

EKSPERTYZA W ZAKRESIE WYMAGAŃ JAKOŚCIOWYCH W POSTĘPOWANIU NA PASMO C ORAZ ICH WPŁYWU NA INWESTYCJE

POLITECHNIKA WARSZAWSKA
Wydział Elektroniki i Techniki Informatycznych
Instytut Radioelektroniki
i Techniki Multimedialnych
ul. Nowowiejska 15/19, 00-665 Warszawa
tel. 22 825 39 29, fax. 22 825 37 69

Politechnika Warszawska
Wydział Elektroniki i Techniki Informatycznych
Instytut Radioelektroniki i Techniki Multimedialnych
Warszawa 2023

SPIS TREŚCI

WYKAZ SKRÓTÓW ORAZ SŁOWNICTWA	3
1 WSTĘP	4
2 OGÓLNE ROZWAŻANIA DOTYCZĄCE PRZYDZIAŁU CZĘSTOTLIWOŚCI	5
3 ANALIZA WYMAGAŃ JAKOŚCI USŁUG OPISANYCH W „PROJEKCIE ROZSTRZYGNIECIA”	6
4 METODYKA ANALIZY MODELI PROPAGACJI	8
4.1 MODELE PROPAGACJI 3GPP.....	8
4.2 MODELE PROPAGACJI COST HATA	10
5 ANALIZA TERENU Z ZASIĘGIEM SIECI KOMÓRKOWYCH	12
6 LICZBA STACJI PRACUJĄCH W PAŚMIE C	15
7 LICZBA STACJI W PRZYPADKU INNYCH ZAKRESÓW CZĘSTOTLIWOŚCI	17
8 PORÓWNANIE Z WYMAGANIAMI JAKOŚCIOWYMI W NIEMCZECH	21
9 WNIOSKI	24
LITERATURA	25
ANEKS 1	26
ANEKS 2	29

WYKAZ SKRÓTÓW ORAZ SŁOWNICTWA

5G	Fifth-generation, piąta generacja sieci komórkowych. 5G referuje do standardów 3GPP Release-16, Release-17 i Release-18 (standardy R-18 nie są jeszcze skończone). Wiele dokumentów z Release-15 jest także obowiązujących dla sieci 5G
CAPEX	Wydatki kapitałowe - Capital Expenditures
OPEX	Wydatki Operacyjne - Operational Expenditures
ANTENA	Dla celów niniejszego raportu, antenę będziemy rozumieć jako anteny stacji bazowej z trzema sektorami pokrywającą obszar (360°) wokół stacji. W technologii 5G antena nosi nazwę gNB, w 4G - eNB

1 WSTĘP

Ekspertyza ta została wykonana na zlecenie firmy Polkomtel Sp. z o.o. i analizuje potrzeby rozwoju sieci mobilnej według Projektu rozstrzygnięcia decyzji w sprawie rezerwacji częstotliwości z zakresu 3480-3560 MHz¹, która zostanie wydana po przeprowadzeniu postępowania, o którym mowa w art. 118c ust. 3 i ust. 4 ustawy Prawo telekomunikacyjne [Projekt UKE, 2023].

Celem niniejszej ekspertyzy jest analiza technicznych wymagań w „Projekcie rozstrzygnięcia” i uzyskanie pewnych wyobrażeń na temat koniecznych inwestycji (liczby stacji bazowych) jaką MNO musiałby ponieść w Polsce, aby spełnić wymagania wskazane w powyższym dokumencie.

Celem niniejszej ekspertyzy nie jest dokładne zwymiarowanie sieci i nie uwzględnia ona wielu czynników, które należy rozważyć, kiedy MNO ma podjąć decyzję o lokalizacji stacji bazowych. A konkretnie nie rozważamy zaników sygnału spowodowanego przeszkodami, dokładnych lokalizacji geograficznych anten itd. Ekspertyza jest tylko pierwszym podejściem do analizy koniecznych inwestycji i bierze pod uwagę ograniczoną ilość informacji. W szczególności rozważamy tylko modele propagacji dla pojedynczej anteny (wyjaśnienie w wykazie skrótów), ogólny opis geografii naszego kraju oraz dane i wymagania uwzględnione w „Projekcie rozstrzygnięcia”.

W skrócie, analiza wykonana w ramach niniejszej ekspertyzy jest analizą wymagań opisanych przez UKE w „Projekcie rozstrzygnięcia”. Analiza zostanie przedstawiona w Punkcie 3. Wcześniej opiszemy pewne cechy gospodarowania pasmem częstotliwości, które mają znaczenie dla zrozumienia wyników modelu. Następnie od punktu 4, dokonamy analizy pojedynczej anteny i jej modelu propagacji. Celem jest zrozumienie faktycznego zasięgu anteny, tak aby spełniała wymagania jakości usług wskazane przez UKE (przedstawione w „Projekcie rozstrzygnięcia”). W tym zakresie Punktu 4 będzie zawierał opis modeli propagacji jednej anteny i analizę w jaki sposób mieści się w kwestiach rozważanych w niniejszym dokumencie. Następnie Punkt 5 będzie zawierał analizę różnych scenariuszy propagacji, tzn. analizę scenariuszy obszarów wiejskich, podmiejskich i miejskich w Polsce i opis zróżnicowania terytorium pod kątem proponowanych scenariuszy. Punkt 6 analizuje wymagania inwestycyjne wynikające z „Projektu rozstrzygnięcia” dotyczącego przetargu na Pasma C (C-band), do którego jest załączony „Projekt rozstrzygnięcia”. W ramach tej analizy będzie rozważać właściwe modele propagacji i geografii Polski. W Punkcie 7 wykonujemy podobne ćwiczenie, ale do analizy oprócz Pasm C włączono wszystkie inne pasma dostępne dla danego MNO. W Punkcie 8 prezentujemy pewną analizę sytuacji z pasmami częstotliwości w Niemczech i w Polsce i twierdzimy, że operatorzy w Niemczech mają więcej możliwości niż w Polsce, aby uzyskać stawiane im parametry jakościowe. W Punkcie 9 znajduje się konkluzja całego dokumentu.

¹ Blok 3480-3560 został wybrany jako przykładowy. Te same reguły i wnioski stosują się również do pozostałych trzech bloków.

2 OGÓLNE ROZWAŻANIA DOTYCZĄCE PRZYDZIAŁU CZĘSTOTLIWOŚCI

Dokument opublikowany przez Komisję Europejską, który dotyczy częstotliwości dla sieci 5G, stwierdza, że trzy pasma 5G (700, 3500 oraz 26000 MHz) są przeznaczone, odpowiednio do zapewnienia zasięgu, zasięgu i pojemności dla transmisji danych, oraz pojemności sieci dla transmisji danych [Dyrektywa UE 2018/1972].

Obecna konstrukcja sieci bierze pod uwagę wyłącznie niskie pasma częstotliwości (<1 GHz) dla zapewnienie dalekiego zasięgu, podczas gdy pasma 3500 MHz i 26 GHz są wykorzystywane do zwiększania pojemności sieci dla transmisji danych. Dzieje się tak dlatego, że niskie częstotliwości mają dużo niższe straty propagacji niż częstotliwości średnie i wysokie (Pasma C takie jak 3500 MHz). W rzeczywistości, jeżeli weźmiemy pod uwagę modele strat propagacji 3GPP, możemy porównać straty w paśmie 700 MHz (niskie pasmo 5G) oraz 3.5 GHz (średnie pasmo 5G). Modele strat propagacji 3GPP zostaną zaprezentowane poniżej w tym dokumencie. Straty propagacji dla częstotliwości są proporcjonalne do $20 \times \log_{10}(f_{\text{pasmo}})$, co oznacza, że występuje różnica ok. 14 dB pomiędzy stratami propagacji dla Pasma C i pasma 700 MHz, tzn. $20 \times \log_{10}(3500/700) \approx 14$ dB. 14 dB oznacza, że dla takich samych warunków, zasięg propagacji sygnału 700 MHz jest ponad dwa razy większy niż dla sygnału w paśmie 3500 MHz dla modelu wiejskich makrostacji dla dalekich zasięgów.

Z tego powodu obecnie wyłącznie niskie pasma są wykorzystywane w scenariuszach, gdzie wymagane jest duże pokrycie, podczas gdy pasma średnie (takie jak 3500 MHz) są stosowane w gminach miejskich i podmiejskich, gdzie wymagana jest wysoka pojemność sieci.

W przyszłych sieciach 6G, wszystkie pasma będą zintegrowane w ramach jednego systemu zarządzania i wtedy będzie łatwiej stosować zakres wszystkich lub części pasm do zapewniania dużego zasięgu i dużej pojemności transmisji danych. Jednakże, obecnie 5G nadal wdraża pasmo 700 MHz jako pasmo do zapewnienia zasięgu, a 3500 MHz jako pasmo do pojemności dla transmisji danych.

3 ANALIZA WYMAGAŃ JAKOŚCI USŁUG OPISANYCH W „PROJEKCIE ROZSTRZYGNIECIA”

Informacje z „Projektu rozstrzygnięcia”, które mają dla nas znaczenie:

- W punkcie 1, Prezes UKE definiuje pasmo będące przedmiotem przetargu. Jest to pasmo 3480-3560 MHz, podzielone na 16 bloków, po 5MHz każdy. Oznacza to, że jeden MNO otrzyma blok 80 MHz do wdrożenia transmisji 5G. W drugich konsultacjach proponowana wielkość bloku wynosi 100 MHz, niniejsza Ekspertyza uwzględnia również ten wariant.
- W punkcie 6, Prezes UKE definiuje wymagania jakości łączności stacji 5G w paśmie będącym przedmiotem przetargu. Te wymagania nie są bezpośrednio związane z parametrem Jakości Usługi (QoS) sygnału, jednakże liczba stacji ma wyraźny i bezpośredni wpływ na QoS.
- W punkcie 7, Prezes UKE definiuje wymagania w zakresie QoS. Wybrane parametry to przepustowość i opóźnienie. Przepustowość jest definiowana jako maksymalna szybkość transmisji jaką może obsłużyć stacja w danym miejscu. Opóźnienie to opóźnienie pomiędzy Urządzeniem Użytkownika a gNodeB (stacja bazowa). Co ciekawe, opóźnienie jest zdefiniowane dla „łącza w górę” (uplink) a szybkość transmisji danych dla „łącza w dół” (downlink).
- Wymagania dotyczące QoS są wyszczególnione dla gospodarstw domowych w Polsce (punkt 7.1), dla całego terytorium Polski (punkt 7.2) oraz dla dróg i linii kolejowych (punkty 7.3-7.8). Wymagania dla przepustowości i opóźnienia oraz metodologia pomiaru są podobne dla wszystkich przypadków (odrębny dokument). Główna różnica to teren rozważany w każdym punkcie, tzn. teren, na którym znajdują się gospodarstwa domowe, całe terytorium oraz teren, na których przebiegają drogi i linie kolejowe.
- Ważną kwestią w punkcie 7 jest fakt, że Prezes UKE zezwala na to, by spełnienie wymagań w zakresie QoS może być zapewnione nie tylko przy zastosowaniu Pasma C (pasma będącego przedmiotem przetargu), ale również innych pasm należących do operatorów.

Rozważania w ramach naszej analizy będą bazować na następujących elementach:

- Każdy operator otrzyma 80 MHz w Paśmie C;
- Istnieje określona minimalna liczba stacji 5G, które powinny zostać rozmieszczone przez operatora, jest to 3800 stacji;
- Będziemy analizować wyłącznie wymaganie dotyczące przepustowości, gdyż nadal jest niejasne w jaki sposób będzie mierzone opóźnienie i uwzględniane opóźnienie „łącza w górę” (uplink). Na chwilę obecną wydaje się, że 10 ms odnosi się do opóźnienia propagacji, które nie wydaje się być wymaganiem wymagającym kolejnych inwestycji;
- Wymagania w zakresie przepustowości są podobne dla wszystkich przypadków (terytorium, gospodarstwa domowe, drogi i linie kolejowe);
- Wymagania dla gospodarstw domowych (Thr=100 Mb/s) obejmuje 99% gospodarstw domowych, podczas gdy wymagania dla całego terytorium obejmują 95% terytorium. Biorąc pod uwagę fakt, że tereny zalesione obejmują ok. 30% [Leśnictwo w Polsce, 2021] terytorium oraz że występują inne miejsca bez gospodarstw domowych, możemy przyjąć, że najbardziej rygorystycznym wymaganiem jest wymaganie terytorialne, tzn. wymagane jest by 95% terytorium było pokryte zasięgiem o przepustowości 100 Mb/s. Nasza analiza zajmie się tym parametrem;

- Podobne rozumowanie można zastosować dla zasięgu wzdłuż dróg i linii kolejowych (przynajmniej w momencie, gdy metodyka pomiaru jest taka sama dla wszystkich przypadków). W związku z tym, wymaganie, które ma być rozważane w ramach niniejszej analizy zakłada, że po 84 miesiącach, 95% kraju powinno znaleźć się w zasięgu usługi o przepustowości 100 Mb/s;
- Parametr QoS należy rozważać wyłącznie w zakresie użycia Pasma C (pasmo będące przedmiotem przetargu) oraz w zakresie użycia innych pasm (które nie są przedmiotem przetargu). W tym drugim przypadku każdy operator posiada inne pasma o innych szerokościach.

4 METODYKA ANALIZY MODELI PROPAGACJI

W niniejszym dokumencie przeanalizujemy konieczne inwestycje w sprzęt radiowy, który będzie potrzebny dla MNO do spełnienia wymagania w zakresie Jakości Usługi (QoS) stawianego przez UKE.

Metodyka oszacowania liczby stacji jest następująca:

1. Jeżeli chodzi o liczbę stacji, najbardziej rygorystyczne wymaganie (co stwierdzamy w Punkcie 2) to pokrycie 95% terytorium geograficznego kraju z usługą o przepustowości 100 Mb/s. Wymaganie należy spełnić w ciągu 84 miesięcy. Jest ono podobne do wymagania pokrycia 94% terenu usługą 100 Mb/s w ciągu 60 miesięcy;
2. Będziemy korzystać z trzech modeli propagacji fal radiowych w sieciach komórkowych: dla obszarów miejskich, podmiejskich i wiejskich. Dla każdego z nich obliczymy odległość od anteny do Urzędnika Użytkownika, które odbierze referencyjną moc sygnału (RSRP), która umożliwi odbieranie usługi o przepustowości 100 Mb/s (na podstawie tabeli z UKE). Weźmiemy pod uwagę Pasmo C o szerokości 80 MHz;
3. Weźmiemy pod uwagę zaniki sygnału i inne elementy do przybliżonego określenia powyższych wartości w modelu statystycznym;
4. Korzystając z danych GUS, dokonamy klasyfikacji terenu w Polsce w trzech wyżej wymienionych kategoriach: miejski, podmiejski i wiejski. Drogi i nieużytki potraktujemy jako teren wiejski;
5. W przypadku terenu miejskiego, obliczymy liczbę anten, które pozwolą na pokrycie zasięgiem terenu miejskiego z zasięgiem obliczonym zgodnie z zasadami opisanymi w punkcie 2. Podobny proces przeprowadzimy dla terenu podmiejskiego i wiejskiego;
6. Założymy, że 94% powyższego terenu znajdzie się w zasięgu pasma C;
7. Powtórzymy punkt 2 rozważając kilka pasm i szerokości pasma, jakie każdy MNO posiada w ramach innych pasm częstotliwości;
8. Powtórzymy kroki 3-6, aby uwzględnić w analizie zasięg anten, w kilku pasmach.

W poniższych podrozdziałach opisujemy modele propagacji, które zastosujemy w krokach 2 i 7.

4.1 Modele propagacji 3GPP

Dokument [TR 38.901, 2022] prezentuje model propagacji sygnałów pomiędzy 0,5 a 100 GHz. Bardzo szerokie widmo częstotliwości objęte tym modelem wynika z faktu, że model bazuje na symulacjach i nie uwzględnia wielu efektów propagacji sygnału dla wyższych częstotliwości.

Modele są przeznaczone dla kilku środowisk propagacyjnych (scenariuszy): Miejski Mikro – kaniony uliczne (UMi-kanion uliczny), Miejski Makro (UMa), Wiejski Makro (RMa), Biuro w budynku i Hala fabryczna.

Scenariusz Wiejski makro odpowiada naszemu środowisku propagacyjnemu wiejskiemu.

Opisy scenariuszy UMi i UMa są następujące:

“(1) UMi (kanion uliczny, obszar otwarty) z O2O i O2I: Jest podobny do scenariusza 3D-UMi, gdzie stacje bazowe BSs są instalowane poziomie dachów otaczających budynków. Zadaniem obszaru otwartego UMi jest odpowiedź na rzeczywiste scenariusze takie jak plac miejski lub stacja. Szerokość typowego obszaru otwartego jest rzędu od 50 do 100 m.

Przykład: [Wysokość Tx:10m, Wysokość Rx: 1,5-2,5 m, ISD: 200m]

(2) UMa z O2O i O2I: Jest podobny do scenariusza 3D-UMa, gdzie stacje bazowe BSs są instalowane poziomie dachów otaczających budynków.

Przykład: [Wysokość Tx:25m, Wysokość Rx: 1,5-2,5 m, ISD: 500m]"

Dokładne odczytanie powyższego opisu oraz uwzględnienie rzeczywistego rozwoju sieci w Polsce pozwala nam stwierdzić, że scenariusz miejski w Polsce odpowiada scenariuszowi UMa. W Polsce liczba stacji, które można modelować w ramach modelu propagacji UMi jest niewielka. W związku z powyższym, zrezygnujemy z modelu UMi i będziemy korzystać z modelu UMa w obu scenariuszach – miejskim i podmiejskim.

Każdy model uwzględnia warunki w układzie z Line of Sight (LoS) i bez bezpośredniej widoczności anten urządzeń, czyli Non-Line of Sight (NLoS).

W związku z tym dla naszych scenariuszy uwzględnimy modele 3GPP w nast. sposób: scenariusz wiejski zostanie objęty modelem RMa NLoS, scenariusz podmiejski zostanie objęty modelem UMa LoS a miejski scenariusz zostanie objęty modelem UMa NLoS.

Różnica pomiędzy modelami LoS i NLoS zależy od konkretnego punktu pomiarowego, jednakże standard wskazuje prawdopodobieństwo czy punkt pomiarowy jest w zasięgu bezpośredniej widoczności LoS z anteną stacji czy też nie.

Dla przypadku RMA, prawdopodobieństwo wynosi:

$$Pr_{LOS} = \begin{cases} 1 & , d_{2D-out} \leq 10m \\ \exp\left(-\frac{d_{2D-out} - 10}{1000}\right) & , 10m < d_{2D-out} \end{cases}$$

Odległości, które są dla nas istotne znajdują się daleko od anteny, na przykład prawdopodobieństwo w odległości 1400 metrów od anteny, prawdopodobieństwo pozostawania w bezpośredniej widoczności anteny LoS wynosi 25%.

Dla przypadków UMa i Umi, prawdopodobieństwo wynosi

$$Pr_{LOS} = \begin{cases} 1 & , d_{2D-out} \leq 18m \\ \frac{18}{d_{2D-out}} + \exp\left(-\frac{d_{2D-out}}{36}\right)\left(1 - \frac{18}{d_{2D-out}}\right) & , 18m < d_{2D-out} \end{cases}$$

, co dla odległości 500 m daje prawdopodobieństwo ok. 4%.

Podsumowując, będziemy uwzględniać tylko scenariusze NLoS, gdyż nie będziemy analizować odległości mniejszych niż 1 km w RMa ani krótszych niż 300 m w UM.

Modele propagacji zostały przedstawione w Tabeli 7.4.1-1: Modele tłumienia drogi (trasy) propagacji (*Pathloss models*) [TR 38.901, 2022].

Model dla RMa NLoS jest następujący:

$PL_{RMA-NLOS} = \max(PL_{RMA-LOS}, PL'_{RMA-NLOS})$ for $10m \leq d_{2D} \leq 5km$

$$PL_{RMA-LOS} = \begin{cases} PL_1 & 10m \leq d_{2D} \leq d_{BP} \\ PL_2 & d_{BP} \leq d_{2D} \leq 10km \end{cases}$$

$$PL_1 = 20 \log_{10}(40\pi d_{3D} f_c / 3) + \min(0.03h^{1.72}, 10) \log_{10}(d_{3D}) - \min(0.044h^{1.72}, 14.77) + 0.002 \log_{10}(h) d_{3D}$$

$$PL_2 = PL_1(d_{BP}) + 40 \log_{10}(d_{3D}/d_{BP})$$

$$PL'_{RMA-NLOS} = 161.04 - 7.1 \log_{10}(W) + 7.5 \log_{10}(h) - (24.37 - 3.7(h/h_{BS})^2) \log_{10}(h_{BS}) + (43.42 - 3.1 \log_{10}(h_{BS}))(\log_{10}(d_{3D}) - 3) + 20 \log_{10}(f_c) - (3.2(\log_{10}(11.75h_{UT}))^2 - 4.97)$$

, gdzie $h_{BS}=40$ m, $h_{UT}=3,0$ metry (co jest akceptowaną wysokością przez UKE w *Pomiary przepustowości w sieciach 4G/5G*), $h=5$ m (średnia wysokość budynku) $W=20$ m (średnia szerokość ulicy), d_{2D} to odległość pomiędzy anteną a UT w dwóch wymiarach, d_{3D} to odległość pomiędzy anteną a UT w 3 wymiarach, $0.5 < f_c < f_H$ GHz, gdzie $f_H = 30$ GHz, break point distance $-d_{BP} = 2\pi h_{BS} h_{UT} f_c / c$, gdzie f_c to częstotliwość środkowa w Hz, $c = 3.0 \times 10^8$ m/s to szybkość propagacji fali elektromagnetycznej w próżni.

