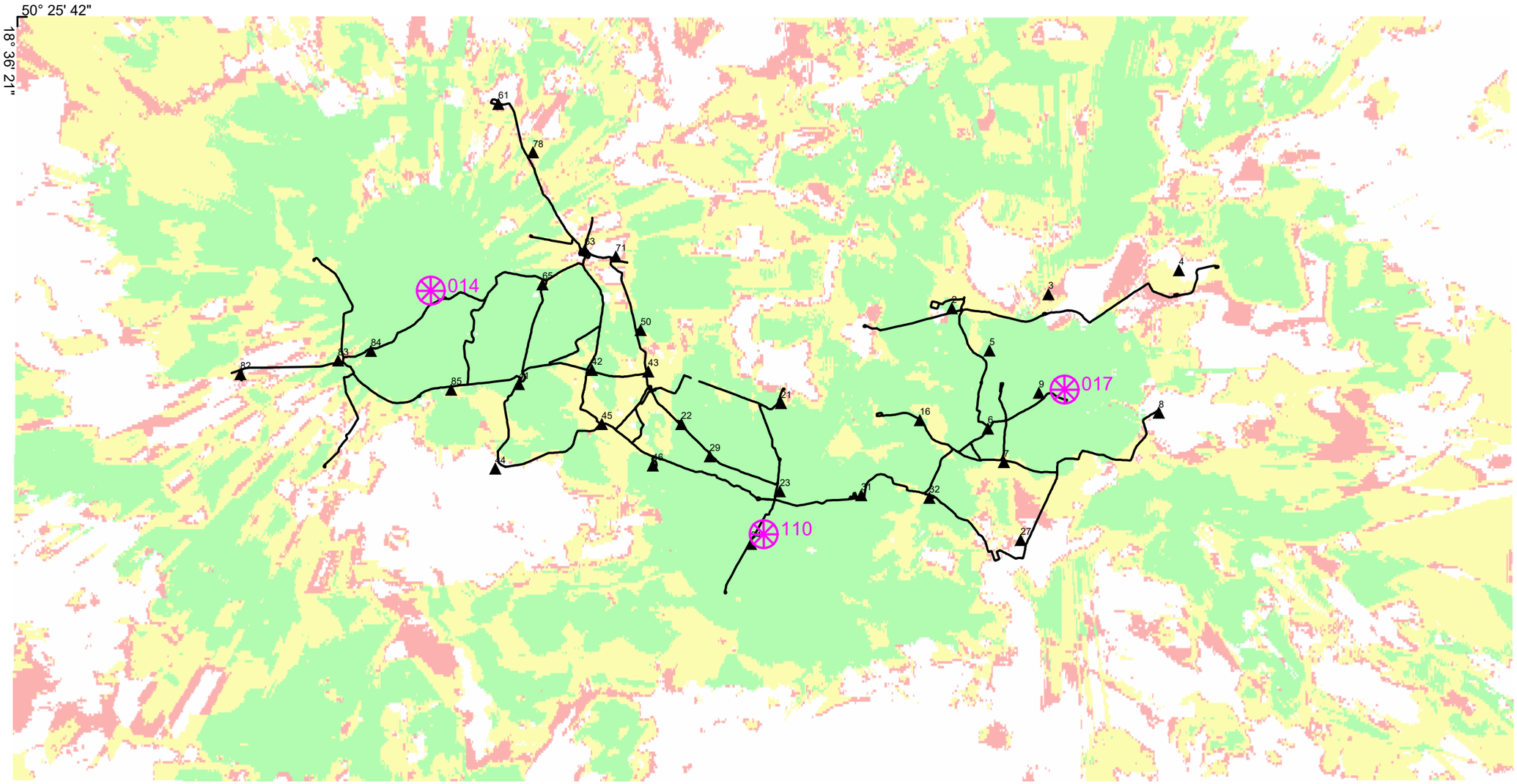
< -107.0dBm < -104.0dBm < -95.0dBm <0 dBm



RadioPartners Sp. z o.o.

ZAŁĄCZNIK NR 10

RAPTR Version 25.2.305
Friday, August 25, 2017 12:23:16
Project: TramSl DMR
MBP: 4321
Figure:
Design: Bounded Area
Service: Portable, Talkback, Outdoors, No SMA, DMR
Engineer: IEDD
Map type - 1:175,427
Note: Map depicts coverage across the defined service area. Statistical variability does not allow for guarantee of coverage in specific locations, but does represent graphically area % coverage.

< -107.0dBm < -104.0dBm < -95.0dBm <0 dBm

Scale - kilometers
0 10