Model dla UMa NLoS to:

$$PL_{UMa-NLoS} = \max(PL_{UMa-LoS}, PL'_{UMa-NLoS}) \text{ for } 10m \leq d_{2D} \leq 5km$$

$$PL_{UMa-LoS} = \begin{cases} PL_1 & 10m \leq d_{2D} \leq d'_{BP} \\ PL_2 & d'_{BP} \leq d_{2D} \leq 5km \end{cases}$$

$$PL_1 = 28.0 + 22 \log_{10}(d_{3D}) + 20 \log_{10}(f_c)$$

$$PL_2 = 28.0 + 40 \log_{10}(d_{3D}) + 20 \log_{10}(f_c) - 9 \log_{10}((d'_{BP})^2 + (h_{BS} - h_{UT})^2)$$

$$PL'_{UMa-NLoS} = 13.54 + 39.08 \log_{10}(d_{3D}) + 20 \log_{10}(f_c) - 0.6(h_{UT} - 1.5)$$

Opcjonalnie,

$$PL = 32.4 + 20 \log_{10}(f_c) + 30 \log_{10}(d_{3D})$$

, gdzie $h_{UT} = 3.0m$, $h_{BS} = 40m$, $0.5 < f_c < f_H$ GHz, gdzie $f_H = 100$ GHz, $d'_{BP} = 4 h'_{BS} h'_{UT} f_c / c$, gdzie f_c to częstotliwość środkowa w Hz, $c = 3.0 \times 10^8$ m/s to szybkość propagacji fali elektromagnetycznej w próżni, and h'_{BS} a h'_{UT} to efektywne wysokości anteny dla BS i UT, odpowiednio. Efektywne wysokości anteny h'_{BS} i h'_{UT} są wyliczane w następujący sposób: $h'_{BS} = h_{BS} - h_E$, $h'_{UT} = h_{UT} - h_E$, gdzie h_{BS} i h_{UT} to faktyczne wysokości anteny, a h_E to efektywna wysokość terenu. W naszym przypadku $h_E=1$ m.

Jedną z najciekawszych kwestii w naszej analizie zawartych w ww. dokumencie to analiza zaników sygnału wynikających z zacięń (*shadow fading*) oraz szybkich zaników sygnału (*fast fading*).

Jeżeli chodzi o powolne pojawianie się i zanikanie sygnału (wolne zaniki sygnału), dokument stwierdza, że można je modelować jako rozkład logarytmiczno-normalny o średniej zero i pewnym odchyleniu (wartości są opisane poniżej). Oznacza to, że wartości wynikające z modeli strat propagacyjnych przedstawionych powyżej mogą się różnić od wartości dla rozkładu Gaussa dla większej liczby próbek (Centralne twierdzenie graniczne), a odchylenie standardowe będzie podobne do tego jak dla zaników sygnału wynikających z zacięń (*shadow fading*). Niniejsza analiza nie uwzględni innych czynników wpływających na obliczenia, jednak daje pewne wyobrażenie odmienności modeli.

Dla wyżej wymienionych modeli odchylenie standardowe zaników sygnału (*shadow fading*) jest następujące:

RMa NLoS zakłada $\sigma_{SF}=8$, podczas gdy UMa NLoS zakłada $\sigma_{SF}=6$. Model kanionu ulicznego (Miejski Mikro, UMi) zakłada również $\sigma_{SF} \approx 8$.

4.2 Modele propagacji COST Hata

Model COST Hata rozszerza miejski model Hata do 2 GHz. Model COST Hata był głównie stosowany w badaniach empirycznych i teoretycznych w ramach modeli COST 231 (Projekt badawczy finansowany przez UE) [COST231, 1991].

Model tłumienia drogi propagacji jest następujący:

$$PL=46.3 + 33.9\log_{10} f/\text{MHz} - 13.82\log_{10} h_{\text{Base}}/\text{m} - a(h_{\text{Mobile}}) + (44.9 - 6.55\log h_{\text{Base}}/\text{m}) \log_{10} d/\text{km} + C_m$$

, gdzie:

$a(h_{\text{Mobile}}) = (1.1 \times \log_{10} f/\text{MHz} - 0.7) h_{\text{Mobile}}/\text{m} - (1.56 \times \log f/\text{MHz} - 0.8)$; dla środowisk wiejskich i podmiejskich

$a(h_{\text{Mobile}}) = (3.2 \times (\log_{10} (11.75 \times h_{\text{Mobile}}/\text{m}))^2 - 4.97)$; dla środowisk miejskich

oraz

$C_m = 0$ dB dla miasta średniej wielkości i centrów podmiejskich ze średnią gęstością zadrzewienia lub

$C_m = 3$ dB dla ośrodków miejskich.

Model COST-Hata jest ograniczony do poniższego zakresu parametrów:

f : 150 ... 2000 MHz dla środowiska podmiejskiego i wiejskiego; 150 ... 1500 MHz dla środowiska miejskiego

h_{Base} : 30 ... 200 m

h_{Mobile} : 1 ... 10 m, w naszym przypadku, $h_{\text{Mobile}} = 3,0$ m

d : 1 ... 20 km

Należy zwrócić uwagę na fakt, że model COST Hata jest ważny dla częstotliwości od 800 MHz do 2GHz. Powodem jest to, że analiza COST zawiera bardzo silny komponent empiryczny i uwzględnia wiele czynników w różnych scenariuszach (np. roślinność, przeszkody uliczne, itd.). Przewagą modeli empirycznych jest to, że są dokładniejsze, jednakże są one ważne tylko dla tych samych warunków pomiarowych. W związku z tym, pomiary COST zostały wykonane dla częstotliwości do 2 GHz, model jest ważny w tym zakresie. W mojej opinii, jako eksperta, ten model sprawdza się również dla wyższych częstotliwości, szczególnie dla Pasma C, które nie różni się tak bardzo od pasma 2 GHz. Warto zauważyć, że stosowanie modelu COST I również do wyższych częstotliwości jest ugruntowaną praktyką inżynierską.

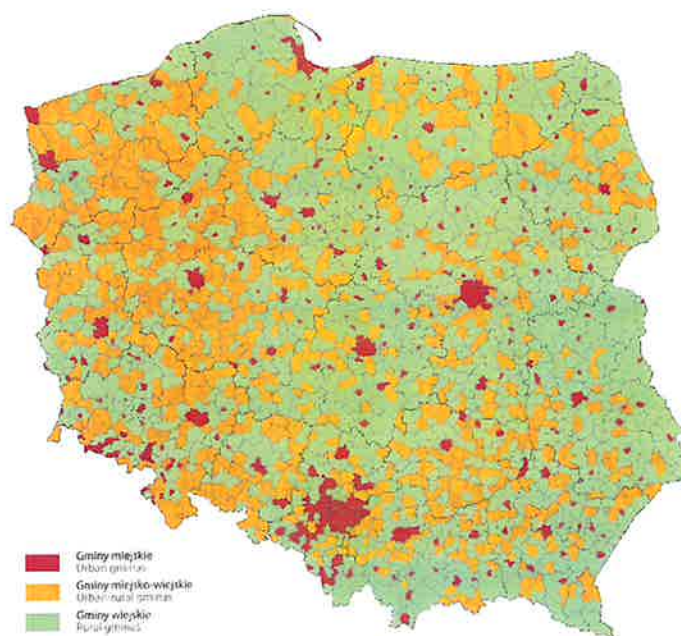
5 ANALIZA TERENU Z ZASIĘGIEM SIECI KOMÓRKOWYCH

Układ terenu znajdującego się w zasięgu anten wprowadza nierówności, które mają wpływ na jakość sygnału docierającego do Urządzenia Użytkownika (*User Equipment -UE*). W szczególności, przeszkody, obszary zanikania sygnału i inne pochłaniają energię sygnału i powodują zniekształcenia. W związku z tym, ta sama antena pracująca w tym samym paśmie może mieć różne zasięgi w dwóch różnych środowiskach fizycznych. To, dlatego modele propagacji są różne dla różnych terenów.

W tym punkcie przeanalizujemy teren w Polsce i oszacujemy wielkość terenu, który należy uwzględnić dla każdego analizowanego modelu, tzn. miejskiego, podmiejskiego i wiejskiego.

Główny Urząd Statystyczny (GUS) zapewnia dane na temat podziału gmin z uwagi na rodzaj terenu. Należy zauważyć, że granice terenu podzielonego na kategorie w bazie danych GUS stanowią granice gmin, które nie są zbieżne z granicami komórek antenowych. Ponadto, podział gmin ma charakter prawny i nie uwzględnia fizycznej charakterystyki terenu, w związku z czym w wielu gminach miejskich można potraktować teren miejski jako teren, który ma charakter podmiejski a nawet wiejski. Konkludując, musimy przyjąć, że przybliżenie klasyfikacji terenu w oparciu o analizę prawną zapewnioną przez GUS jest niedokładne; jednakże według naszej wiedzy brak jest innej oficjalnej bazy danych zawierającej właściwe informacje.

GUS oferuje zarówno mapy i bazy danych, na podstawie których można obliczyć wielkość miejskich, podmiejskich i wiejskich terenów. Na poniższej mapie zaprezentowano podział na gminy wg. GUS [GUS, 2022]:



Źródło: <https://stat.gov.pl/statystyka-regionalna/jednostki-terytorialne/podzial-administracyjny-polski/rodzaje-gmin-oraz-obszary-miejskie-i-wiejskie/>,

a dane można znaleźć na stronie <https://stat.gov.pl/obszary-tematyczne/ludnosc/ludnosc/powierzchnia-i-ludnosc-w-przekroju-terytorialnym-w-2022-roku,7,19.html>.

Podział terenu w Polsce biorąc pod uwagę ww. bazę danych jest następujący:

Gminy wiejskie - powierzchnia:	189 319 km ²
Gminy podmiejskie – powierzchnia:	109 212 km ²

Gminy miejskie – powierzchnia:	14 189 km ²
Razem:	312 720 km ²

6 kwietnia, UKE opublikował nowe dokumenty przetargowe. Te nowe dokumenty zmieniają trzy kwestie, które mają wpływ na naszą analizę:

- Pierwsza z nich to fakt, że pasmo częstotliwości przeznaczone dla każdego operatora będzie miało szerokość 100 MHz zamiast 80 MHz;
- Drugi to wyłączenie szeregu gmin (zlokalizowanych w pobliżu wschodniej granicy Polski) z wymagań jakościowych stawianych przez UKE;
- Wartości RSRP i odpowiadające im wartości przepustowości dla TDD 5G uległy zmianie. W naszej analizie weźmiemy pod uwagę stare wartości dla BW=80 MHz i nowe wartości dla BW=100 MHz.

W [GUS_BDL,2022], można znaleźć wielkość i rodzaj terenu każdej gminy wykluczonej z wymagań jakościowych. Tabela gmin z wielkością i rodzajem terenu jest przedstawiona w tabeli poniżej.

Łącznie, wykluczone gminy oznaczają, że teren, który ma być pokryty zasięgiem 100 Mb/s zostanie zredukowany o:

Gminy wiejskie – powierzchnia:	14 008 km ²
Gminy podmiejskie – powierzchnia:	3 564 km ²
Gminy miejskie – powierzchnia:	447 km ²

W związku z powyższy, całkowita powierzchnia terenu, który należy uwzględnić po pierwszej rundzie konsultacji jest następująca:

Gminy wiejskie – powierzchnia:	175 311 km ²
Gminy podmiejskie – powierzchnia:	105 648 km ²
Gminy miejskie – powierzchnia:	13 742 km ²
Razem:	294 701 km ²

Gmina	Obszar [km ²]	Teren	Gmina	Obszar [km ²]	Teren	Gmina	Obszar [km ²]	Teren
Terespol	10,11	wiejskie	Wryki	219,98	wiejskie	Sejny	217,4	wiejskie
Janów Podlaski	135,77	wiejskie	Sarnaki	197,49	wiejskie	Mielnik	196,39	wiejskie
Kodeń	151,04	wiejskie	Czarna	184,77	wiejskie	Milejczyce	151,45	wiejskie
Konstantynów	86,92	wiejskie	Lutowiska	475,63	wiejskie	Nurzec-Stacja	214,9	wiejskie
Piszczac	170,19	wiejskie	Ustrzyki Dolne	478,67	podmiejskie	Krynki	166,04	podmiejskie
Rokitno	140,89	wiejskie	Radymno	13,62	miejskie	Kuźnica	133,36	wiejskie
Sławatycze	71,89	wiejskie	Laszki	50,17	wiejskie	Nowy Dwór	121,14	wiejskie

Ekspertyza w zakresie wymagań jakościowych w postępowaniu na pasmo C...

Sosnówka	148,36	wiejskie	Radymno	62,6	wiejskie	Sidra	174,09	wiejskie
Terespol	141,49	miejskie	Lubaczów	25,73	miejskie	Sokółka	313,56	podmiejskie
Tuczna	169,57	wiejskie	Horyniec-Zdrój	203,1	wiejskie	Szudziałowo	301,61	wiejskie
Zalesie	147,11	wiejskie	Lubaczów	202,85	wiejskie	Jeleniewo	131,37	wiejskie
Białopole	103,61	wiejskie	Wielkie Oczy	146,24	wiejskie	Przerośl	123,62	wiejskie
Dorohusk	192,42	wiejskie	Fredropol	159,6	wiejskie	Rutka-Tartak	103,46	wiejskie
Dubienka	96,12	wiejskie	Krasiczyn	124,36	wiejskie	Szypłiszki	156,43	wiejskie
Kamień	96,83	wiejskie	Medyka	60,62	wiejskie	Wiżajny	111,9	wiejskie
Ruda-Huta	112,21	wiejskie	Orły	70,47	wiejskie	Krynica Morska	116,01	miejskie
Sawin	190,22	wiejskie	Przemysł	108,43	wiejskie	Bartoszyce	11,79	miejskie
Żmudź	136,07	wiejskie	Stubno	88,7	wiejskie	Górowo Iławeckie	3,32	miejskie
Hrubieszów	33,03	miejskie	Żurawica	95,79	wiejskie	Bartoszyce	427,21	wiejskie
Dołhobyczów	212,61	wiejskie	Olszanica	93,54	wiejskie	Górowo Iławeckie	415,91	wiejskie
Horodło	130,22	wiejskie	Przemysł	46,17	miejskie	Sępól	246,38	podmiejskie
Hrubieszów	259,21	wiejskie	Lipsk	184,21	podmiejskie	Braniewo	12,41	miejskie
Mircze	234,88	wiejskie	Płaska	372,67	wiejskie	Braniewo	306,26	wiejskie
Trzeszczany	90,29	wiejskie	Gródek	429,7	wiejskie	Frombork	124,1	podmiejskie
Werbkowice	187,15	wiejskie	Michałowo	410,02	podmiejskie	Lelkowo	198,16	wiejskie
Bełżec	33,53	wiejskie	Hajnówka	21,29	miejskie	Tolkmicko	208,01	podmiejskie
Jarczów	106,64	wiejskie	Białowieża	203,14	wiejskie	Barciany	294,08	wiejskie
Lubycza Królewska	208,07	podmiejskie	Czeremcha	96,82	wiejskie	Korsze	249,84	podmiejskie
Łaszczów	128,29	podmiejskie	Dubicze Cerkiewne	151,44	wiejskie	Srokowo	194,16	wiejskie
Telatyn	111,8	wiejskie	Hajnówka	292,93	wiejskie	Banie Mazurskie	204,96	wiejskie
Ulhówek	146,63	wiejskie	Kleszczele	142,89	podmiejskie	Dubeninki	205,29	wiejskie
Włodawa	17,97	miejskie	Narewka	338,98	wiejskie	Gołdap	362,04	podmiejskie
Hanna	139,29	wiejskie	Sejny	4,49	miejskie	Budry	174,97	wiejskie
Hańsk	176,27	wiejskie	Giby	323,2	wiejskie	Węgorzewo	341,47	podmiejskie
Włodawa	245,03	wiejskie	Krasnopol	171,49	wiejskie			
Wola Uhruska	154,07	wiejskie	Puńsk	138,59	wiejskie			

6 LICZBA STACJI PRACUJĄCH W PAŚMIE C

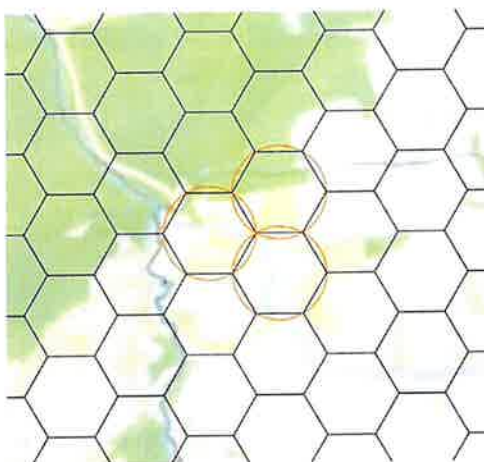
Niniejszy punkt przedstawia liczbę stacji, jakie należałoby zainstalować na terytorium Polski dla spełnienia wymagań dot. jakości usług stawianych przez UKE [Projekt UKE, 2023]. Jak wspomniano powyżej, założenia analizy zawarte w niniejszym punkcie są następujące:

- Stacje nadają w paśmie C o szerokości BW=80 MHz. W drugiej analizie (poniżej w nin. punkcie) rozważane jest pasmo o szerokości 100 MHz. Środkowa częstotliwość to 3.64 GHz (średkowa częstotliwość w przetargu na przyznanie częstotliwości);
- Wysokość stacji wynosi 40 m (dość standardowa wysokość stosowana w Polsce). Wysokość zawieszenia UE to 3 metry;
- Zysk antenowy wynosi 25 dBi, co jest normalnym parametrem zysku dla anten 5G;
- Moc średnia stacji (anteny) wynosi 30 W na warstwę. Jest to normalna, zgodna ze standardem, wartość robocza dla większości operatorów komórkowych w Polsce. Zakładamy wykorzystanie techniki MIMO 4x4 w 5G, więc liczba warstw wynosi 4, a całkowita, sumaryczna moc dla stacji n (wszystkie warstwy) to 120 W.
- Dla obliczenia zasięgu jednej stacji rozważaliśmy model propagacji COST Hata w trzech różnych środowiskach: wiejskim, podmiejskim i miejskim. Model COST Hata to model empiryczny, który w dobry sposób oszacowuje zasięgi dla danego środowiska propagacyjnego, podczas gdy model 3GPP opiera się na pomiarach laboratoryjnych, które nie zawsze dobrze odpowiadają rzeczywistym środowiskom propagacyjnym. Powszechnie uważa się, że model COST Hata jest lepiej przystosowany do środowiska europejskiego niż model 3GPP;
- Zasięg sieci radiowej, zarówno w środowisku wiejskim jak i podmiejskim, obliczamy wykorzystując model COST Hata dla środowiska wiejskiego, podczas gdy zasięg stacji bazowych w terenie miejskim jest obliczany z wykorzystaniem modelu COST Hata dla środowiska miejskiego. Te dwa modele różnią się dwoma parametrami: $a(h\text{Mobile})$ oraz C_m . Parametr $a(h\text{Mobile})$ koryguje wpływ wysokości zawieszenia UE nad gruntem w sytuacji, gdy dookoła są budynki i drzewa. W środowisku wiejskim zakładamy, że strata propagacji jest mniejsza ze względu na to, że przeszkody terenowe są oddalone, natomiast w terenie zabudowanym przeszkody są bliżej UE. Parametr C_m wprowadza stałą stratę propagacji na gęściej zabudowanych terenach miejskich. W przypadku terenów miejskich rozważymy $C_m=3\text{dB}$, sugerowane przez model, natomiast dla terenów wiejskich i podmiejskich $C_m=0\text{ dB}$ (co jest też sugerowane przez model);
- Rozważamy standardowe odchylenia dla zaników sygnału wynikających z zacięnięć (shadow fading) dla każdego ze środowisk propagacyjnych (miejskiego, podmiejskiego i wiejskiego) z modeli 3GPP. Ponownie rozważymy model wiejski i podmiejski (model 3GPP RMa) oraz model miejski (UMa). Standardowe odchylenie dla tego rodzaju zaników sygnału w RMa wynosi $\sigma=8$, podczas gdy w UMa jest to $\sigma=6$. Wykorzystamy te wartości dla obliczenia przedziałów ufności;
- Przedziały ufności będą obliczane w następujący sposób: uwzględnimy poziom ufności wymagany przez UKE (95% obszaru pokryte sygnałem zapewniającym 100 Mbps). Wykorzystując modele propagacji obliczymy medianę (model propagacji wylicza medianę, a nie wartość średnią) Następnie weźmiemy pod uwagę to, że funkcja dystrybucji ma rozkład Gaussa (poprzez zastosowanie Centralnego Twierdzenia Granicznego) o standardowym odchyleniu, takim jak opisane powyżej, i na tej podstawie obliczymy wartość funkcji rozkładu, jaka zapewni, że 95% próbek będzie podlegało niższemu tłumieniu niż szacowane tłumienie propagacji;
- Wykorzystamy podział terenów na wiejskie, podmiejskie i miejskie zgodnie z wytycznymi punktu 4 [GUS, 2022].

Zgodnie z wytycznymi [UKE Pomiary, 2023], maksymalna tłumienie propagacyjne, jakie jest akceptowalna dla osiągnięcia szybkości transmisji 100 Mbps przy antenach TDD (współczynnik DL=0.8) i BW=80 MHz to -122 dBm (patrz [Projekt UKE, 2023]).

Odległości 2D pomiędzy anteną stacji bazowej a UE przy -122 dBm dla terenów wiejskich i podmiejskich (model COST Hata dla terenów wiejskich) oraz dla terenów miejskich (model COST Hata dla terenów miejskich) wynoszą odpowiednio 1380 m i 1260 m (patrz Aneks 1, dwie pierwsze tabele). Istnieje tylko niewielka różnica pomiędzy dwoma modelami, ale powodem jej jest fakt, że model wiejski ma o wiele wyższą wariancję ($\sigma=8$) niż model miejski ($\sigma=6$), a wariancja ma duży wpływ na wynik ostateczny, gdyż poziom ufności wynosi 95%, co w praktyce dodaje 1.96×2 dB do wartości tłumienia propagacyjnego w środowisku wiejskim.

Wykorzystamy podział terenu na sześciokąty, jak wskazano na rysunku poniżej:



Jak można zaobserwować na rysunku, stosując podział na sześciokąty pozbywamy się efektu interferencji stacji bazowych (oznaczonych na rysunku czerwonymi okręgami), jednakże pomiar RSRP rozważany w tym dokumencie nie uwzględnia interferencji i szumów, więc model jest akceptowalny dla celów pomiaru RSRP.

Powierzchnia A sześciokąta znajdującego się w obrębie okręgu stanowiącego obszar zasięgu radiowego R jednej ze stacji wynosi $A = \frac{3\sqrt{3}}{2} R^2$, więc liczba stacji na terenach wiejskim + podmiejskim wynosi 60 tysięcy, natomiast liczba stacji na terenach miejskich wynosi 3,500. Całkowita liczba anten dla modelu opisanego powyżej to 63.500.

W przypadku szerokości pasma wynoszącego 100 MHz i terenów z wyłączeniem gmin przygranicznych (patrz Punkt 5), wymagany poziom RSRP wyniesie -126 dBm, co w przypadku naszego modelu odpowiada odległości 2D wynoszącej 1700 m (patrz Aneks 1, ostatnie dwie tabele) na terenach wiejskich i podmiejskich. Tereny wiejskie i podmiejskie, z wyłączeniem gmin przygranicznych mają powierzchnię $175\,311 + 105\,648 = 280\,959$ km². Tak więc liczba stacji wynosi 37 800.

W przypadku terenów miejskich (z wyjątkiem gmin przygranicznych) oraz przy BW=100 MHz (-126 dBm), wymagana odległość 2D wynosi 1550 m (patrz Aneks 1, ostatnie dwie tabele), a liczba stacji 2200. Całkowita liczba stacji w przypadku pasma 100 MHz to ok. 40 000.

7 LICZBA STACJI W PRZYPADKU INNYCH ZAKRESÓW CZĘSTOTLIWOŚCI

Ten punkt przedstawia liczbę stacji jaką należy alokować dla powierzchni Polski dla spełnienia wymagań jakościowych stawianych przez UKE [Projekt UKE, 2023] z uwzględnieniem wszystkich zakresów częstotliwości posiadanych przez MNO. Konkretnie rozważymy trzech polskich operatorów komórkowych (MNO1, MNO2 i MNO3), którzy posiadają zakresy częstotliwości w odpowiednich pasmach wskazanych w Tabeli:

Pasma [MHz]	Nazwa pasma	MNO1– BW [MHz]	MNO2– BW [MHz]	MNO3– BW [MHz]
800	b20	10	5	0
900	b8	0	0	5
1800	b3	10	15	20
2100	b1	15	15	15
2500	n38	0	0	40 (TDD)
2600	b7	15	20	20
3500	n78	80 (TDD)	80 (TDD)	80 (TDD)

W tym przypadku pasma rozciągają się od pasm < 1GHz w górę do pasma C. W przypadku niższych pasm (do 2100 MHz), możemy wykorzystywać model COST-Hata. (zdanie niejasne)

Założenia analizy są następujące:

- Anteny emitują fale we wszystkich zakresach posiadanych przez operatorów MNO zgodnie z powyższą tabelą. We wszystkich pasmach wykorzystywana jest technologia FDD, z wyjątkiem pasm 2500 MHz i 3500 MHz, gdzie stosowane jest TDD;
- Środkowa częstotliwość każdego pasma będzie stanowić minimalną wartość pasma;
- Wysokość stacji wynosi 40 m (dość standardowa wysokość stosowana w Polsce). Wysokość UE to 3 metry (interesuje nas wysokość anteny nad gruntem, zapis niejasny, doprecyzować??);
- Zysk dla anten 5G wynosi 25 dBi. Zysk dla anten LTE to ok. 17 dBi dla częstotliwości powyżej 1 GHz i ok. 14 dBi dla częstotliwości poniżej 1 GHz. Przykłady specyfikacji technicznych dla anten LTE można znaleźć na stronie <https://www.scribd.com/document/525430777/APE4518R13v06> (ostatni dostęp: marzec 2023);
- Moc średnia anteny wynosi 30 W na warstwę. Zakładamy MIMO 2x2 w LTE, więc liczba warstw wynosi 2. W przypadku technologii 5G MIMO wynosi 4x4 (4 warstwy) i także zakładamy moc 30 W na warstwę.
- Dla obliczenia zasięgu jednej stacji rozważaliśmy model propagacji COST Hata w trzech różnych środowiskach propagacyjnych: wiejskim, podmiejskim i miejskim. Model COST Hata to model empiryczny, który w dobry sposób oszacowuje parametry sygnałowe dla środowiska, podczas gdy model 3GPP opiera się na pomiarach laboratoryjnych, które nie zawsze dobrze odpowiadają parametrom w rzeczywistych środowiskach propagacyjnych. Powszechnie uważa się, że model COST Hata jest lepiej przystosowany do środowiska europejskiego niż model 3GPP;

- Zasięg sieci radiowej, zarówno w środowisku wiejskim jak i podmiejskim, obliczamy wykorzystując model COST Hata dla środowiska wiejskiego, podczas gdy zasięg stacji bazowych w terenie miejskim jest obliczany z wykorzystaniem modelu COST Hata dla środowiska miejskiego. Te dwa modele różnią się dwoma parametrami: $a(hMobile)$ oraz C_m . Parametr $a(hMobile)$ koryguje wpływ wysokości zawieszenia UE nad gruntem w sytuacji, gdy dookoła są budynki i drzewa. W środowisku wiejskim zakładamy, że strata propagacji jest mniejsza ze względu na to, że przeszkody terenowe są oddalone, natomiast w terenie zabudowanym przeszkody są bliżej UE. Parametr C_m wprowadza stałe tłumienie propagacyjne na gęściej zabudowanych terenach miejskich. W przypadku terenów miejskich rozważymy $C_m=3dB$, sugerowane przez model, natomiast dla terenów wiejskich i podmiejskich $C_m=0dB$ (co jest też sugerowane przez model);
- Rozważamy standardowe odchylenia dla zaników sygnału wynikających z zacięń (shadow fading) dla każdego ze środowisk (miejskiego, podmiejskiego i wiejskiego) z modeli 3GPP. Ponownie rozważymy model wiejski i podmiejski (model 3GPP RMa) oraz model miejski (UMa). Standardowe odchylenie dla tego rodzaju zaników sygnału w RMa wynosi $\sigma=8$, podczas gdy w UMa jest to $\sigma=6$. Wykorzystamy te wartości dla obliczenia przedziałów ufności;
- Przedziały ufności będą obliczane w następujący sposób: uwzględnimy poziom ufności wymagany przez UKE (95% obszaru pokryte sygnałem zapewniającym 100 Mbps). Wykorzystując modele propagacji obliczymy medianę (model propagacji wylicza medianę, a nie wartość średnią). Następnie weźmiemy pod uwagę to, że funkcja dystrybucji ma rozkład Gaussa (poprzez zastosowanie Centralnego Twierdzenia Granicznego) o standardowym odchyleniu, takim jak opisane powyżej, i na tej podstawie obliczymy wartość funkcji rozkładu, jaka zapewni, że 95% próbek będzie podlegało niższemu tłumieniu niż szacowane tłumienie propagacji;
- Wykorzystamy podział terenów na wiejskie, podmiejskie i miejskie zgodnie z wytycznymi punktu 4 [GUS, 2022].

Obliczenia odległości od anteny do UE spełniającej warunek przepustowości of wartości 100 Mbps dokonaliśmy w następujących krokach:

- Rozważyliśmy oddzielnie każdego operatora MNO i każdy scenariusz (wiejski+podmiejski i miejski);
- Dla jednego MNO przyjmujemy wartość d będącą odległością 2D pomiędzy stacją a UE;
- Dla każdego pasma {b20, b8, b3, b1, n38, b7, n78} obliczamy wartość RSRP [dBm] sygnału w odległości d od anteny. Obliczamy poziom ufności RSRP przy przedziale ufności 0.95;
- Dla każdej wcześniejszej wartości RSRP (w pasmach {b20, b8, b3, b1, n38, b7, n78}) odczytujemy wartość przepustowości (throughput) odpowiadającą danej wartości, wskazanej w odpowiedniej tabeli w dokumencie [UKE Pomiary, 2023]. We wszystkich pasmach, z wyjątkiem n38 i n78, stosowana jest technologia FDD;
- Sumujemy przepustowości z wszystkich pasm dla danego MNO. Jeśli suma jest większa niż 100 Mbps, wtedy zwiększamy odległość d i ponownie wykonujemy powyższe operacje. Jeśli suma jest niższa niż 100 Mbps, zmniejszamy odległość d i ponownie wykonujemy powyższe operacje.

Jak wskazano w Tabeli powyżej, MNO1 posiada częstotliwości b1, b3, b7, b20 i przypuszczalnie n78 (z aukcji 5G). Najpierw bierzemy pod uwagę scenariusz z terenami wiejskimi + podmiejskimi (COST Hata model wiejski). Przy tym modelu wartości RSRP i przepustowości dla różnych odległości wynoszą (patrz Aneks 2.1):

Mobile Network Operator MNO1											
2D-dist. [m]	band 800 MHz, BW=10		band 1800 MHz, BW=10 MHz		band 2100 MHz, BW=15 MHz		band 2600 MHz, BW=15 MHz		band 3500 MHz, BW=80 MHz		TOTAL Thr. [Mbps]
	RSRP[dBm]	Thr.[Mbps]	RSRP[dBm]	Thr.[Mbps]	RSRP[dBm]	Thr.[Mbps]	RSRP[dBm]	Thr.[Mbps]	RSRP[dBm]	Thr.[Mbps]	
2100	-113	47	-121	26	-125	23	-128	11	-128	37	144
2150	-113	47	-121	26	-125	23	-128	11	-129	0	107
2200	-113	47	-122	23	-125	23	-128	11	-129	0	104
2250	-114	44	-122	23	-126	19	-129	0	-129	0	86
2300	-114	44	-122	23	-126	19	-129	0	-130	0	86
2350	-114	44	-123	23	-126	19	-129	0	-130	0	86

Toteż odległość zapewniająca prędkość transmisji co najmniej 100 Mbps wynosi 2200 m, a liczba stacje dla terenów wiejskich i podmiejskich to:

$$Stacje = \frac{189,319 \text{ km}^2 + 109,212 \text{ km}^2}{\frac{3\sqrt{3}}{2} (2.2 \text{ km})^2} \approx 23700 \text{ stacji}$$

Takie same operacje w warunkach miejskich (COST Hata model miejski) dają następujące wartości RSRP i przepustowości:

Mobile Network Operator MNO1											
2D-dist. [m]	band 800 MHz, BW=10		band 1800 MHz, BW=10 MHz		band 2100 MHz, BW=15 MHz		band 2600 MHz, BW=15 MHz		band 3500 MHz, BW=80 MHz		TOTAL Thr. [Mbps]
	RSRP[dBm]	Thr.[Mbps]	RSRP[dBm]	Thr.[Mbps]	RSRP[dBm]	Thr.[Mbps]	RSRP[dBm]	Thr.[Mbps]	RSRP[dBm]	Thr.[Mbps]	
1900	-111	52	-120	28	-124	27	-127	15	-129	0	122
1950	-112	50	-121	26	-125	23	-128	11	-129	0	110
2000	-112	50	-121	26	-125	23	-128	11	-129	0	110
2050	-112	50	-121	26	-125	23	-128	11	-130	0	110
2100	-113	47	-122	23	-126	19	-129	0	-130	0	89
2150	-113	47	-122	23	-126	19	-129	0	-130	0	89

Odległość (zasięg anten) zapewniająca prędkość 100 Mbps we wszystkich pasmach to 2050 m, podczas gdy liczba stacji dla zapewnienia prędkości 100 Mbps na terenach miejskich to:

$$Stacje = \frac{14,189 \text{ km}^2}{\frac{3\sqrt{3}}{2} (2.05 \text{ km})^2} = 1300 \text{ stacji}$$

Wreszcie minimalna liczba stacji, jakie powinny działać w Polsce to suma anten na obszarach wiejskich, podmiejskich i miejskich, tj. ok. 25000 dla jednego operatora. Taka liczba zapewni pokrycie 100% powierzchni kraju.

Zwróćmy uwagę, że szybkość transmisji 100 Mb/s będzie osiągnięta zarówno dla scenariusza obejmującego obszary wiejskie i podmiejskie, jak i dla scenariusza dotyczącego obszarów miejskich bez potrzeby korzystania z pasma n78, co widać w powyższych tabelach. Z tabeli dotyczącej obszarów wiejskich i podmiejskich widać, że szybkość transmisji 100 Mb/s zostaje zapewniona przy odległości 2200 metrów z wykorzystaniem wyłącznie pasm b1, b3, b7 i b20 i te same pasma zapewniają szybkość 100 Mb/s na terenach miejskich. Oznacza to, że wskazane powyżej 25000 anten nie obejmuje wymagania UKE dotyczącego 3800 stacji w paśmie n78.

Ta ostatnia uwaga oznacza, że w przypadku korzystania z różnych pasm (w celu osiągnięcia pokrycia 95% obszaru kraju sygnałem zapewniającym szybkość transmisji 100 Mb/s) nie istnieje różnica czy szerokość pasma C wyniesie 80 MHz czy 100 MHz, gdyż, jak wskazano powyżej, pasmo C nie jest uwzględniane w tym przypadku (RSRP wynosi mniej niż 128 dBm we wszystkich przypadkach). Jeśli uwzględnimy obszar bez gmin przygranicznych, to liczba stacji wyniesie 23600.

W przypadku MNO2 (patrz Aneks 2.2), maksymalna odległość 2D umożliwiająca osiągnięcie szybkości transmisji 100 Mb/s w scenariuszu dotyczącym terenów wiejskich i podmiejskich to 2000 m:

Ekspertyza w zakresie wymagań jakościowych w postępowaniu na pasmo C...

Mobile Network Operator MNO2											
2D-dist. [m]	band 800 MHz, BW=5		band 1800 MHz, BW=15 MHz		band 2100 MHz, BW=15 MHz		band 2600 MHz, BW=20 MHz		band 3500 MHz, BW=100 MHz		TOTAL Thr. [Mbps]
	RSRP[dBm]	Thr.[Mbps]	RSRP[dBm]	Thr.[Mbps]	RSRP[dBm]	Thr.[Mbps]	RSRP[dBm]	Thr.[Mbps]	RSRP[dBm]	Thr.[Mbps]	
1900	-108	29	-121	39	-123	31	-128	15	-128	70	184
1950	-108	29	-122	35	-124	27	-128	15	-128	70	176
2000	-109	28	-122	35	-124	27	-128	15	-128	70	175
2050	-109	28	-122	35	-124	27	-129	0	-129	0	90
2100	-110	26	-123	31	-125	23	-129	0	-129	0	80
2150	-110	26	-123	31	-125	23	-129	0	-130	0	80

Podczas, gdy maksymalna odległość 2D w scenariuszu dot. terenów miejskich dla uzyskania szybkości 100 Mb/s to 1850 m:

Mobile Network Operator MNO2											
2D-dist. [m]	band 800 MHz, BW=5		band 1800 MHz, BW=15 MHz		band 2100 MHz, BW=15 MHz		band 2600 MHz, BW=20 MHz		band 3500 MHz, BW=100 MHz		TOTAL Thr. [Mbps]
	RSRP[dBm]	Thr.[Mbps]	RSRP[dBm]	Thr.[Mbps]	RSRP[dBm]	Thr.[Mbps]	RSRP[dBm]	Thr.[Mbps]	RSRP[dBm]	Thr.[Mbps]	
1700	-107	30	-120	43	-123	31	-127	17	-128	70	191
1750	-107	30	-121	39	-123	31	-127	15	-128	70	185
1800	-107	30	-121	39	-123	31	-128	15	-129	0	115
1850	-108	29	-121	39	-124	27	-128	15	-129	0	110
1900	-108	29	-122	35	-124	27	-129	0	-129	0	91
1950	-109	28	-122	35	-125	23	-129	0	-130	0	86

Wartości te oznaczają, że dla uzyskania pokrycia całego obszaru kraju wymagane jest ok. 30 000 stacji, natomiast dla pokrycia całego kraju z wyłączeniem gmin przygranicznych wymagane jest 28 500 stacji. Warto zauważyć, że operator MNO2 wymaga więcej stacji niż operator MNO1, gdyż operator MNO2 posiada tylko 5 MHz pasma w zakresie poniżej 1 GHz. Pokazuje to, że z punktu widzenia pokrycia najważniejszym zakresem częstotliwości jest ten najniższy (<1 GHz).

Należy podkreślić jeszcze raz, że pasmo C nie jest potrzebne dla spełnienia wymagań jakościowych.

Ostatni z operatorów (MNO3) przedstawił inne wartości, gdyż posiada 40 MHz w pasmie 2.5 GHz dla technologii 5G (TDD). W przypadku tego operatora można mieć pewność, że pasmo C nie będzie potrzebne dla zapewnienia pokrycia sygnałem zapewniającym szybkość transmisji 100 Mb/s na całym terytorium kraju.

Odległość 2D dla terenów wiejskich i podmiejskich wynosi w tym przypadku 2500 m (patrz Aneks 2.3):

Mobile Network Operator MNO3											
2D-dist. [m]	band 900 MHz, BW=5		band 1800 MHz, BW=20 MHz		band 2100 MHz, BW=15 MHz		band 2500 MHz, BW=40 MHz		band 2600 MHz, BW=20 MHz		TOTAL Thr. [Mbps]
	RSRP[dBm]	Thr.[Mbps]	RSRP[dBm]	Thr.[Mbps]	RSRP[dBm]	Thr.[Mbps]	RSRP[dBm]	Thr.[Mbps]	RSRP[dBm]	Thr.[Mbps]	
2400	-113	23	-126	20	-127	15	-122	57	-131	0	115
2450	-113	23	-126	20	-127	15	-123	48	-131	0	106
2500	-114	21	-126	20	-127	15	-123	48	-132	0	104
2550	-114	21	-127	17	-128	11	-123	48	-132	0	97
2600	-114	21	-127	17	-128	11	-124	40	-132	0	89
2650	-115	20	-127	17	-128	11	-124	40	-132	0	88

natomiast dla terenów miejskich jest to 2350 m:

Mobile Network Operator MNO3											
2D-dist. [m]	band 900 MHz, BW=5		band 1800 MHz, BW=20 MHz		band 2100 MHz, BW=15 MHz		band 2500 MHz, BW=40 MHz		band 2600 MHz, BW=20 MHz		TOTAL Thr. [Mbps]
	RSRP[dBm]	Thr.[Mbps]	RSRP[dBm]	Thr.[Mbps]	RSRP[dBm]	Thr.[Mbps]	RSRP[dBm]	Thr.[Mbps]	RSRP[dBm]	Thr.[Mbps]	
2200	-112	24	-125	26	-126	19	-122	57	-131	0	126
2250	-112	24	-126	26	-127	15	-123	48	-131	0	113
2300	-113	23	-126	26	-127	15	-123	48	-131	0	112
2350	-113	23	-126	26	-127	15	-123	48	-132	0	112
2400	-113	23	-127	17	-128	11	-123	48	-132	0	99
2450	-114	21	-127	17	-128	11	-124	40	-132	0	89

Oznacza to, że wymagane jest 19 000 stacji dla zapewnienia pokrycia całego kraju i 18 000 stacji w przypadku całego terenu z wyjątkiem gmin przygranicznych.

8 PORÓWNANIE Z WYMAGANIAMI JAKOŚCIOWYMI W NIEMCZECH

Poproszono nas o porównanie wymagań jakościowych z wymaganiami obowiązującymi w Niemczech. Niemcy opublikowały wymagania jakościowe (QoS), które są podobne do proponowanych wymagań polskich w zakresie samych wymagań, ale w świetle niniejszej analizy są o wiele łatwiejsze do spełnienia przez Operatorów.

Wymagania jakościowe (QoS) w Polsce i w Niemczech są podobne:

Rodzaj	NIEMCY ²	POLSKA ³
Pokrycie gospodarstw	98%/100Mbps	99%/100Mbps/10ms
Pokrycie obszaru	NIE	95%/100Mbps/10ms
Pokrycie dróg	100Mbps/10ms dla autostrad, dróg federalnych, 50Mbps dla pozostałych kategorii dróg	100Mbps/10ms dla dróg krajowych, 100Mbps dla dróg wojewódzkich
Pokrycie szlaków kolejowych	100Mbps dla szlaków >2000 pasażerów dziennie, 50Mbps dla pozostałych	100Mbps/10ms dla szlaków kolejowych określonych w załączniku + sieć TEN-T
Porty	50Mbps dla portów i głównych dróg śródlądowych	NIE
Liczba stacji bazowych	1000 + 500 w białych plamach	3800
Płatność za rezerwację rozłożona w czasie	TAK	NIE

Zaobserwować można dwie istotne różnice: (1) w Niemczech nie wskazano wyraźnie, czy wymagania mogą być spełnione przy użyciu wszystkich pasm posiadanych przez operatora (nasza interpretacja jest tak, że także w Niemczech można wykorzystać inne pasma dla osiągnięcia odpowiedniej jakości transmisji) oraz (2) co ważne, w Polsce najbardziej restrykcyjnym wymaganiem jest wymaganie dotyczące obszaru (patrz analiza w punkcie 2), a takie wymaganie nie występuje w Niemczech. To ostatnia kwestia wydaje się być bardzo ważna, gdyż, jak wskazaliśmy wcześniej, różnica pomiędzy rozważaniem pokrycia terytorialnego vs. pokrycie mierzone liczbą gospodarstw domowych może doprowadzić do znaczących różnic w liczbie (wymaganych) stacji (anten).

Nie da się tego powiedzieć biorąc pod uwagę sytuację operatorów w Polsce i w Niemczech. W rzeczywistości istnieją wyraźne różnice, jeśli chodzi o infrastruktury posiadane przez operatorów w Niemczech i w Polsce.

Wiadomo, że liczba anten raportowanych przez operatorów polskich przekracza nieznacznie 40.000 (w sumie dla wszystkich czterech Operatorów Komórkowych). W Niemczech liczba anten jest publikowana przez Bundesnetzagentur. W ostatnich czterech latach infrastruktura w Niemczech przedstawiała się jak w tabeli poniżej:

² Źródło:

https://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Downloads/EN/Areas/Telecommunications/Companies/TelecomRegulation/FrequencyManagement/ElectronicCommunicationsServices/FrequencyAward2018/20181214_Decision_III_IV.pdf?__blob=publicationFile&v=3

³ Źródło:

https://bip.uke.gov.pl/download/gfx/bip/pl/defaultaktualnosci/33/2377/1/03_projekt_rozstrzygniec_decyzji_rezerwacja_a.pdf

Źródło: ⁴	2019		2020		2021	
		w %		w %		w %
SUMA	190 595	100	224 554	100	187 443	100
5G	139	0	19 510	9	29 959	16
LTE/4G	62 567	33	75 901	34	82 479	44
UMTS/3G	57 457	30	56 934	25	652	0
GSM/2G	70 432	37	72 209	32	74 353	40

Jak można zaobserwować, przed rozpoczęciem inwestycji w sieć 5G (w roku 2019 było tylko 139 anten 5G), całkowita liczba anten w Niemczech wynosiła 190 tysięcy. Jak wskazano powyżej, obecnie polscy operatorzy posiadają tylko 40 tysięcy anten. Oznacza to, że nawet biorąc pod uwagę większy obszar terytorium Niemiec, ogólny zasięg infrastruktury (średnia liczba stacji/anten na jednostkę powierzchni kraju) komórkowej w Niemczech jest tam o wiele większy niż w Polsce. Oznacza to, że niemieccy operatorzy zainwestowali w przeszłości więcej niż polscy. Obecna sytuacja polskich operatorów z punktu widzenia spełniania praktycznie takich samych wymagań jakościowych jest wyraźnie niekorzystna w porównaniu z sytuacją operatorów niemieckich.

Inna istotna różnica to sposób rozdziału częstotliwości. W kolejnej tabeli zaprezentowano pasma i ich szerokości, jakie udostępniona operatorom komórkowym w Niemczech i w Polsce (bez uwzględnienia pasma C):

Pasmo	NIEMCY ⁵	POLSKA ⁶
700 MHz	60 MHz	
800 MHz	60 MHz	50 MHz
900 MHz	70 MHz	70 MHz
1400 MHz	40 MHz	
1800 MHz	150 MHz	150 MHz
2100 MHz	140 MHz	120 MHz
2600 MHz	190 MHz	190 MHz
RAZEM	710 MHz	580 MHz

Operatorzy w Niemczech posiadają aż 130 MHz więcej niż operatorzy polscy, głównie w niższych zakresach częstotliwości. Jak wskazuje nasza analiza, niskie zakresy częstotliwości są istotne dla spełnienia wymagań jakościowych (w większym stopniu niż pasmo C). Toteż ponownie musimy tu wskazać niekorzystną sytuację operatorów polskich w porównaniu z niemieckimi w zakresie spełniania wymagań jakościowych stawianych przez Regulatora.

⁴ Źródło:

https://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Mediathek/Daten/21_Daten_TK.xlsx?blob=publicationFile&v=4

⁵ Źródło:

https://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Downloads/DE/Sachgebiete/Telekommunikation/Unternehmen_Institutionen/Frequenzen/OffentlicheNetze/Mobilfunk/DrahtloserNetzzugang/Projekt2018/Frequenzen700bis3600_pdf.pdf?blob=publicationFile&v=5

⁶ Źródło: <https://bip.uke.gov.pl/dostepnosc-czestotliwosci/informacja-o-zajetosci-widma-tresci/informacja-o-zajetosci-widma-w-pasmach-420-mhz-450-mhz-800-mhz-900-mhz-1800-mhz-2100-mhz-2600-mhz.13.html>

Ogólnie należy podsumować, że nawet jeśli wymagania w Polsce i Niemczech byłyby podobne, to polscy operatorzy natrafiają na o wiele większe trudności w ich spełnieniu niż operatorzy niemieccy.

Na koniec zauważmy, że istnieją inne kraje, w których wymagania dotyczą wyłącznie liczby stacji mających działać w paśmie C, co daje jasność, gdyż nie występuje tu żadne zróżnicowanie procesu (wymaganie to jest łatwo mierzalne i łatwe do wykazania).

9 WNIOSKI

Z przeprowadzonej analizy wynikają następujące wnioski:

- Analiza pokazuje, że istnieje konieczność dużych inwestycji w Polsce (w zakresie liczby stacji) w celu spełnienia wymagań jakościowych (QoS) stawianych przez UKE w dokumentach stanowiących część dokumentacji przetargowej na pasmo C dla 5G. Ponadto, jak wykazała analiza, liczba stacji potrzebnych dla zapewnienia pokrycia całego terytorium w paśmie C sygnałem zapewniającym prędkość transmisji 100 Mb/s wydaje się być nieosiągalna dla operatorów do realizacji z finansowego punktu widzenia, jak również organizacji i realizacji tak dużych procesów inwestycyjnych;
- Ramy naszej analizy są następujące: (1) w parametrach uwzględniono maksymalną moc średnią anten, w tym liczbę warstw MIMO, zysk anten, zakresy i szerokości pasm posiadanych przez każdego operatora, technologię wykorzystaną w każdym paśmie, wysokość umieszczenia anten nad gruntem i typ urządzeń wykorzystywanych przez użytkowników; (2) efekty, jakie wzięto pod uwagę to propagacja sygnału, zaniki sygnału (pośrednio poprzez zakresy ufności (confidence intervals), rozkład mocy zależnie od zasobu, środowisko propagacyjne (wykorzystując różnej model dla obszarów wiejskich, podmiejskich i miejskich), (3) model propagacji to COST Hata;
- Wymagania jakościowe (QoS) są podobne w Polsce i w Niemczech, jednak najostrzejsze wymaganie (wymaganie dot. obszaru) istnieje tylko w Polsce, co może prowadzić do znacznej różnicy w zakresie wymaganych inwestycji (liczby stacji);
- Spełnienie wymagań jakościowych (QoS) jest o wiele trudniejsze w Polsce niż w Niemczech ze względu na dwa główne czynniki:
 - istniejąca polska infrastruktura (liczba stacji) przed inwestycją jest o wiele mniejsza od infrastruktury istniejącej w Niemczech (średnio w przeliczeniu na jednostkę powierzchni kraju) przed rozpoczęciem inwestycji (rok 2019);
 - rezerwacje na częstotliwości udzielone w Niemczech dają operatorom istotnie większe zasoby pasma niż w Polsce, co w świetle powyższej analizy (szerokość pasma jest istotna z punktu widzenia zasięgu osiąganego przez stację bazową) stawia operatorów niemieckich w o wiele lepszej sytuacji z punktu widzenia spełniania wymogów jakościowych stawianych przez Regulatora. W świetle powyżej przytoczonych analiz fakt, że operatorzy niemieccy korzystają z mniejszych bloków pasma C niż operatorzy polscy pozostaje bez znaczenia.

LITERATURA

[Leśnictwo w Polsce, 2021]:

Wydział Współpracy z Mediami Głównego Urzędu Statystycznego, „Leśnictwo w 2020 r.”, 2021
https://stat.gov.pl/files/gfx/portalinformacyjny/pl/defaultaktualnosci/5510/3/2/1/lesnictwo_w_2020_r.pdf (ostatnie oglądanie: Marzec 2023r.)

[TR 38.901, 2022]:

3GPP Technical Requirement 38.901 (TR 38.901) „Study on channel model for frequencies from 0.5 to 100 GHz”, Release 17. March 2022

[COST231, 1991]

COST 231, "Urban transmission loss models for mobile radio in the 900- and 1,800 MHz bands (Revision 2)," COST 231 TD(90)119 Rev. 2, The Hague, The Netherlands, September 1991

[Projekt UKE, 2023]

Urząd Komunikacji Elektronicznej, "Projekt rozstrzygnięcia decyzji w sprawie rezerwacji częstotliwości z zakresu 3480-3560 MHz, która zostanie wydana po przeprowadzeniu postępowania, o którym mowa w art. 118c ust. 3 i ust. 4 ustawy Prawo telekomunikacyjne", 2023

[GUS, 2022]

Główny Urząd Statystyczny, „Rodzaje gmin oraz obszary miejskie i wiejskie”, 2022,
<https://stat.gov.pl/statystyka-regionalna/jednostki-terytorialne/podzial-administracyjny-polski/rodzaje-gmin-oraz-obszary-miejskie-i-wiejskie/> (last access: March 2023)

[UKE Pomiary, 2023]

Urząd Komunikacji Elektronicznej, „Pomiary przepustowości w sieciach 4G/5G”, 2023

[EU 2018/1972]

Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2018/1972 z dnia 11 grudnia 2018 r. ustanawiająca Europejski kodeks łączności elektronicznej

[GUS_BDL,2022]

Dane dla Jednostki terytorialnej: <https://bdl.stat.gov.pl/bdl/dane/teryt/jednostka#> (last access: April 2023)

ANEKS 1

Wyniki analizy zasięgu wyłącznie dla zakresu C (95% obszaru poniżej 100 Mbps). Plik w Excelu stanowi część tego Aneksu.

RURAL + SUBURABN		RSRP [dBm]= 122		Technol.: 5G		BW [MHz]=		Sigma:		8		Power:		30 W/layer		
dZD [m]	dBd [m]	hBS [m]	hUT [m]	hBS h [m]	fc [GHz]	RAN gain	95%-level	PLH_SUB	PL1	PL2	PL3	PL4	a(hMOB)	PL4	Cm	PL [dB]
1300	1300,526432	3	40	3	3,64	38,52183	-121,0692	-143,911	46,3	120,72134	-22,1405	-4,89632	3,92644	0	143,911	0
1310	1310,522415	3	40	3	3,64	38,52183	-121,1836	-144,025	46,3	120,72134	-22,1405	-4,89632	4,04085	0	144,0254	0
1320	1320,518459	3	40	3	3,64	38,52183	-121,2971	-144,139	46,3	120,72134	-22,1405	-4,89632	4,1544	0	144,1389	0
1330	1330,514562	3	40	3	3,64	38,52183	-121,4098	-144,252	46,3	120,72134	-22,1405	-4,89632	4,26708	0	144,2516	0
1340	1340,510724	3	40	3	3,64	38,52183	-121,5217	-144,363	46,3	120,72134	-22,1405	-4,89632	4,37893	0	144,3635	0
1350	1350,506942	3	40	3	3,64	38,52183	-121,6327	-144,474	46,3	120,72134	-22,1405	-4,89632	4,48994	0	144,4745	0
1360	1360,503216	3	40	3	3,64	38,52183	-121,7429	-144,585	46,3	120,72134	-22,1405	-4,89632	4,60014	0	144,5847	0
1370	1370,499544	3	40	3	3,64	38,52183	-121,8523	-144,694	46,3	120,72134	-22,1405	-4,89632	4,70952	0	144,6941	0
1380	1380,495925	3	40	3	3,64	38,52183	-121,9608	-144,803	46,3	120,72134	-22,1405	-4,89632	4,81812	0	144,8027	0
1390	1390,492359	3	40	3	3,64	38,52183	-122,0687	-144,91	46,3	120,72134	-22,1405	-4,89632	4,92593	0	144,9105	0
1400	1400,488843	3	40	3	3,64	38,52183	-122,1757	-145,018	46,3	120,72134	-22,1405	-4,89632	5,03297	0	145,0175	0
1410	1410,485377	3	40	3	3,64	38,52183	-122,282	-145,124	46,3	120,72134	-22,1405	-4,89632	5,13925	0	145,1238	0
1420	1420,48196	3	40	3	3,64	38,52183	-122,3875	-145,229	46,3	120,72134	-22,1405	-4,89632	5,24478	0	145,2293	0
1430	1430,478591	3	40	3	3,64	38,52183	-122,4923	-145,334	46,3	120,72134	-22,1405	-4,89632	5,34957	0	145,3341	0
1440	1440,475269	3	40	3	3,64	38,52183	-122,5964	-145,438	46,3	120,72134	-22,1405	-4,89632	5,45363	0	145,4382	0
1450	1450,471992	3	40	3	3,64	38,52183	-122,6997	-145,542	46,3	120,72134	-22,1405	-4,89632	5,55697	0	145,5415	0

Granica: 1380

Ekspertyza w zakresie wymagań jakościowych w postępowaniu na pasmo C...

$$PL=46.3 + 33.9 \log f/\text{MHz} - 13.82 \log h\text{Base}/\text{m} - a(\text{hMobile}) + (44.9 - 6.55 \log h\text{Base}/\text{m}) \log d/\text{km} + C_m$$

$$a(\text{hMobile}) = (3.2 \times (\log(11.75 \times \text{hMobile}/\text{m}))^2 - 4.97$$

URBAN		Pi		3,141592		RSRP [dBm]=		122		Technol.: 5G		h [m]		fc [GHz]		RAN gain		BW [MHz]=		80		Sigma:		6		Power:		30 W/layer		
d2D [m]	d3D [m]	dBp	hUT [m]	hBS	h [m]	h [m]	h [m]	h [m]	h [m]	95%-level	PLH	URB	PL1	PL2	PL3	PL4	PL4	PL4	PL4	PL4	PL4	PL4	PL4	PL4	PL4	PL4	PL4	PL4	PL [dB]	
10	1200	1200,57	3	40	3,64	38,52183	-121,161	-147,922	46,3	120,7213	-22,1405	-2,68984	2,73145	46,3	120,7213	-22,1405	-2,68984	2,73145	46,3	120,7213	-22,1405	-2,68984	2,73145	46,3	120,7213	-22,1405	-2,68984	2,73145	3	147,9225
	1210	1210,566	3	40	3,64	38,52183	-121,285	-148,046	46,3	120,7213	-22,1405	-2,68984	2,855338	46,3	120,7213	-22,1405	-2,68984	2,855338	46,3	120,7213	-22,1405	-2,68984	2,855338	46,3	120,7213	-22,1405	-2,68984	2,855338	3	148,0464
	1220	1220,561	3	40	3,64	38,52183	-121,407	-148,169	46,3	120,7213	-22,1405	-2,68984	2,978209	46,3	120,7213	-22,1405	-2,68984	2,978209	46,3	120,7213	-22,1405	-2,68984	2,978209	46,3	120,7213	-22,1405	-2,68984	2,978209	3	148,1692
	1230	1230,556	3	40	3,64	38,52183	-121,529	-148,291	46,3	120,7213	-22,1405	-2,68984	3,100078	46,3	120,7213	-22,1405	-2,68984	3,100078	46,3	120,7213	-22,1405	-2,68984	3,100078	46,3	120,7213	-22,1405	-2,68984	3,100078	3	148,2911
	1240	1240,552	3	40	3,64	38,52183	-121,65	-148,412	46,3	120,7213	-22,1405	-2,68984	3,220963	46,3	120,7213	-22,1405	-2,68984	3,220963	46,3	120,7213	-22,1405	-2,68984	3,220963	46,3	120,7213	-22,1405	-2,68984	3,220963	3	148,412
	1250	1250,547	3	40	3,64	38,52183	-121,77	-148,532	46,3	120,7213	-22,1405	-2,68984	3,340878	46,3	120,7213	-22,1405	-2,68984	3,340878	46,3	120,7213	-22,1405	-2,68984	3,340878	46,3	120,7213	-22,1405	-2,68984	3,340878	3	148,5319
	1260	1260,543	3	40	3,64	38,52183	-121,889	-148,651	46,3	120,7213	-22,1405	-2,68984	3,459884	46,3	120,7213	-22,1405	-2,68984	3,459884	46,3	120,7213	-22,1405	-2,68984	3,459884	46,3	120,7213	-22,1405	-2,68984	3,459884	3	148,6509
	1270	1270,539	3	40	3,64	38,52183	-122,007	-148,769	46,3	120,7213	-22,1405	-2,68984	3,577862	46,3	120,7213	-22,1405	-2,68984	3,577862	46,3	120,7213	-22,1405	-2,68984	3,577862	46,3	120,7213	-22,1405	-2,68984	3,577862	3	148,7689
	1280	1280,535	3	40	3,64	38,52183	-122,124	-148,886	46,3	120,7213	-22,1405	-2,68984	3,694961	46,3	120,7213	-22,1405	-2,68984	3,694961	46,3	120,7213	-22,1405	-2,68984	3,694961	46,3	120,7213	-22,1405	-2,68984	3,694961	3	148,886
	1290	1290,531	3	40	3,64	38,52183	-122,24	-149,002	46,3	120,7213	-22,1405	-2,68984	3,811149	46,3	120,7213	-22,1405	-2,68984	3,811149	46,3	120,7213	-22,1405	-2,68984	3,811149	46,3	120,7213	-22,1405	-2,68984	3,811149	3	149,0022
	1300	1300,526	3	40	3,64	38,52183	-122,356	-149,117	46,3	120,7213	-22,1405	-2,68984	3,926442	46,3	120,7213	-22,1405	-2,68984	3,926442	46,3	120,7213	-22,1405	-2,68984	3,926442	46,3	120,7213	-22,1405	-2,68984	3,926442	3	149,1175
	1310	1310,522	3	40	3,64	38,52183	-122,47	-149,232	46,3	120,7213	-22,1405	-2,68984	4,040853	46,3	120,7213	-22,1405	-2,68984	4,040853	46,3	120,7213	-22,1405	-2,68984	4,040853	46,3	120,7213	-22,1405	-2,68984	4,040853	3	149,2319
	1320	1320,518	3	40	3,64	38,52183	-122,584	-149,345	46,3	120,7213	-22,1405	-2,68984	4,154396	46,3	120,7213	-22,1405	-2,68984	4,154396	46,3	120,7213	-22,1405	-2,68984	4,154396	46,3	120,7213	-22,1405	-2,68984	4,154396	3	149,3454
	1330	1330,515	3	40	3,64	38,52183	-122,696	-149,458	46,3	120,7213	-22,1405	-2,68984	4,267082	46,3	120,7213	-22,1405	-2,68984	4,267082	46,3	120,7213	-22,1405	-2,68984	4,267082	46,3	120,7213	-22,1405	-2,68984	4,267082	3	149,4581
	1340	1340,511	3	40	3,64	38,52183	-122,808	-149,57	46,3	120,7213	-22,1405	-2,68984	4,378926	46,3	120,7213	-22,1405	-2,68984	4,378926	46,3	120,7213	-22,1405	-2,68984	4,378926	46,3	120,7213	-22,1405	-2,68984	4,378926	3	149,5699
	1350	1350,507	3	40	3,64	38,52183	-122,919	-149,681	46,3	120,7213	-22,1405	-2,68984	4,48994	46,3	120,7213	-22,1405	-2,68984	4,48994	46,3	120,7213	-22,1405	-2,68984	4,48994	46,3	120,7213	-22,1405	-2,68984	4,48994	3	149,681

Granica: 1260

RURAL + SUBURBAN

$$PL=46.3 + 33.9 \log f/\text{MHz} - 13.82 \log h\text{Base}/\text{m} - a(\text{hMobile}) + (44.9 - 6.55 \log h\text{Base}/\text{m}) \log d/\text{km} + C_m$$

$$a(\text{hMobile}) = (1.1 \times \log_{10} f/\text{MHz} - 0.7) \text{hMobile}/\text{m} - (1.56 \times \log f/\text{MHz} - 0.8)$$

RURAL + SUBURBAN		Pi		3,141592		RSRP [dBm]=		126		Technol.: 5G		h [m]		fc [GHz]		RAN gain		BW [MHz]=		100		Sigma:		8		Power:		30 W/layer	
d2D [m]	d3D [m]	dBp	hUT [m]	hBS	h [m]	h [m]	h [m]	h [m]	h [m]	95%-level	PLH	SUB	PL1	PL2	PL3	PL4	PL4	PL4	PL4	PL4	PL4	PL4	PL4	PL4	PL4	PL4	PL4	PL [dB]	
1600	1600,427755	3	40	3,64	37,55273	-125,1389	-147,012	46,3	120,72134	-22,1405	-4,89632	7,02705	46,3	120,72134	-22,1405	-4,89632	7,02705	46,3	120,72134	-22,1405	-4,89632	7,02705	46,3	120,72134	-22,1405	-4,89632	7,02705	0	147,0116
1610	1610,425099	3	40	3,64	37,55273	-125,2319	-147,105	46,3	120,72134	-22,1405	-4,89632	7,1201	46,3	120,72134	-22,1405	-4,89632	7,1201	46,3	120,72134	-22,1405	-4,89632	7,1201	46,3	120,72134	-22,1405	-4,89632	7,1201	0	147,1047
1620	1620,422476	3	40	3,64	37,55273	-125,3244	-147,197	46,3	120,72134	-22,1405	-4,89632	7,21258	46,3	120,72134	-22,1405	-4,89632	7,21258	46,3	120,72134	-22,1405	-4,89632	7,21258	46,3	120,72134	-22,1405	-4,89632	7,21258	0	147,1971
1630	1630,419885	3	40	3,64	37,55273	-125,4163	-147,289	46,3	120,72134	-22,1405	-4,89632	7,30448	46,3	120,72134	-22,1405	-4,89632	7,30448	46,3	120,72134	-22,1405	-4,89632	7,30448	46,3	120,72134	-22,1405	-4,89632	7,30448	0	147,289
1640	1640,417325	3	40	3,64	37,55273	-125,5077	-147,38	46,3	120,72134	-22,1405	-4,89632	7,39583	46,3	120,72134	-22,1405	-4,89632	7,39583	46,3	120,72134	-22,1405	-4,89632	7,39583	46,3	120,72134	-22,1405	-4,89632	7,39583	0	147,3804
1650	1650,414796	3	40	3,64	37,55273	-125,5984	-147,471	46,3	120,72134	-22,1405	-4,89632	7,48662	46,3	120,72134	-22,1405	-4,89632	7,48662	46,3	120,72134	-22,1405	-4,89632	7,48662	46,3	120,72134	-22,1405	-4,89632	7,48662	0	147,4712
1660	1660,412298	3	40	3,64	37,55273	-125,6887	-147,561	46,3	120,72134	-22,1405	-4,89632	7,57686	46,3	120,72134	-22,1405	-4,89632	7,57686	46,3	120,72134	-22,1405	-4,89632	7,57686	46,3	120,72134	-22,1405	-4,89632	7,57686	0	147,5614
1670	1670,40983	3	40	3,64	37,55273	-125,7784	-147,651	46,3	120,72134	-22,1405	-4,89632	7,66656	46,3	120,72134	-22,1405	-4,89632	7,66656	46,3	120,72134	-22,1405	-4,89632	7,66656	46,3	120,72134	-22,1405	-4,89632	7,66656	0	147,6511
1680	1680,407391	3	40	3,64	37,55273	-125,8676	-147,74	46,3	120,72134	-22,1405	-4,89632	7,75573	46,3	120,72134	-22,1405	-4,89632	7,75573	46,3	120,72134	-22,1405	-4,89632	7,75573	46,3	120,72134	-22,1405	-4,89632	7,75573	0	147,7403
1690	1690,404981	3	40	3,64	37,55273	-125,9562	-147,829	46,3	120,72134	-22,1405	-4,89632	7,84437	46,3	120,72134	-22,1405	-4,89632	7,84437	46,3	120,72134	-22,1405	-4,89632	7,84437	46,3	120,72134	-22,1405	-4,89632	7,84437	0	147,8289
1700	1700,402599	3	40	3,64	37,55273	-126,0443	-147,917	46,3	120,72134	-22,1405	-4,89632	7,93248	46,3	120,72134	-22,1405	-4,89632	7,93248	46,3	120,72134	-22,1405	-4,89632	7,93248	46,3	120,72134	-22,1405	-4,89632	7,93248	0	147,917
1710	1710,400246	3	40	3,64	37,55273	-126,1319	-148,005	46,3	120,72134	-22,1405	-4,89632	8,02008	46,3	120,72134	-22,1405	-4,89632	8,02008	46,3	120,72134	-22,1405	-4,89632	8,02008	46,3	120,72134	-22,1405	-4,89632	8,02008	0	148,0046
1720	1720,397919	3	40	3,64	37,55273	-126,219	-148,092	46,3	120,72134	-22,1405	-4,89632	8,10717	46,3	120,72134	-22,1405	-4,89632	8,10717	46,3	120,72134	-22,1405	-4,89632	8,10717	46,3	120,72134	-22,1405	-4,89632			

Ekspertyza w zakresie wymagań jakościowych w postępowaniu na pasmo C...

$$PL=46.3 + 33.9 \log f/\text{MHz} - 13.82 \log h/\text{Base/m} - a(h/\text{Mobile}) + (44.9 - 6.55 \log h/\text{Base/m}) \log d/\text{km} + C_m$$

$$a(h/\text{Mobile}) = (3.2 \times (\log(11.75 \times h/\text{Mobile}/\text{m}))^2 - 4.97$$

d2D [m]	d3D [m]	dBP	hUT [m]	hBS	h [m]	fc [GHz]	RAN gain	RSRP [dBm]=		Technol.: 5G		BW [MHz]=		Sigma:		Power:		30 W/layer
								126	150	95%-level	PLH_URB	PL1	PL2	PL3	PL4	PL4	Cm	
1500	1500,456		3	40	3,64	37,55273		-125,462	-151,254	46,3	120,7213	-22,1405	-2,68984	6,06323	3	151,2543		
1510	1510,453		3	40	3,64	37,55273		-125,561	-151,353	46,3	120,7213	-22,1405	-2,68984	6,162456	3	151,3535		
1520	1520,45		3	40	3,64	37,55273		-125,659	-151,452	46,3	120,7213	-22,1405	-2,68984	6,261028	3	151,4521		
1530	1530,447		3	40	3,64	37,55273		-125,757	-151,55	46,3	120,7213	-22,1405	-2,68984	6,358955	3	151,55		
1540	1540,444		3	40	3,64	37,55273		-125,855	-151,647	46,3	120,7213	-22,1405	-2,68984	6,456245	3	151,6473		
1550	1550,442		3	40	3,64	37,55273		-125,951	-151,744	46,3	120,7213	-22,1405	-2,68984	6,552905	3	151,7439		
1560	1560,439		3	40	3,64	37,55273		-126,047	-151,84	46,3	120,7213	-22,1405	-2,68984	6,648945	3	151,84		
1570	1570,436		3	40	3,64	37,55273		-126,143	-151,935	46,3	120,7213	-22,1405	-2,68984	6,744371	3	151,9354		
1580	1580,433		3	40	3,64	37,55273		-126,237	-152,03	46,3	120,7213	-22,1405	-2,68984	6,839193	3	152,0302		
1590	1590,43		3	40	3,64	37,55273		-126,332	-152,124	46,3	120,7213	-22,1405	-2,68984	6,933416	3	152,1244		
1600	1600,428		3	40	3,64	37,55273		-126,425	-152,218	46,3	120,7213	-22,1405	-2,68984	7,02705	3	152,2181		
1610	1610,425		3	40	3,64	37,55273		-126,518	-152,311	46,3	120,7213	-22,1405	-2,68984	7,120101	3	152,3111		
1620	1620,422		3	40	3,64	37,55273		-126,611	-152,404	46,3	120,7213	-22,1405	-2,68984	7,212576	3	152,4036		
1630	1630,42		3	40	3,64	37,55273		-126,703	-152,496	46,3	120,7213	-22,1405	-2,68984	7,304483	3	152,4955		
1640	1640,417		3	40	3,64	37,55273		-126,794	-152,587	46,3	120,7213	-22,1405	-2,68984	7,395828	3	152,5869		
1650	1650,415		3	40	3,64	37,55273		-126,885	-152,678	46,3	120,7213	-22,1405	-2,68984	7,486619	3	152,6776		

Gramica: 1550

ANEKS 2

Wyniki analizy zasięgu wyłącznie dla wszystkich zakresów częstotliwości (95% obszaru poniżej 100 Mbps). Plik w Excelu stanowi część tego Aneksu.

Aneks 2.1. MNO1

RURAL + SUBURBAN		dBm		Technol.: 4G		122		PL=46.3 + 33.9log f/MHz - 13.82log hBase/m - a(hMobile) +(44.9- 6.55log hBase/m) log d/km + Cm		a(hMobile) = (1.1 × log ₁₀ f/MHz - 0.7) hMobile/m - (1.56 × log f/MHz - 0.8)		Power:		30 W/layer		
Pi	3,141592	dBm	h [m]	fc [GHz]	RAN gain	hJUT [m]	hBS	BW [MHz]=	95%-level	PLH_SUB	PL1	Sigma:	PL2	PL3	PL4	PL [dB]
50	2100	2100,326	40	0,8	33,54243	3	40	-112,04924	-129,912	46,3	98,41475	-22,1405	-3,75138	11,08876	0	129,9117
	2150	2150,318	40	0,8	33,54243	3	40	-112,40074	-130,263	46,3	98,41475	-22,1405	-3,75138	11,44026	0	130,2632
	2200	2200,311	40	0,8	33,54243	3	40	-112,74416	-130,607	46,3	98,41475	-22,1405	-3,75138	11,78368	0	130,6066
	2250	2250,304	40	0,8	33,54243	3	40	-113,07987	-130,942	46,3	98,41475	-22,1405	-3,75138	12,11939	0	130,9423
	2300	2300,298	40	0,8	33,54243	3	40	-113,4082	-131,271	46,3	98,41475	-22,1405	-3,75138	12,44772	0	131,2706
	2350	2350,291	40	0,8	33,54243	3	40	-113,72948	-131,592	46,3	98,41475	-22,1405	-3,75138	12,769	0	131,5919
	2400	2400,285	40	0,8	33,54243	3	40	-114,044	-131,906	46,3	98,41475	-22,1405	-3,75138	13,08352	0	131,9064
	2450	2450,279	40	0,8	33,54243	3	40	-114,35203	-132,214	46,3	98,41475	-22,1405	-3,75138	13,39155	0	132,2145
	2500	2500,274	40	0,8	33,54243	3	40	-114,65384	-132,516	46,3	98,41475	-22,1405	-3,75138	13,69336	0	132,5163
	2550	2550,268	40	0,8	33,54243	3	40	-114,94968	-132,812	46,3	98,41475	-22,1405	-3,75138	13,9892	0	132,8121
	2600	2600,263	40	0,8	33,54243	3	40	-115,23978	-133,102	46,3	98,41475	-22,1405	-3,75138	14,2793	0	133,1022
	2650	2650,258	40	0,8	33,54243	3	40	-115,52435	-133,387	46,3	98,41475	-22,1405	-3,75138	14,56387	0	133,3868
	2700	2700,254	40	0,8	33,54243	3	40	-115,8036	-133,666	46,3	98,41475	-22,1405	-3,75138	14,84312	0	133,666
	2750	2750,249	40	0,8	33,54243	3	40	-116,07774	-133,94	46,3	98,41475	-22,1405	-3,75138	15,11726	0	133,9402
	2800	2800,244	40	0,8	33,54243	3	40	-116,34693	-134,209	46,3	98,41475	-22,1405	-3,75138	15,38645	0	134,2094
	2850	2850,24	40	0,8	33,54243	3	40	-116,61136	-134,474	46,3	98,41475	-22,1405	-3,75138	15,65088	0	134,4738

Ekspertyza w zakresie wymagań jakościowych w postępowaniu na pasmo C...

Technol.: 4G										Technol.: 4G																																			
d2D [m]	d3D [m]	dBp	hUT [m]	hBS	h [m]	fc [GHz]	RAN gain	95%-level	PLH_SUB	PL1	PL2	PL3	PL4	PL [dB]	30 W/layer	d2D [m]	d3D [m]	dBp	hUT [m]	hBS	h [m]	fc [GHz]	RAN gain	95%-level	PLH_SUB	PL1	PL2	PL3	PL4	PL [dB]	30 W/layer														
50	2100	2100,326	3	3	40	1,8	36,54243	-120,37543	-141,238	46,3	110,3537	-22,1405	-4,36417	11,08876	0	2100	2100,326	3	3	40	2,1	34,78151	-124,28935	-143,391	46,3	112,6232	-22,1405	-4,48066	11,08876	0	2100	2100,326	3	3	40	2,1	34,78151	-124,28935	-143,391	46,3	112,6232	-22,1405	-4,48066	11,08876	0
	2150	2150,318	3	3	40	1,8	36,54243	-120,72693	-141,589	46,3	110,3537	-22,1405	-4,36417	11,44026	0	2150	2150,318	3	3	40	2,1	34,78151	-124,64085	-143,742	46,3	112,6232	-22,1405	-4,48066	11,44026	0	2150	2150,318	3	3	40	2,1	34,78151	-124,64085	-143,742	46,3	112,6232	-22,1405	-4,48066	11,44026	0
	2200	2200,311	3	3	40	1,8	36,54243	-121,07035	-141,933	46,3	110,3537	-22,1405	-4,36417	11,78368	0	2200	2200,311	3	3	40	2,1	34,78151	-124,98427	-144,086	46,3	112,6232	-22,1405	-4,48066	11,78368	0	2200	2200,311	3	3	40	2,1	34,78151	-124,98427	-144,086	46,3	112,6232	-22,1405	-4,48066	11,78368	0
	2250	2250,304	3	3	40	1,8	36,54243	-121,40606	-142,268	46,3	110,3537	-22,1405	-4,36417	12,11939	0	2250	2250,304	3	3	40	2,1	34,78151	-125,31998	-144,421	46,3	112,6232	-22,1405	-4,48066	12,11939	0	2250	2250,304	3	3	40	2,1	34,78151	-125,31998	-144,421	46,3	112,6232	-22,1405	-4,48066	12,11939	0
	2300	2300,298	3	3	40	1,8	36,54243	-121,73439	-142,597	46,3	110,3537	-22,1405	-4,36417	12,44772	0	2300	2300,298	3	3	40	2,1	34,78151	-125,64832	-144,75	46,3	112,6232	-22,1405	-4,48066	12,44772	0	2300	2300,298	3	3	40	2,1	34,78151	-125,64832	-144,75	46,3	112,6232	-22,1405	-4,48066	12,44772	0
	2350	2350,291	3	3	40	1,8	36,54243	-122,05567	-142,918	46,3	110,3537	-22,1405	-4,36417	12,769	0	2350	2350,291	3	3	40	2,1	34,78151	-126,28411	-145,386	46,3	112,6232	-22,1405	-4,48066	12,769	0	2350	2350,291	3	3	40	2,1	34,78151	-126,28411	-145,386	46,3	112,6232	-22,1405	-4,48066	12,769	0
	2400	2400,285	3	3	40	1,8	36,54243	-122,37019	-143,233	46,3	110,3537	-22,1405	-4,36417	13,08352	0	2400	2400,285	3	3	40	2,1	34,78151	-126,59214	-145,694	46,3	112,6232	-22,1405	-4,48066	13,08352	0	2400	2400,285	3	3	40	2,1	34,78151	-126,59214	-145,694	46,3	112,6232	-22,1405	-4,48066	13,08352	0
	2450	2450,279	3	3	40	1,8	36,54243	-122,67822	-143,541	46,3	110,3537	-22,1405	-4,36417	13,39155	0	2450	2450,279	3	3	40	2,1	34,78151	-126,89395	-145,995	46,3	112,6232	-22,1405	-4,48066	13,39155	0	2450	2450,279	3	3	40	2,1	34,78151	-126,89395	-145,995	46,3	112,6232	-22,1405	-4,48066	13,39155	0
	2500	2500,274	3	3	40	1,8	36,54243	-122,98003	-143,842	46,3	110,3537	-22,1405	-4,36417	13,69336	0	2500	2500,274	3	3	40	2,1	34,78151	-127,18979	-146,291	46,3	112,6232	-22,1405	-4,48066	13,69336	0	2500	2500,274	3	3	40	2,1	34,78151	-127,18979	-146,291	46,3	112,6232	-22,1405	-4,48066	13,69336	0
	2550	2550,268	3	3	40	1,8	36,54243	-123,27587	-144,138	46,3	110,3537	-22,1405	-4,36417	13,9892	0	2550	2550,268	3	3	40	2,1	34,78151	-127,47989	-146,581	46,3	112,6232	-22,1405	-4,48066	13,9892	0	2550	2550,268	3	3	40	2,1	34,78151	-127,47989	-146,581	46,3	112,6232	-22,1405	-4,48066	13,9892	0
	2600	2600,263	3	3	40	1,8	36,54243	-123,56597	-144,428	46,3	110,3537	-22,1405	-4,36417	14,2793	0	2600	2600,263	3	3	40	2,1	34,78151	-127,76446	-146,866	46,3	112,6232	-22,1405	-4,48066	14,2793	0	2600	2600,263	3	3	40	2,1	34,78151	-127,76446	-146,866	46,3	112,6232	-22,1405	-4,48066	14,2793	0
	2650	2650,258	3	3	40	1,8	36,54243	-123,85054	-144,713	46,3	110,3537	-22,1405	-4,36417	14,56387	0	2650	2650,258	3	3	40	2,1	34,78151	-128,04371	-147,145	46,3	112,6232	-22,1405	-4,48066	14,56387	0	2650	2650,258	3	3	40	2,1	34,78151	-128,04371	-147,145	46,3	112,6232	-22,1405	-4,48066	14,56387	0
	2700	2700,254	3	3	40	1,8	36,54243	-124,12979	-144,992	46,3	110,3537	-22,1405	-4,36417	14,84312	0	2700	2700,254	3	3	40	2,1	34,78151	-128,31785	-147,419	46,3	112,6232	-22,1405	-4,48066	14,84312	0	2700	2700,254	3	3	40	2,1	34,78151	-128,31785	-147,419	46,3	112,6232	-22,1405	-4,48066	14,84312	0
	2750	2750,249	3	3	40	1,8	36,54243	-124,40393	-145,266	46,3	110,3537	-22,1405	-4,36417	15,11726	0	2750	2750,249	3	3	40	2,1	34,78151	-128,58704	-147,689	46,3	112,6232	-22,1405	-4,48066	15,11726	0	2750	2750,249	3	3	40	2,1	34,78151	-128,58704	-147,689	46,3	112,6232	-22,1405	-4,48066	15,11726	0
	2800	2800,244	3	3	40	1,8	36,54243	-124,67312	-145,536	46,3	110,3537	-22,1405	-4,36417	15,38645	0	2800	2800,244	3	3	40	2,1	34,78151	-128,85147	-147,953	46,3	112,6232	-22,1405	-4,48066	15,38645	0	2800	2800,244	3	3	40	2,1	34,78151	-128,85147	-147,953	46,3	112,6232	-22,1405	-4,48066	15,38645	0
	2850	2850,24	3	3	40	1,8	36,54243	-124,93755	-145,8	46,3	110,3537	-22,1405	-4,36417	15,65088	0	2850	2850,24	3	3	40	2,1	34,78151	-129,11588	-148,222	46,3	112,6232	-22,1405	-4,48066	15,65088	0	2850	2850,24	3	3	40	2,1	34,78151	-129,11588	-148,222	46,3	112,6232	-22,1405	-4,48066	15,65088	0

Ekspertyza w zakresie wymagań jakościowych w postępowaniu na pasmo C...

		Technol.: 4G										30 W/layer			
		BW [MHz]= 15					Sigma:					Power:			
		95%-level	PLH_SUB	PL1	PL2	PL3	a(hMOB)	PL4	Cm	PL [dB]					
d2D [m]	d3D [m]	dBP	hUT [m]	hBS	h [m]	fc [GHz]	RAN gain	PL1	PL2	PL3	a(hMOB)	PL4	Cm	PL [dB]	
50	2100	2100,326	3	3	40	2,6	34,78151	-127,27232	46,3	115,7676	-22,1405	-4,64205	11,08876	0	146,3738
	2150	2150,318	3	3	40	2,6	34,78151	-127,62382	46,3	115,7676	-22,1405	-4,64205	11,44026	0	146,7253
	2200	2200,311	3	3	40	2,6	34,78151	-127,96724	46,3	115,7676	-22,1405	-4,64205	11,78368	0	147,0688
	2250	2250,304	3	3	40	2,6	34,78151	-128,30295	46,3	115,7676	-22,1405	-4,64205	12,11939	0	147,4045
	2300	2300,298	3	3	40	2,6	34,78151	-128,63129	46,3	115,7676	-22,1405	-4,64205	12,44772	0	147,7328
	2350	2350,291	3	3	40	2,6	34,78151	-128,95256	46,3	115,7676	-22,1405	-4,64205	12,769	0	148,0541
	2400	2400,285	3	3	40	2,6	34,78151	-129,26708	46,3	115,7676	-22,1405	-4,64205	13,08352	0	148,3686
	2450	2450,279	3	3	40	2,6	34,78151	-129,57511	46,3	115,7676	-22,1405	-4,64205	13,39155	0	148,6766
	2500	2500,274	3	3	40	2,6	34,78151	-129,87692	46,3	115,7676	-22,1405	-4,64205	13,69336	0	148,9784
	2550	2550,268	3	3	40	2,6	34,78151	-130,17276	46,3	115,7676	-22,1405	-4,64205	13,9892	0	149,2743
	2600	2600,263	3	3	40	2,6	34,78151	-130,46286	46,3	115,7676	-22,1405	-4,64205	14,2793	0	149,5644
	2650	2650,258	3	3	40	2,6	34,78151	-130,74743	46,3	115,7676	-22,1405	-4,64205	14,56387	0	149,8489
	2700	2700,254	3	3	40	2,6	34,78151	-131,02668	46,3	115,7676	-22,1405	-4,64205	14,84312	0	150,1282
	2750	2750,249	3	3	40	2,6	34,78151	-131,30082	46,3	115,7676	-22,1405	-4,64205	15,11726	0	150,4023
	2800	2800,244	3	3	40	2,6	34,78151	-131,57001	46,3	115,7676	-22,1405	-4,64205	15,38645	0	150,6715
	2850	2850,24	3	3	40	2,6	34,78151	-131,83444	46,3	115,7676	-22,1405	-4,64205	15,65088	0	150,936

		Technol.: 5G										30 W/layer			
		BW [MHz]= 80					Sigma:					Power:			
		95%-level	PLH_SUB	PL1	PL2	PL3	a(hMOB)	PL4	Cm	PL [dB]					
d2D [m]	d3D [m]	dBP	hUT [m]	hBS	h [m]	fc [GHz]	RAN gain	PL1	PL2	PL3	a(hMOB)	PL4	Cm	PL [dB]	
50	2100	2100,326	3	3	40	3,5	38,52183	-127,68369	46,3	120,1439	-22,1405	-4,86668	11,08876	0	150,5255
	2150	2150,318	3	3	40	3,5	38,52183	-128,03519	46,3	120,1439	-22,1405	-4,86668	11,44026	0	150,877
	2200	2200,311	3	3	40	3,5	38,52183	-128,37862	46,3	120,1439	-22,1405	-4,86668	11,78368	0	151,2204
	2250	2250,304	3	3	40	3,5	38,52183	-128,71432	46,3	120,1439	-22,1405	-4,86668	12,11939	0	151,5561
	2300	2300,298	3	3	40	3,5	38,52183	-129,04266	46,3	120,1439	-22,1405	-4,86668	12,44772	0	151,8845
	2350	2350,291	3	3	40	3,5	38,52183	-129,36393	46,3	120,1439	-22,1405	-4,86668	12,769	0	152,2058
	2400	2400,285	3	3	40	3,5	38,52183	-129,67845	46,3	120,1439	-22,1405	-4,86668	13,08352	0	152,5203
	2450	2450,279	3	3	40	3,5	38,52183	-129,98648	46,3	120,1439	-22,1405	-4,86668	13,39155	0	152,8283
	2500	2500,274	3	3	40	3,5	38,52183	-130,2883	46,3	120,1439	-22,1405	-4,86668	13,69336	0	153,1301
	2550	2550,268	3	3	40	3,5	38,52183	-130,58413	46,3	120,1439	-22,1405	-4,86668	14,2793	0	153,426
	2600	2600,263	3	3	40	3,5	38,52183	-130,87423	46,3	120,1439	-22,1405	-4,86668	14,793	0	153,7161
	2650	2650,258	3	3	40	3,5	38,52183	-131,1588	46,3	120,1439	-22,1405	-4,86668	15,11726	0	154,0006
	2700	2700,254	3	3	40	3,5	38,52183	-131,43806	46,3	120,1439	-22,1405	-4,86668	15,6387	0	154,2799
	2750	2750,249	3	3	40	3,5	38,52183	-131,71219	46,3	120,1439	-22,1405	-4,86668	16,1726	0	154,554
	2800	2800,244	3	3	40	3,5	38,52183	-131,98138	46,3	120,1439	-22,1405	-4,86668	16,70645	0	154,8232
	2850	2850,24	3	3	40	3,5	38,52183	-132,24582	46,3	120,1439	-22,1405	-4,86668	17,24088	0	155,0876

Eksperyta w zakresie wymagań jakościowych w postępowaniu na pasmo C...

$$PL=46.3 + 33.9 \log f[\text{MHz}] - 13.82 \log h\text{Base}/m - a(h\text{Mobile}) + (44.9 - 6.55 \log h\text{Base}/m) \log d/\text{km} + C_m$$

$$a(h\text{Mobile}) = (3.2 \times (\log(11.75 \times h\text{Mobile}/m))^2 - 4.97$$

URBAN

Pi		3,141592		dBm		Technol.: 4G		122		95%-level		BW [MHz]=		10		Sigma:		6		Power:		30 W/layer	
d2D [m]	d3D [m]	dBP	hUT [m]	hBS	fc [GHz]	RAN gain	h [m]	fc [GHz]	RAN gain	95%-level	PLH_URB	PL1	PL2	PL3	PL4	a(hMOB)	PL4	Cm	PL [dB]				
50	1900	1900,36	3	40	0,8	33,54243	-110,6958	-132,478	46,3	98,41475	-22,1405	-2,68984	9,59377	3	132,4782								
	1950	1950,351	3	40	0,8	33,54243	-111,0838	-132,866	46,3	98,41475	-22,1405	-2,68984	9,981767	3	132,8662								
	2000	2000,342	3	40	0,8	33,54243	-111,462	-133,244	46,3	98,41475	-22,1405	-2,68984	10,35995	3	133,2444								
	2050	2050,334	3	40	0,8	33,54243	-111,8308	-133,613	46,3	98,41475	-22,1405	-2,68984	10,72879	3	133,6132								
	2100	2100,326	3	40	0,8	33,54243	-112,1908	-133,973	46,3	98,41475	-22,1405	-2,68984	11,08876	3	133,9732								
	2150	2150,318	3	40	0,8	33,54243	-112,5423	-134,325	46,3	98,41475	-22,1405	-2,68984	11,44026	3	134,3247								
	2200	2200,311	3	40	0,8	33,54243	-112,8857	-134,668	46,3	98,41475	-22,1405	-2,68984	11,78368	3	134,6681								
	2250	2250,304	3	40	0,8	33,54243	-113,2214	-135,004	46,3	98,41475	-22,1405	-2,68984	12,11939	3	135,0038								
	2300	2300,298	3	40	0,8	33,54243	-113,5497	-135,332	46,3	98,41475	-22,1405	-2,68984	12,44772	3	135,3322								
	2350	2350,291	3	40	0,8	33,54243	-113,871	-135,653	46,3	98,41475	-22,1405	-2,68984	12,769	3	135,6534								
	2400	2400,285	3	40	0,8	33,54243	-114,1855	-135,968	46,3	98,41475	-22,1405	-2,68984	13,08352	3	135,968								
	2450	2450,279	3	40	0,8	33,54243	-114,4936	-136,276	46,3	98,41475	-22,1405	-2,68984	13,39155	3	136,276								
	2500	2500,274	3	40	0,8	33,54243	-114,7954	-136,578	46,3	98,41475	-22,1405	-2,68984	13,69336	3	136,5778								
	2550	2550,268	3	40	0,8	33,54243	-115,0912	-136,874	46,3	98,41475	-22,1405	-2,68984	13,9892	3	136,8736								
	2600	2600,263	3	40	0,8	33,54243	-115,3813	-137,164	46,3	98,41475	-22,1405	-2,68984	14,2793	3	137,1637								
	2650	2650,258	3	40	0,8	33,54243	-115,6659	-137,448	46,3	98,41475	-22,1405	-2,68984	14,56387	3	137,4483								

Technol.: 4G		dBm		Technol.: 4G		122		95%-level		BW [MHz]=		10		Sigma:		6		Power:		30 W/layer	
d2D [m]	d3D [m]	dBP	hUT [m]	hBS	fc [GHz]	RAN gain	h [m]	fc [GHz]	RAN gain	95%-level	PLH_URB	PL1	PL2	PL3	PL4	a(hMOB)	PL4	Cm	PL [dB]		
50	1900	1900,36	3	40	1,8	36,54243	-119,6348	-144,417	46,3	110,3537	-22,1405	-2,68984	9,59377	3	144,4172						
	1950	1950,351	3	40	1,8	36,54243	-120,0228	-144,805	46,3	110,3537	-22,1405	-2,68984	9,981767	3	144,8052						
	2000	2000,342	3	40	1,8	36,54243	-120,4009	-145,183	46,3	110,3537	-22,1405	-2,68984	10,35995	3	145,1834						
	2050	2050,334	3	40	1,8	36,54243	-120,7698	-145,552	46,3	110,3537	-22,1405	-2,68984	10,72879	3	145,5522						
	2100	2100,326	3	40	1,8	36,54243	-121,1298	-145,912	46,3	110,3537	-22,1405	-2,68984	11,08876	3	145,9122						
	2150	2150,318	3	40	1,8	36,54243	-121,4813	-146,264	46,3	110,3537	-22,1405	-2,68984	11,44026	3	146,2637						
	2200	2200,311	3	40	1,8	36,54243	-121,8247	-146,607	46,3	110,3537	-22,1405	-2,68984	11,78368	3	146,6071						
	2250	2250,304	3	40	1,8	36,54243	-122,1604	-146,943	46,3	110,3537	-22,1405	-2,68984	12,11939	3	146,9428						
	2300	2300,298	3	40	1,8	36,54243	-122,4887	-147,271	46,3	110,3537	-22,1405	-2,68984	12,44772	3	147,2711						
	2350	2350,291	3	40	1,8	36,54243	-122,81	-147,592	46,3	110,3537	-22,1405	-2,68984	12,769	3	147,5924						
	2400	2400,285	3	40	1,8	36,54243	-123,1245	-147,907	46,3	110,3537	-22,1405	-2,68984	13,08352	3	147,9069						
	2450	2450,279	3	40	1,8	36,54243	-123,4325	-148,215	46,3	110,3537	-22,1405	-2,68984	13,39155	3	148,215						
	2500	2500,274	3	40	1,8	36,54243	-123,7344	-148,517	46,3	110,3537	-22,1405	-2,68984	13,69336	3	148,5168						
	2550	2550,268	3	40	1,8	36,54243	-124,0302	-148,813	46,3	110,3537	-22,1405	-2,68984	13,9892	3	148,8126						
	2600	2600,263	3	40	1,8	36,54243	-124,3203	-149,103	46,3	110,3537	-22,1405	-2,68984	14,2793	3	149,1027						
	2650	2650,258	3	40	1,8	36,54243	-124,6049	-149,387	46,3	110,3537	-22,1405	-2,68984	14,56387	3	149,3873						

Ekspertyza w zakresie wymagań jakościowych w postępowaniu na pasmo C...

		Technol.: 4G										Sigma: 6										Power:	
		BW [MHz]=					95%-level					PL3					a(hMOB)					Cm	
d2D [m]	d3D [m]	dB	hUT [m]	hBS	fc [GHz]	RAN gain	95%-level	PLH_URB	PL1	PL2	PL3	PL3	PL3	PL4	PL4	PL [dB]	30 W/layer						
50	1900	1900,36	3	40	2,1	34,78151	-123,6652	-146,687	46,3	112,6232	-22,1405	-2,68984	9,59377	3	146,6867								
	1950	1950,351	3	40	2,1	34,78151	-124,0532	-147,075	46,3	112,6232	-22,1405	-2,68984	9,981767	3	147,0747								
	2000	2000,342	3	40	2,1	34,78151	-124,4314	-147,453	46,3	112,6232	-22,1405	-2,68984	10,35995	3	147,4529								
	2050	2050,334	3	40	2,1	34,78151	-124,8002	-147,822	46,3	112,6232	-22,1405	-2,68984	10,72879	3	147,8217								
	2100	2100,326	3	40	2,1	34,78151	-125,1602	-148,182	46,3	112,6232	-22,1405	-2,68984	11,08876	3	148,1817								
	2150	2150,318	3	40	2,1	34,78151	-125,5117	-148,533	46,3	112,6232	-22,1405	-2,68984	11,44026	3	148,5332								
	2200	2200,311	3	40	2,1	34,78151	-125,8551	-148,877	46,3	112,6232	-22,1405	-2,68984	11,78368	3	148,8766								
	2250	2250,304	3	40	2,1	34,78151	-126,1908	-149,212	46,3	112,6232	-22,1405	-2,68984	12,11939	3	149,2123								
	2300	2300,298	3	40	2,1	34,78151	-126,5191	-149,541	46,3	112,6232	-22,1405	-2,68984	12,44772	3	149,5406								
	2350	2350,291	3	40	2,1	34,78151	-126,8404	-149,862	46,3	112,6232	-22,1405	-2,68984	12,769	3	149,8619								
	2400	2400,285	3	40	2,1	34,78151	-127,1549	-150,176	46,3	112,6232	-22,1405	-2,68984	13,08352	3	150,1764								
	2450	2450,279	3	40	2,1	34,78151	-127,463	-150,484	46,3	112,6232	-22,1405	-2,68984	13,39155	3	150,4845								
	2500	2500,274	3	40	2,1	34,78151	-127,7648	-150,786	46,3	112,6232	-22,1405	-2,68984	13,69336	3	150,7863								
	2550	2550,268	3	40	2,1	34,78151	-128,0606	-151,082	46,3	112,6232	-22,1405	-2,68984	13,9892	3	151,0821								
	2600	2600,263	3	40	2,1	34,78151	-128,3507	-151,372	46,3	112,6232	-22,1405	-2,68984	14,2793	3	151,3722								
	2650	2650,258	3	40	2,1	34,78151	-128,6353	-151,657	46,3	112,6232	-22,1405	-2,68984	14,56387	3	151,6568								
		Technol.: 4G										Sigma: 6										Power:	
		BW [MHz]=					95%-level					PL3					a(hMOB)					Cm	
d2D [m]	d3D [m]	dB <td>hUT [m]</td> <td>hBS</td> <td>fc [GHz]</td> <td>RAN gain</td> <td>95%-level</td> <td>PLH_URB</td> <td>PL1</td> <td>PL2</td> <td>PL3</td> <td>PL3</td> <td>PL3</td> <td>PL4</td> <td>PL4</td> <td>PL [dB]</td> <td>30 W/layer</td>	hUT [m]	hBS	fc [GHz]	RAN gain	95%-level	PLH_URB	PL1	PL2	PL3	PL3	PL3	PL4	PL4	PL [dB]	30 W/layer						
50	1900	1900,36	3	40	2,6	34,78151	-126,8095	-149,831	46,3	115,7676	-22,1405	-2,68984	9,59377	3	149,8311								
	1950	1950,351	3	40	2,6	34,78151	-127,1975	-150,219	46,3	115,7676	-22,1405	-2,68984	9,981767	3	150,2191								
	2000	2000,342	3	40	2,6	34,78151	-127,5757	-150,597	46,3	115,7676	-22,1405	-2,68984	10,35995	3	150,5972								
	2050	2050,334	3	40	2,6	34,78151	-127,9446	-150,966	46,3	115,7676	-22,1405	-2,68984	10,72879	3	150,9661								
	2100	2100,326	3	40	2,6	34,78151	-128,3045	-151,326	46,3	115,7676	-22,1405	-2,68984	11,08876	3	151,326								
	2150	2150,318	3	40	2,6	34,78151	-128,656	-151,678	46,3	115,7676	-22,1405	-2,68984	11,44026	3	151,6775								
	2200	2200,311	3	40	2,6	34,78151	-128,9995	-152,021	46,3	115,7676	-22,1405	-2,68984	11,78368	3	152,021								
	2250	2250,304	3	40	2,6	34,78151	-129,3352	-152,357	46,3	115,7676	-22,1405	-2,68984	12,11939	3	152,3567								
	2300	2300,298	3	40	2,6	34,78151	-129,6635	-152,685	46,3	115,7676	-22,1405	-2,68984	12,44772	3	152,685								
	2350	2350,291	3	40	2,6	34,78151	-129,9848	-153,006	46,3	115,7676	-22,1405	-2,68984	12,769	3	153,0063								
	2400	2400,285	3	40	2,6	34,78151	-130,2993	-153,321	46,3	115,7676	-22,1405	-2,68984	13,08352	3	153,3208								
	2450	2450,279	3	40	2,6	34,78151	-130,6073	-153,629	46,3	115,7676	-22,1405	-2,68984	13,39155	3	153,6288								
	2500	2500,274	3	40	2,6	34,78151	-130,9091	-153,931	46,3	115,7676	-22,1405	-2,68984	13,69336	3	153,9306								
	2550	2550,268	3	40	2,6	34,78151	-131,205	-154,226	46,3	115,7676	-22,1405	-2,68984	13,9892	3	154,2265								
	2600	2600,263	3	40	2,6	34,78151	-131,4951	-154,517	46,3	115,7676	-22,1405	-2,68984	14,2793	3	154,5166								
	2650	2650,258	3	40	2,6	34,78151	-131,7796	-154,801	46,3	115,7676	-22,1405	-2,68984	14,56387	3	154,8012								

Ekspertyza w zakresie wymagań jakościowych w postępowaniu na pasmo C...

d2D [m]		d3D [m]	dBP	hUT [m]	hBS	Technol.: 5G		BW [MHz]=		80	Sigma:		6	PL4	Cm	Power:	30 W/layer
						h [m]	fc [GHz]	RAN gain	95%-level	PLH_URB	PL1	PL2	PL3	a(hMOB)			PL [dB]
50	1900	1900,36		3	40	40	3,64	38,52183	-128,023	-154,785	46,3	120,7213	-22,1405	-2,68984	9,59377	3	154,7848
	1950	1950,351		3	40	40	3,64	38,52183	-128,411	-155,173	46,3	120,7213	-22,1405	-2,68984	9,981767	3	155,1728
	2000	2000,342		3	40	40	3,64	38,52183	-128,7891	-155,551	46,3	120,7213	-22,1405	-2,68984	10,35995	3	155,551
	2050	2050,334		3	40	40	3,64	38,52183	-129,158	-155,92	46,3	120,7213	-22,1405	-2,68984	10,72879	3	155,9198
	2100	2100,326		3	40	40	3,64	38,52183	-129,518	-156,28	46,3	120,7213	-22,1405	-2,68984	11,08876	3	156,2798
	2150	2150,318		3	40	40	3,64	38,52183	-129,8695	-156,631	46,3	120,7213	-22,1405	-2,68984	11,44026	3	156,6313
	2200	2200,311		3	40	40	3,64	38,52183	-130,2129	-156,975	46,3	120,7213	-22,1405	-2,68984	11,78368	3	156,9747
	2250	2250,304		3	40	40	3,64	38,52183	-130,5486	-157,31	46,3	120,7213	-22,1405	-2,68984	12,11939	3	157,3104
	2300	2300,298		3	40	40	3,64	38,52183	-130,8769	-157,639	46,3	120,7213	-22,1405	-2,68984	12,44772	3	157,6387
	2350	2350,291		3	40	40	3,64	38,52183	-131,1982	-157,96	46,3	120,7213	-22,1405	-2,68984	12,769	3	157,96
	2400	2400,285		3	40	40	3,64	38,52183	-131,5127	-158,275	46,3	120,7213	-22,1405	-2,68984	13,08352	3	158,2745
	2450	2450,279		3	40	40	3,64	38,52183	-131,8207	-158,583	46,3	120,7213	-22,1405	-2,68984	13,39155	3	158,5826
	2500	2500,274		3	40	40	3,64	38,52183	-132,1226	-158,884	46,3	120,7213	-22,1405	-2,68984	13,69336	3	158,8844
	2550	2550,268		3	40	40	3,64	38,52183	-132,4184	-159,18	46,3	120,7213	-22,1405	-2,68984	13,9892	3	159,1802
	2600	2600,263		3	40	40	3,64	38,52183	-132,7085	-159,47	46,3	120,7213	-22,1405	-2,68984	14,2793	3	159,4703
	2650	2650,258		3	40	40	3,64	38,52183	-132,9931	-159,755	46,3	120,7213	-22,1405	-2,68984	14,56387	3	159,7549

Aneks 2.2. MNO2

Ekspertyza w zakresie wymagań jakościowych w postępowaniu na pasmo C...

$$PL=46.3 + 33.9 \log f[\text{MHz}] - 13.82 \log h\text{Base/m} - a(h\text{Mobile}) + (44.9 - 6.55 \log h\text{Base/m}) \log d/\text{km} + C_m$$

$$a(h\text{Mobile}) = (1.1 \times \log_{10} f[\text{MHz}] - 0.7) h\text{Mobile/m} - (1.56 \times \log f[\text{MHz}] - 0.8)$$

RURAL + SUBURBAN		3,141592		dBm		122		5		8		Power:		30 W/layer		
Pi	d2D [m]	d3D [m]	dBp	hUT [m]	hBS	Technol.: 4G	fc [GHz]	RAN gain	95%-level	PLH SUB	PL1	Sigma:	PL2	PL3	PL4	PL [dB]
						h [m]										
50	1900	1900,36		3	3	40	0,8	36,55273	-107,54395	-128,417	46,3	98,41475	-22,1405	-3,75138	9,59377	0 128,4167
	1950	1950,351		3	3	40	0,8	36,55273	-107,93195	-128,805	46,3	98,41475	-22,1405	-3,75138	9,981767	0 128,8047
	2000	2000,342		3	3	40	0,8	36,55273	-108,31013	-129,183	46,3	98,41475	-22,1405	-3,75138	10,35995	0 129,1829
	2050	2050,334		3	3	40	0,8	36,55273	-108,67897	-129,552	46,3	98,41475	-22,1405	-3,75138	10,72879	0 129,5517
	2100	2100,326		3	3	40	0,8	36,55273	-109,03894	-129,912	46,3	98,41475	-22,1405	-3,75138	11,08876	0 129,9117
	2150	2150,318		3	3	40	0,8	36,55273	-109,39044	-130,263	46,3	98,41475	-22,1405	-3,75138	11,44026	0 130,2632
	2200	2200,311		3	3	40	0,8	36,55273	-109,73386	-130,607	46,3	98,41475	-22,1405	-3,75138	11,78368	0 130,6066
	2250	2250,304		3	3	40	0,8	36,55273	-110,06957	-130,942	46,3	98,41475	-22,1405	-3,75138	12,11939	0 130,9423
	2300	2300,298		3	3	40	0,8	36,55273	-110,3979	-131,271	46,3	98,41475	-22,1405	-3,75138	12,44772	0 131,2706
	2350	2350,291		3	3	40	0,8	36,55273	-110,71918	-131,592	46,3	98,41475	-22,1405	-3,75138	12,769	0 131,5919
	2400	2400,285		3	3	40	0,8	36,55273	-111,0337	-131,906	46,3	98,41475	-22,1405	-3,75138	13,08352	0 131,9064
	2450	2450,279		3	3	40	0,8	36,55273	-111,34173	-132,214	46,3	98,41475	-22,1405	-3,75138	13,39155	0 132,2145
	2500	2500,274		3	3	40	0,8	36,55273	-111,64354	-132,516	46,3	98,41475	-22,1405	-3,75138	13,69336	0 132,5163
	2550	2550,268		3	3	40	0,8	36,55273	-111,93938	-132,812	46,3	98,41475	-22,1405	-3,75138	13,9892	0 132,8121
	2600	2600,263		3	3	40	0,8	36,55273	-112,22948	-133,102	46,3	98,41475	-22,1405	-3,75138	14,2793	0 133,1022
	2650	2650,258		3	3	40	0,8	36,55273	-112,51405	-133,387	46,3	98,41475	-22,1405	-3,75138	14,56387	0 133,3868

Ekspertyza w zakresie wymagań jakościowych w postępowaniu na pasmo C...

		Technol.: 4G										Technol.: 4G																			
		BW [MHz]= 15					Sigma: 8					30 W/layer					BW [MHz]= 15					Sigma: 8					30 W/layer				
d2D [m]	d3D [m]	dBp	hUT [m]	hBS	fc [GHz]	RAN gain	95%-level	PLH_SUB	PLI	PL2	PL3	a(hMOB)	PL4	Cm	PL [dB]	d2D [m]	d3D [m]	dBp	hUT [m]	hBS	fc [GHz]	RAN gain	95%-level	PLH_SUB	PLI	PL2	PL3	a(hMOB)	PL4	Cm	PL [dB]
50	1900	1900,36	3	3	40	1,8 34,78151	-120,64135	-139,743	46,3	110,3537	-22,1405	-4,36417	9,59377	0	139,7429	50	1900	1900,36	3	3	40	1,8 34,78151	-122,79436	-141,896	46,3	112,6232	-22,1405	-4,48066	9,59377	0	141,8959
	1950	1950,351	3	3	40	1,8 34,78151	-121,02935	-140,131	46,3	110,3537	-22,1405	-4,36417	9,981767	0	140,1309		1950	1950,351	3	3	40	1,8 34,78151	-123,18236	-142,284	46,3	112,6232	-22,1405	-4,48066	9,981767	0	142,2839
	2000	2000,342	3	3	40	1,8 34,78151	-121,40753	-140,509	46,3	110,3537	-22,1405	-4,36417	10,35995	0	140,509		2000	2000,342	3	3	40	1,8 34,78151	-123,56054	-142,662	46,3	112,6232	-22,1405	-4,48066	10,35995	0	142,6621
	2050	2050,334	3	3	40	1,8 34,78151	-121,77638	-140,878	46,3	110,3537	-22,1405	-4,36417	10,72879	0	140,8779		2050	2050,334	3	3	40	1,8 34,78151	-123,92939	-143,031	46,3	112,6232	-22,1405	-4,48066	10,72879	0	143,0309
	2100	2100,326	3	3	40	1,8 34,78151	-122,13634	-141,238	46,3	110,3537	-22,1405	-4,36417	11,08876	0	141,2379		2100	2100,326	3	3	40	1,8 34,78151	-124,28935	-143,391	46,3	112,6232	-22,1405	-4,48066	11,08876	0	143,3909
	2150	2150,318	3	3	40	1,8 34,78151	-122,48784	-141,589	46,3	110,3537	-22,1405	-4,36417	11,44026	0	141,5894		2150	2150,318	3	3	40	1,8 34,78151	-124,64085	-143,742	46,3	112,6232	-22,1405	-4,48066	11,44026	0	143,7424
	2200	2200,311	3	3	40	1,8 34,78151	-122,83126	-141,933	46,3	110,3537	-22,1405	-4,36417	11,78368	0	141,9328		2200	2200,311	3	3	40	1,8 34,78151	-124,98427	-144,086	46,3	112,6232	-22,1405	-4,48066	11,78368	0	144,0858
	2250	2250,304	3	3	40	1,8 34,78151	-123,16697	-142,268	46,3	110,3537	-22,1405	-4,36417	12,11939	0	142,2685		2250	2250,304	3	3	40	1,8 34,78151	-125,31998	-144,421	46,3	112,6232	-22,1405	-4,48066	12,11939	0	144,4215
	2300	2300,298	3	3	40	1,8 34,78151	-123,49531	-142,597	46,3	110,3537	-22,1405	-4,36417	12,44772	0	142,5968		2300	2300,298	3	3	40	1,8 34,78151	-125,64832	-144,75	46,3	112,6232	-22,1405	-4,48066	12,44772	0	144,7498
	2350	2350,291	3	3	40	1,8 34,78151	-123,81658	-142,918	46,3	110,3537	-22,1405	-4,36417	12,769	0	142,9181		2350	2350,291	3	3	40	1,8 34,78151	-125,96959	-145,071	46,3	112,6232	-22,1405	-4,48066	12,769	0	145,0711
	2400	2400,285	3	3	40	1,8 34,78151	-124,1311	-143,233	46,3	110,3537	-22,1405	-4,36417	13,08352	0	143,2326		2400	2400,285	3	3	40	1,8 34,78151	-126,28411	-145,386	46,3	112,6232	-22,1405	-4,48066	13,08352	0	145,3856
	2450	2450,279	3	3	40	1,8 34,78151	-124,43913	-143,541	46,3	110,3537	-22,1405	-4,36417	13,39155	0	143,5406		2450	2450,279	3	3	40	1,8 34,78151	-126,59214	-145,694	46,3	112,6232	-22,1405	-4,48066	13,39155	0	145,6937
	2500	2500,274	3	3	40	1,8 34,78151	-124,74094	-143,842	46,3	110,3537	-22,1405	-4,36417	13,69336	0	143,8425		2500	2500,274	3	3	40	1,8 34,78151	-126,89395	-145,995	46,3	112,6232	-22,1405	-4,48066	13,69336	0	145,9955
	2550	2550,268	3	3	40	1,8 34,78151	-125,03678	-144,138	46,3	110,3537	-22,1405	-4,36417	13,9892	0	144,1383		2550	2550,268	3	3	40	1,8 34,78151	-127,18979	-146,291	46,3	112,6232	-22,1405	-4,48066	13,9892	0	146,2913
	2600	2600,263	3	3	40	1,8 34,78151	-125,32688	-144,428	46,3	110,3537	-22,1405	-4,36417	14,2793	0	144,4284		2600	2600,263	3	3	40	1,8 34,78151	-127,47989	-146,581	46,3	112,6232	-22,1405	-4,48066	14,2793	0	146,5814
	2650	2650,258	3	3	40	1,8 34,78151	-125,61145	-144,713	46,3	110,3537	-22,1405	-4,36417	14,56387	0	144,713		2650	2650,258	3	3	40	1,8 34,78151	-127,76446	-146,866	46,3	112,6232	-22,1405	-4,48066	14,56387	0	146,866

Ekspertyza w zakresie wymagań jakościowych w postępowaniu na pasmo C...

		Technol.: 4G										Technol.: 5G																			
		BW [MHz]= 20					Sigma: 8					30 W/layer					BW [MHz]= 100					Sigma: 8					30 W/layer				
d2D [m]	d3D [m]	dBp	hUT [m]	hBS	h [m]	fc [GHz]	RAN gain	PLH_SUB	PLI	PL2	PL3	a(hMOB)	PL4	Cm	PL [dB]	d2D [m]	d3D [m]	dBp	hUT [m]	hBS	h [m]	fc [GHz]	RAN gain	PLH_SUB	PLI	PL2	PL3	a(hMOB)	PL4	Cm	PL [dB]
50	1900	1900,36	3	3	40	2,6	33,53213	-127,02672	-144,879	46,3	115,7676	-22,1405	-4,64205	9,59377	0	1900	1900,36	3	3	40	3,5	37,55273	-127,1578	-149,031	46,3	120,1439	-22,1405	-4,86668	9,59377	0	149,0305
	1950	1950,351	3	3	40	2,6	33,53213	-127,41472	-145,267	46,3	115,7676	-22,1405	-4,64205	9,981767	0	1950	1950,351	3	3	40	3,5	37,55273	-127,5458	-149,419	46,3	120,1439	-22,1405	-4,86668	9,981767	0	149,4185
	2000	2000,342	3	3	40	2,6	33,53213	-127,7929	-145,645	46,3	115,7676	-22,1405	-4,64205	10,35995	0	2000	2000,342	3	3	40	3,5	37,55273	-127,92398	-149,797	46,3	120,1439	-22,1405	-4,86668	10,35995	0	149,7967
	2050	2050,334	3	3	40	2,6	33,53213	-128,16174	-146,014	46,3	115,7676	-22,1405	-4,64205	10,72879	0	2050	2050,334	3	3	40	3,5	37,55273	-128,29283	-150,166	46,3	120,1439	-22,1405	-4,86668	10,72879	0	150,1656
	2100	2100,326	3	3	40	2,6	33,53213	-128,52171	-146,374	46,3	115,7676	-22,1405	-4,64205	11,08876	0	2100	2100,326	3	3	40	3,5	37,55273	-128,65279	-150,526	46,3	120,1439	-22,1405	-4,86668	11,08876	0	150,5255
	2150	2150,318	3	3	40	2,6	33,53213	-128,87321	-146,725	46,3	115,7676	-22,1405	-4,64205	11,44026	0	2150	2150,318	3	3	40	3,5	37,55273	-129,00429	-150,877	46,3	120,1439	-22,1405	-4,86668	11,44026	0	150,877
	2200	2200,311	3	3	40	2,6	33,53213	-129,21663	-147,069	46,3	115,7676	-22,1405	-4,64205	11,78368	0	2200	2200,311	3	3	40	3,5	37,55273	-129,34772	-151,22	46,3	120,1439	-22,1405	-4,86668	11,78368	0	151,2204
	2250	2250,304	3	3	40	2,6	33,53213	-129,55234	-147,404	46,3	115,7676	-22,1405	-4,64205	12,11939	0	2250	2250,304	3	3	40	3,5	37,55273	-129,68342	-151,556	46,3	120,1439	-22,1405	-4,86668	12,11939	0	151,5561
	2300	2300,298	3	3	40	2,6	33,53213	-129,88067	-147,733	46,3	115,7676	-22,1405	-4,64205	12,44772	0	2300	2300,298	3	3	40	3,5	37,55273	-130,01176	-151,884	46,3	120,1439	-22,1405	-4,86668	12,44772	0	151,8845
	2350	2350,291	3	3	40	2,6	33,53213	-130,20195	-148,054	46,3	115,7676	-22,1405	-4,64205	12,769	0	2350	2350,291	3	3	40	3,5	37,55273	-130,33304	-152,206	46,3	120,1439	-22,1405	-4,86668	12,769	0	152,2058
	2400	2400,285	3	3	40	2,6	33,53213	-130,51646	-148,369	46,3	115,7676	-22,1405	-4,64205	13,08352	0	2400	2400,285	3	3	40	3,5	37,55273	-130,64755	-152,52	46,3	120,1439	-22,1405	-4,86668	13,08352	0	152,5203
	2450	2450,279	3	3	40	2,6	33,53213	-130,8245	-148,677	46,3	115,7676	-22,1405	-4,64205	13,39155	0	2450	2450,279	3	3	40	3,5	37,55273	-130,95558	-152,828	46,3	120,1439	-22,1405	-4,86668	13,39155	0	152,8283
	2500	2500,274	3	3	40	2,6	33,53213	-131,12631	-148,978	46,3	115,7676	-22,1405	-4,64205	13,69336	0	2500	2500,274	3	3	40	3,5	37,55273	-131,2574	-153,13	46,3	120,1439	-22,1405	-4,86668	13,69336	0	153,1301
	2550	2550,268	3	3	40	2,6	33,53213	-131,42215	-149,274	46,3	115,7676	-22,1405	-4,64205	13,9892	0	2550	2550,268	3	3	40	3,5	37,55273	-131,55323	-153,426	46,3	120,1439	-22,1405	-4,86668	13,9892	0	153,426
	2600	2600,263	3	3	40	2,6	33,53213	-131,71224	-149,564	46,3	115,7676	-22,1405	-4,64205	14,2793	0	2600	2600,263	3	3	40	3,5	37,55273	-131,84333	-153,716	46,3	120,1439	-22,1405	-4,86668	14,2793	0	153,7161
	2650	2650,258	3	3	40	2,6	33,53213	-131,99682	-149,849	46,3	115,7676	-22,1405	-4,64205	14,56387	0	2650	2650,258	3	3	40	3,5	37,55273	-132,1279	-154,001	46,3	120,1439	-22,1405	-4,86668	14,56387	0	154,0006

Ekspertyza w zakresie wymagań jakościowych w postępowaniu na pasmo C...

$$PL=46.3 + 33.9 \log f[\text{MHz}] - 13.82 \log h\text{Base}/m - a(h\text{Mobile}) + (44.9 - 6.55 \log h\text{Base}/m) \log d/\text{km} + C_m$$

$$a(h\text{Mobile}) = (3.2 \times (\log(11.75 \times h\text{Mobile}/m))^2 - 4.97$$

URBAN		Pi		3,141592		dBm		122		Technol.: 4G		5		Sigma:		6		Power:		30 W/layer	
d2D [m]	d3D [m]	dBp	hUT [m]	hBS	fc [GHz]	RAN gain	95%-level	PLH_URB	PL1	PL2	PL3	PL4	PL4	Cm	PL [dB]	PL [dB]					
50	1700	1700,403	3	40	0,8	36,55273	-106,0242	-130,817	46,3	98,41475	-22,1405	-2,68984	7,932481	3	130,8169						
	1750	1750,391	3	40	0,8	36,55273	-106,4571	-131,25	46,3	98,41475	-22,1405	-2,68984	8,365429	3	131,2499						
	1800	1800,38	3	40	0,8	36,55273	-106,8779	-131,671	46,3	98,41475	-22,1405	-2,68984	8,786191	3	131,6706						
	1850	1850,37	3	40	0,8	36,55273	-107,2871	-132,08	46,3	98,41475	-22,1405	-2,68984	9,195434	3	132,0799						
	1900	1900,36	3	40	0,8	36,55273	-107,6855	-132,478	46,3	98,41475	-22,1405	-2,68984	9,59377	3	132,4782						
	1950	1950,351	3	40	0,8	36,55273	-108,0735	-132,866	46,3	98,41475	-22,1405	-2,68984	9,981767	3	132,8662						
	2000	2000,342	3	40	0,8	36,55273	-108,4517	-133,244	46,3	98,41475	-22,1405	-2,68984	10,35995	3	133,2444						
	2050	2050,334	3	40	0,8	36,55273	-108,8205	-133,613	46,3	98,41475	-22,1405	-2,68984	10,72879	3	133,6132						
	2100	2100,326	3	40	0,8	36,55273	-109,1805	-133,973	46,3	98,41475	-22,1405	-2,68984	11,08876	3	133,9732						
	2150	2150,318	3	40	0,8	36,55273	-109,532	-134,325	46,3	98,41475	-22,1405	-2,68984	11,44026	3	134,3247						
	2200	2200,311	3	40	0,8	36,55273	-109,8754	-134,668	46,3	98,41475	-22,1405	-2,68984	11,78368	3	134,6681						
	2250	2250,304	3	40	0,8	36,55273	-110,2111	-135,004	46,3	98,41475	-22,1405	-2,68984	12,11939	3	135,0038						
	2300	2300,298	3	40	0,8	36,55273	-110,5394	-135,332	46,3	98,41475	-22,1405	-2,68984	12,44772	3	135,3322						
	2350	2350,291	3	40	0,8	36,55273	-110,8607	-135,653	46,3	98,41475	-22,1405	-2,68984	12,769	3	135,6534						
	2400	2400,285	3	40	0,8	36,55273	-111,1752	-135,968	46,3	98,41475	-22,1405	-2,68984	13,08352	3	135,968						
	2450	2450,279	3	40	0,8	36,55273	-111,4833	-136,276	46,3	98,41475	-22,1405	-2,68984	13,39155	3	136,276						

URBAN		Pi		3,141592		dBm		122		Technol.: 4G		15		Sigma:		6		Power:		30 W/layer	
d2D [m]	d3D [m]	dBp	hUT [m]	hBS	fc [GHz]	RAN gain	95%-level	PLH_URB	PL1	PL2	PL3	PL4	PL4	Cm	PL [dB]	PL [dB]					
50	1700	1700,403	3	40	1,8	34,78151	-119,7344	-142,756	46,3	110,3537	-22,1405	-2,68984	7,932481	3	142,7559						
	1750	1750,391	3	40	1,8	34,78151	-120,1673	-143,189	46,3	110,3537	-22,1405	-2,68984	8,365429	3	143,1889						
	1800	1800,38	3	40	1,8	34,78151	-120,5881	-143,61	46,3	110,3537	-22,1405	-2,68984	8,786191	3	143,6096						
	1850	1850,37	3	40	1,8	34,78151	-120,9973	-144,019	46,3	110,3537	-22,1405	-2,68984	9,195434	3	144,0189						
	1900	1900,36	3	40	1,8	34,78151	-121,3957	-144,417	46,3	110,3537	-22,1405	-2,68984	9,59377	3	144,4172						
	1950	1950,351	3	40	1,8	34,78151	-121,7837	-144,805	46,3	110,3537	-22,1405	-2,68984	9,981767	3	144,8052						
	2000	2000,342	3	40	1,8	34,78151	-122,1619	-145,183	46,3	110,3537	-22,1405	-2,68984	10,35995	3	145,1834						
	2050	2050,334	3	40	1,8	34,78151	-122,5307	-145,552	46,3	110,3537	-22,1405	-2,68984	10,72879	3	145,5522						
	2100	2100,326	3	40	1,8	34,78151	-122,8907	-145,912	46,3	110,3537	-22,1405	-2,68984	11,08876	3	145,9122						
	2150	2150,318	3	40	1,8	34,78151	-123,2422	-146,264	46,3	110,3537	-22,1405	-2,68984	11,44026	3	146,2637						
	2200	2200,311	3	40	1,8	34,78151	-123,5856	-146,607	46,3	110,3537	-22,1405	-2,68984	11,78368	3	146,6071						
	2250	2250,304	3	40	1,8	34,78151	-123,9213	-146,943	46,3	110,3537	-22,1405	-2,68984	12,11939	3	146,9428						
	2300	2300,298	3	40	1,8	34,78151	-124,2496	-147,271	46,3	110,3537	-22,1405	-2,68984	12,44772	3	147,2711						
	2350	2350,291	3	40	1,8	34,78151	-124,5709	-147,592	46,3	110,3537	-22,1405	-2,68984	12,769	3	147,5924						
	2400	2400,285	3	40	1,8	34,78151	-124,8854	-147,907	46,3	110,3537	-22,1405	-2,68984	13,08352	3	147,9069						
	2450	2450,279	3	40	1,8	34,78151	-125,1935	-148,215	46,3	110,3537	-22,1405	-2,68984	13,39155	3	148,215						

Ekspertyza w zakresie wymagań jakościowych w postępowaniu na pasmo C...

		Technol.: 5G										Power:			
		100										6		30 W/layer	
d2D [m]	d3D [m]	hUT [m]	hBS	h [m]	fc [GHz]	RAN gain	95%-level	PLH_URB	PL1	PL2	PL3	a(hMOB)	PL4	Cm	PL [dB]
50	1700	1700,403	3	40	3,64	37,55273	-127,3308	-153,124	46,3	120,7213	-22,1405	-2,68984	7,932481	3	153,1235
	1750	1750,391	3	40	3,64	37,55273	-127,7637	-153,556	46,3	120,7213	-22,1405	-2,68984	8,365429	3	153,5565
	1800	1800,38	3	40	3,64	37,55273	-128,1845	-153,977	46,3	120,7213	-22,1405	-2,68984	8,786191	3	153,9772
	1850	1850,37	3	40	3,64	37,55273	-128,5937	-154,386	46,3	120,7213	-22,1405	-2,68984	9,195434	3	154,3865
	1900	1900,36	3	40	3,64	37,55273	-128,9921	-154,785	46,3	120,7213	-22,1405	-2,68984	9,59377	3	154,7848
	1950	1950,351	3	40	3,64	37,55273	-129,3801	-155,173	46,3	120,7213	-22,1405	-2,68984	9,981767	3	155,1728
	2000	2000,342	3	40	3,64	37,55273	-129,7582	-155,551	46,3	120,7213	-22,1405	-2,68984	10,35995	3	155,551
	2050	2050,334	3	40	3,64	37,55273	-130,1271	-155,92	46,3	120,7213	-22,1405	-2,68984	10,72879	3	155,9198
	2100	2100,326	3	40	3,64	37,55273	-130,4871	-156,28	46,3	120,7213	-22,1405	-2,68984	11,08876	3	156,2798
	2150	2150,318	3	40	3,64	37,55273	-130,8386	-156,631	46,3	120,7213	-22,1405	-2,68984	11,44026	3	156,6313
	2200	2200,311	3	40	3,64	37,55273	-131,182	-156,975	46,3	120,7213	-22,1405	-2,68984	11,78368	3	156,9747
	2250	2250,304	3	40	3,64	37,55273	-131,5177	-157,31	46,3	120,7213	-22,1405	-2,68984	12,11939	3	157,3104
	2300	2300,298	3	40	3,64	37,55273	-131,846	-157,639	46,3	120,7213	-22,1405	-2,68984	12,44772	3	157,6387
	2350	2350,291	3	40	3,64	37,55273	-132,1673	-157,96	46,3	120,7213	-22,1405	-2,68984	12,769	3	157,96
	2400	2400,285	3	40	3,64	37,55273	-132,4818	-158,275	46,3	120,7213	-22,1405	-2,68984	13,08352	3	158,2745
	2450	2450,279	3	40	3,64	37,55273	-132,7898	-158,583	46,3	120,7213	-22,1405	-2,68984	13,39155	3	158,5826

Eksperyta w zakresie wymagań jakościowych w postępowaniu na pasmo C...

Aneks 2.3. MNO3

$PL=46.3 + 33.9 \log f/\text{MHz} - 13.82 \log h\text{Base}/\text{m} - a(h\text{Mobile}) + (44.9 - 6.55 \log h\text{Base}/\text{m}) \log d/\text{km} + C_m$
 $a(h\text{Mobile}) = (1.1 \times \log_{10} f/\text{MHz} - 0.7) h\text{Mobile}/\text{m} - (1.56 \times \log f/\text{MHz} - 0.8)$

RURAL + SUBURBAN		dBm		Technol.: 4G		122		5		8		Power:						
Pi	3,141592	d2D [m]	d3D [m]	dBP	hUT [m]	hBS	h [m]	fc [GHz]	RAN gain	BW [MHz]= 95%-level	PLH_SUB	PL1	PL2	PL3	PL4	PL [dB]	30 W/layer	
50	2400	2400,285	2450	2450,279	3	3	40	0,9	36,55273	-112,67876	-133,551	46,3	100,1488	-22,1405	-3,84038	13,08352	0	133,5515
	2500	2500,274	2550	2550,268	3	3	40	0,9	36,55273	-112,98679	-133,86	46,3	100,1488	-22,1405	-3,84038	13,39155	0	133,8595
	2600	2600,263	2650	2650,258	3	3	40	0,9	36,55273	-113,28861	-134,161	46,3	100,1488	-22,1405	-3,84038	13,69336	0	134,1613
	2700	2700,254	2750	2750,249	3	3	40	0,9	36,55273	-113,58445	-134,457	46,3	100,1488	-22,1405	-3,84038	13,9892	0	134,4572
	2800	2800,244	2850	2850,24	3	3	40	0,9	36,55273	-113,87454	-134,747	46,3	100,1488	-22,1405	-3,84038	14,2793	0	134,7473
	2900	2900,236	2950	2950,232	3	3	40	0,9	36,55273	-114,15911	-135,032	46,3	100,1488	-22,1405	-3,84038	14,56387	0	135,0318
	3000	3000,228	3050	3050,224	3	3	40	0,9	36,55273	-114,43837	-135,311	46,3	100,1488	-22,1405	-3,84038	14,84312	0	135,3111
	3100	3100,221	3150	3150,217	3	3	40	0,9	36,55273	-114,7125	-135,585	46,3	100,1488	-22,1405	-3,84038	15,11726	0	135,5852
					3	3	40	0,9	36,55273	-114,9817	-135,854	46,3	100,1488	-22,1405	-3,84038	15,38645	0	135,8544
					3	3	40	0,9	36,55273	-115,24613	-136,119	46,3	100,1488	-22,1405	-3,84038	15,65088	0	136,1189
					3	3	40	0,9	36,55273	-115,50596	-136,379	46,3	100,1488	-22,1405	-3,84038	15,91072	0	136,3787
					3	3	40	0,9	36,55273	-115,76135	-136,634	46,3	100,1488	-22,1405	-3,84038	16,16611	0	136,6341
					3	3	40	0,9	36,55273	-116,01246	-136,885	46,3	100,1488	-22,1405	-3,84038	16,41721	0	136,8852
					3	3	40	0,9	36,55273	-116,25941	-137,132	46,3	100,1488	-22,1405	-3,84038	16,66417	0	137,1321
					3	3	40	0,9	36,55273	-116,50235	-137,375	46,3	100,1488	-22,1405	-3,84038	16,9071	0	137,3751
					3	3	40	0,9	36,55273	-116,7414	-137,614	46,3	100,1488	-22,1405	-3,84038	17,14616	0	137,6141

Ekspertyza w zakresie wymagań jakościowych w postępowaniu na pasmo C...

		Technol.: 4G										Technol.: 4G																			
		BW [MHz]= 20					Sigma: 8					Power: 30 W/layer					BW [MHz]= 15					Sigma: 8					Power: 30 W/layer				
d2D [m]	d3D [m]	dBp	hUT [m]	hBS	h [m]	fc [GHz]	RAN gain	PLH_SUB	PL1	PL2	PL3	a(hMOB)	PL4	Cm	PL [dB]	d2D [m]	d3D [m]	dBp	hUT [m]	hBS	h [m]	fc [GHz]	RAN gain	PLH_SUB	PL1	PL2	PL3	a(hMOB)	PL4	Cm	PL [dB]
50	2400	2400,285	3	3	40	1,8	33,53213	-125,38049	-143,233	46,3	110,3537	-22,1405	-4,36417	13,08352	0	2400	2400,285	3	3	40	2,1	34,78151	-126,28411	-145,386	46,3	112,6232	-22,1405	-4,48066	13,08352	0	145,3856
	2450	2450,279	3	3	40	1,8	33,53213	-125,68852	-143,541	46,3	110,3537	-22,1405	-4,36417	13,39155	0	2450	2450,279	3	3	40	2,1	34,78151	-126,59214	-145,694	46,3	112,6232	-22,1405	-4,48066	13,39155	0	145,6937
	2500	2500,274	3	3	40	1,8	33,53213	-125,99033	-143,842	46,3	110,3537	-22,1405	-4,36417	13,69336	0	2500	2500,274	3	3	40	2,1	34,78151	-126,89395	-145,995	46,3	112,6232	-22,1405	-4,48066	13,69336	0	145,9955
	2550	2550,268	3	3	40	1,8	33,53213	-126,28617	-144,138	46,3	110,3537	-22,1405	-4,36417	13,9892	0	2550	2550,268	3	3	40	2,1	34,78151	-127,18979	-146,291	46,3	112,6232	-22,1405	-4,48066	13,9892	0	146,2913
	2600	2600,263	3	3	40	1,8	33,53213	-126,57627	-144,428	46,3	110,3537	-22,1405	-4,36417	14,2793	0	2600	2600,263	3	3	40	2,1	34,78151	-127,47989	-146,581	46,3	112,6232	-22,1405	-4,48066	14,2793	0	146,5814
	2650	2650,258	3	3	40	1,8	33,53213	-126,86084	-144,713	46,3	110,3537	-22,1405	-4,36417	14,56387	0	2650	2650,258	3	3	40	2,1	34,78151	-127,76446	-146,866	46,3	112,6232	-22,1405	-4,48066	14,56387	0	146,866
	2700	2700,254	3	3	40	1,8	33,53213	-127,14009	-144,992	46,3	110,3537	-22,1405	-4,36417	14,84312	0	2700	2700,254	3	3	40	2,1	34,78151	-128,04371	-147,145	46,3	112,6232	-22,1405	-4,48066	14,84312	0	147,1452
	2750	2750,249	3	3	40	1,8	33,53213	-127,41423	-145,266	46,3	110,3537	-22,1405	-4,36417	15,11726	0	2750	2750,249	3	3	40	2,1	34,78151	-128,31785	-147,419	46,3	112,6232	-22,1405	-4,48066	15,11726	0	147,4194
	2800	2800,244	3	3	40	1,8	33,53213	-127,68342	-145,536	46,3	110,3537	-22,1405	-4,36417	15,38645	0	2800	2800,244	3	3	40	2,1	34,78151	-128,58704	-147,689	46,3	112,6232	-22,1405	-4,48066	15,38645	0	147,6886
	2850	2850,24	3	3	40	1,8	33,53213	-127,94785	-145,8	46,3	110,3537	-22,1405	-4,36417	15,65088	0	2850	2850,24	3	3	40	2,1	34,78151	-128,85147	-147,953	46,3	112,6232	-22,1405	-4,48066	15,65088	0	147,953
	2900	2900,236	3	3	40	1,8	33,53213	-128,20769	-146,06	46,3	110,3537	-22,1405	-4,36417	15,91072	0	2900	2900,236	3	3	40	2,1	34,78151	-129,11131	-148,213	46,3	112,6232	-22,1405	-4,48066	15,91072	0	148,2128
	2950	2950,232	3	3	40	1,8	33,53213	-128,46308	-146,315	46,3	110,3537	-22,1405	-4,36417	16,16611	0	2950	2950,232	3	3	40	2,1	34,78151	-129,36667	-148,468	46,3	112,6232	-22,1405	-4,48066	16,16611	0	148,4682
	3000	3000,228	3	3	40	1,8	33,53213	-128,71418	-146,566	46,3	110,3537	-22,1405	-4,36417	16,41721	0	3000	3000,228	3	3	40	2,1	34,78151	-129,6178	-148,719	46,3	112,6232	-22,1405	-4,48066	16,41721	0	148,7193
	3050	3050,224	3	3	40	1,8	33,53213	-128,96113	-146,813	46,3	110,3537	-22,1405	-4,36417	16,66417	0	3050	3050,224	3	3	40	2,1	34,78151	-129,86476	-148,966	46,3	112,6232	-22,1405	-4,48066	16,66417	0	148,9663
	3100	3100,221	3	3	40	1,8	33,53213	-129,20407	-147,056	46,3	110,3537	-22,1405	-4,36417	16,9071	0	3100	3100,221	3	3	40	2,1	34,78151	-130,10769	-149,209	46,3	112,6232	-22,1405	-4,48066	16,9071	0	149,2092
	3150	3150,217	3	3	40	1,8	33,53213	-129,44313	-147,295	46,3	110,3537	-22,1405	-4,36417	17,14616	0	3150	3150,217	3	3	40	2,1	34,78151	-130,34675	-149,448	46,3	112,6232	-22,1405	-4,48066	17,14616	0	149,4483

Ekspertyza w zakresie wymagań jakościowych w postępowaniu na pasmo C...

Technol.: 5G										Technol.: 4G									
50					40					20					30 W/layer				
d2D [m]	d3D [m]	dBp	hUT [m]	hBS	h [m]	fc [GHz]	RAN gain	95%-level	PLH_SUB	PL1	BW [MHz]=	PL2	PL3	a(hMOB)	PL4	Power:	PL [dB]	30 W/layer	
2400	2400,285		3	3	40	2,5	41,53213	-121,96867	-147,821		46,3	115,1902	-22,1405	-4,61242	13,08352	0	147,8208		
2450	2450,279		3	3	40	2,5	41,53213	-122,27671	-148,129		46,3	115,1902	-22,1405	-4,61242	13,39155	0	148,1288		
2500	2500,274		3	3	40	2,5	41,53213	-122,57852	-148,431		46,3	115,1902	-22,1405	-4,61242	13,69336	0	148,4306		
2550	2550,268		3	3	40	2,5	41,53213	-122,87436	-148,726		46,3	115,1902	-22,1405	-4,61242	13,9892	0	148,7265		
2600	2600,263		3	3	40	2,5	41,53213	-123,16445	-149,017		46,3	115,1902	-22,1405	-4,61242	14,2793	0	149,0166		
2650	2650,258		3	3	40	2,5	41,53213	-123,44902	-149,301		46,3	115,1902	-22,1405	-4,61242	14,56387	0	149,3012		
2700	2700,254		3	3	40	2,5	41,53213	-123,72828	-149,58		46,3	115,1902	-22,1405	-4,61242	14,84312	0	149,5804		
2750	2750,249		3	3	40	2,5	41,53213	-124,00241	-149,855		46,3	115,1902	-22,1405	-4,61242	15,11726	0	149,8545		
2800	2800,244		3	3	40	2,5	41,53213	-124,27161	-150,124		46,3	115,1902	-22,1405	-4,61242	15,38645	0	150,1237		
2850	2850,24		3	3	40	2,5	41,53213	-124,53604	-150,388		46,3	115,1902	-22,1405	-4,61242	15,65088	0	150,3882		
2900	2900,236		3	3	40	2,5	41,53213	-124,79587	-150,648		46,3	115,1902	-22,1405	-4,61242	15,91072	0	150,648		
2950	2950,232		3	3	40	2,5	41,53213	-125,05127	-150,903		46,3	115,1902	-22,1405	-4,61242	16,16611	0	150,9034		
3000	3000,228		3	3	40	2,5	41,53213	-125,30237	-151,154		46,3	115,1902	-22,1405	-4,61242	16,41721	0	151,1545		
3050	3050,224		3	3	40	2,5	41,53213	-125,54932	-151,401		46,3	115,1902	-22,1405	-4,61242	16,66417	0	151,4014		
3100	3100,221		3	3	40	2,5	41,53213	-125,79226	-151,644		46,3	115,1902	-22,1405	-4,61242	16,9071	0	151,6444		
3150	3150,217		3	3	40	2,5	41,53213	-126,03131	-151,883		46,3	115,1902	-22,1405	-4,61242	17,14616	0	151,8834		
2400	2400,285		3	3	40	2,6	33,53213	-130,51646	-148,369		46,3	115,7676	-22,1405	-4,64205	13,08352	0	148,3686		
2450	2450,279		3	3	40	2,6	33,53213	-130,8245	-148,677		46,3	115,7676	-22,1405	-4,64205	13,39155	0	148,6766		
2500	2500,274		3	3	40	2,6	33,53213	-131,12631	-148,978		46,3	115,7676	-22,1405	-4,64205	13,69336	0	148,9784		
2550	2550,268		3	3	40	2,6	33,53213	-131,42215	-149,274		46,3	115,7676	-22,1405	-4,64205	13,9892	0	149,2743		
2600	2600,263		3	3	40	2,6	33,53213	-131,71224	-149,564		46,3	115,7676	-22,1405	-4,64205	14,2793	0	149,5644		
2650	2650,258		3	3	40	2,6	33,53213	-131,99682	-149,849		46,3	115,7676	-22,1405	-4,64205	14,56387	0	149,8489		
2700	2700,254		3	3	40	2,6	33,53213	-132,27607	-150,128		46,3	115,7676	-22,1405	-4,64205	14,84312	0	150,1282		
2750	2750,249		3	3	40	2,6	33,53213	-132,5502	-150,402		46,3	115,7676	-22,1405	-4,64205	15,11726	0	150,4023		
2800	2800,244		3	3	40	2,6	33,53213	-132,8194	-150,672		46,3	115,7676	-22,1405	-4,64205	15,38645	0	150,6715		
2850	2850,24		3	3	40	2,6	33,53213	-133,08383	-150,936		46,3	115,7676	-22,1405	-4,64205	15,65088	0	150,936		
2900	2900,236		3	3	40	2,6	33,53213	-133,34366	-151,196		46,3	115,7676	-22,1405	-4,64205	15,91072	0	151,1958		
2950	2950,232		3	3	40	2,6	33,53213	-133,59906	-151,451		46,3	115,7676	-22,1405	-4,64205	16,16611	0	151,4512		
3000	3000,228		3	3	40	2,6	33,53213	-133,85016	-151,702		46,3	115,7676	-22,1405	-4,64205	16,41721	0	151,7023		
3050	3050,224		3	3	40	2,6	33,53213	-134,09711	-151,949		46,3	115,7676	-22,1405	-4,64205	16,66417	0	151,9492		
3100	3100,221		3	3	40	2,6	33,53213	-134,34005	-152,192		46,3	115,7676	-22,1405	-4,64205	16,9071	0	152,1922		
3150	3150,217		3	3	40	2,6	33,53213	-134,5791	-152,431		46,3	115,7676	-22,1405	-4,64205	17,14616	0	152,4312		

Eksperyta w zakresie wymagań jakościowych w postępowaniu na pasmo C...

$$PL=46.3 + 33.9 \log f[\text{MHz}] - 13.82 \log h\text{Base}/m - a(h\text{Mobile}) + (44.9 - 6.55 \log h\text{Base}/m) \log d/\text{km} + C_m$$

$$a(h\text{Mobile}) = (3.2 \times (\log(11.75 \times h\text{Mobile}/m))^2 - 4.97$$

URBAN

PI		3,141592		dBm		122		Technol.: 4G		5		6		Power:		30 W/layer	
d2D [m]	d3D [m]	dBp	hUT [m]	hBS	fc [GHz]	RAN gain	95%-level	PLH_URB	PL1	PL2	PL3	PL4	Cm	PL [dB]			
50	2200	2200,311	3	40	0,9	36,55273	-111,6095	-136,402	46,3	100,1488	-22,1405	-2,68984	11,78368	3	136,4022		
	2250	2250,304	3	40	0,9	36,55273	-111,9452	-136,738	46,3	100,1488	-22,1405	-2,68984	12,11939	3	136,7379		
	2300	2300,298	3	40	0,9	36,55273	-112,2735	-137,066	46,3	100,1488	-22,1405	-2,68984	12,44772	3	137,0662		
	2350	2350,291	3	40	0,9	36,55273	-112,5948	-137,388	46,3	100,1488	-22,1405	-2,68984	12,769	3	137,3875		
	2400	2400,285	3	40	0,9	36,55273	-112,9093	-137,702	46,3	100,1488	-22,1405	-2,68984	13,08352	3	137,702		
	2450	2450,279	3	40	0,9	36,55273	-113,2173	-138,01	46,3	100,1488	-22,1405	-2,68984	13,39155	3	138,0101		
	2500	2500,274	3	40	0,9	36,55273	-113,5191	-138,312	46,3	100,1488	-22,1405	-2,68984	13,69336	3	138,3119		
	2550	2550,268	3	40	0,9	36,55273	-113,815	-138,608	46,3	100,1488	-22,1405	-2,68984	13,9892	3	138,6077		
	2600	2600,263	3	40	0,9	36,55273	-114,1051	-138,898	46,3	100,1488	-22,1405	-2,68984	14,2793	3	138,8978		
	2650	2650,258	3	40	0,9	36,55273	-114,3897	-139,182	46,3	100,1488	-22,1405	-2,68984	14,56387	3	139,1824		
	2700	2700,254	3	40	0,9	36,55273	-114,6689	-139,462	46,3	100,1488	-22,1405	-2,68984	14,84312	3	139,4616		
	2750	2750,249	3	40	0,9	36,55273	-114,943	-139,736	46,3	100,1488	-22,1405	-2,68984	15,11726	3	139,7358		
	2800	2800,244	3	40	0,9	36,55273	-115,2122	-140,005	46,3	100,1488	-22,1405	-2,68984	15,38645	3	140,005		
	2850	2850,24	3	40	0,9	36,55273	-115,4767	-140,269	46,3	100,1488	-22,1405	-2,68984	15,65088	3	140,2694		
	2900	2900,236	3	40	0,9	36,55273	-115,7365	-140,529	46,3	100,1488	-22,1405	-2,68984	15,91072	3	140,5292		
	2950	2950,232	3	40	0,9	36,55273	-115,9919	-140,785	46,3	100,1488	-22,1405	-2,68984	16,16611	3	140,7846		

PI		3,141592		dBm		122		Technol.: 4G		20		6		Power:		30 W/layer	
d2D [m]	d3D [m]	dBp	hUT [m]	hBS	fc [GHz]	RAN gain	95%-level	PLH_URB	PL1	PL2	PL3	PL4	Cm	PL [dB]			
50	2200	2200,311	3	40	1,8	33,53213	-124,835	-146,607	46,3	110,3537	-22,1405	-2,68984	11,78368	3	146,6071		
	2250	2250,304	3	40	1,8	33,53213	-125,1707	-146,943	46,3	110,3537	-22,1405	-2,68984	12,11939	3	146,9428		
	2300	2300,298	3	40	1,8	33,53213	-125,499	-147,271	46,3	110,3537	-22,1405	-2,68984	12,44772	3	147,2711		
	2350	2350,291	3	40	1,8	33,53213	-125,8203	-147,592	46,3	110,3537	-22,1405	-2,68984	12,769	3	147,5924		
	2400	2400,285	3	40	1,8	33,53213	-126,1348	-147,907	46,3	110,3537	-22,1405	-2,68984	13,08352	3	147,9069		
	2450	2450,279	3	40	1,8	33,53213	-126,4428	-148,215	46,3	110,3537	-22,1405	-2,68984	13,39155	3	148,215		
	2500	2500,274	3	40	1,8	33,53213	-126,7447	-148,517	46,3	110,3537	-22,1405	-2,68984	13,69336	3	148,5168		
	2550	2550,268	3	40	1,8	33,53213	-127,0405	-148,813	46,3	110,3537	-22,1405	-2,68984	13,9892	3	148,8126		
	2600	2600,263	3	40	1,8	33,53213	-127,3306	-149,103	46,3	110,3537	-22,1405	-2,68984	14,2793	3	149,1027		
	2650	2650,258	3	40	1,8	33,53213	-127,6152	-149,387	46,3	110,3537	-22,1405	-2,68984	14,56387	3	149,3873		
	2700	2700,254	3	40	1,8	33,53213	-127,8944	-149,667	46,3	110,3537	-22,1405	-2,68984	14,84312	3	149,6665		
	2750	2750,249	3	40	1,8	33,53213	-128,1686	-149,941	46,3	110,3537	-22,1405	-2,68984	15,11726	3	149,9407		
	2800	2800,244	3	40	1,8	33,53213	-128,4377	-150,21	46,3	110,3537	-22,1405	-2,68984	15,38645	3	150,2099		
	2850	2850,24	3	40	1,8	33,53213	-128,7022	-150,474	46,3	110,3537	-22,1405	-2,68984	15,65088	3	150,4743		
	2900	2900,236	3	40	1,8	33,53213	-128,962	-150,734	46,3	110,3537	-22,1405	-2,68984	15,91072	3	150,7341		
	2950	2950,232	3	40	1,8	33,53213	-129,2174	-150,99	46,3	110,3537	-22,1405	-2,68984	16,16611	3	150,9895		

Ekspertyza w zakresie wymagań jakościowych w postępowaniu na pasmo C...

Technol.: 4G															Technol.: 5G																			
50					15					6					30 W/layer					40					6					30 W/layer				
d2D [m]	d3D [m]	dBp	hUT [m]	hBS	fc [GHz]	RAN gain	95%-level	PLH_URB	PL1	PL2	PL3	a(hMOB)	PL4	Cm	PL [dB]	d2D [m]	d3D [m]	dBp	hUT [m]	hBS	fc [GHz]	RAN gain	95%-level	PLH_URB	PL1	PL2	PL3	a(hMOB)	PL4	Cm	PL [dB]			
2200	2200,311		3	40	2,1	34,78151	-125,8551	-148,877	46,3	112,6232	-22,1405	-2,68984	11,78368	3	148,8766	2200	2200,311		3	40	2,5	41,53213	-121,6714	-151,444	46,3	115,1902	-22,1405	-2,68984	11,78368	3	151,4435			
2250	2250,304		3	40	2,1	34,78151	-126,1908	-149,212	46,3	112,6232	-22,1405	-2,68984	12,11939	3	149,2123	2250	2250,304		3	40	2,5	41,53213	-122,0071	-151,779	46,3	115,1902	-22,1405	-2,68984	12,11939	3	151,7792			
2300	2300,298		3	40	2,1	34,78151	-126,5191	-149,541	46,3	112,6232	-22,1405	-2,68984	12,44772	3	149,5406	2300	2300,298		3	40	2,5	41,53213	-122,3355	-152,108	46,3	115,1902	-22,1405	-2,68984	12,44772	3	152,1076			
2350	2350,291		3	40	2,1	34,78151	-126,8404	-149,862	46,3	112,6232	-22,1405	-2,68984	12,769	3	149,8619	2350	2350,291		3	40	2,5	41,53213	-122,6567	-152,429	46,3	115,1902	-22,1405	-2,68984	12,769	3	152,4289			
2400	2400,285		3	40	2,1	34,78151	-127,1549	-150,176	46,3	112,6232	-22,1405	-2,68984	13,08352	3	150,1764	2400	2400,285		3	40	2,5	41,53213	-122,9712	-152,743	46,3	115,1902	-22,1405	-2,68984	13,08352	3	152,7434			
2450	2450,279		3	40	2,1	34,78151	-127,463	-150,484	46,3	112,6232	-22,1405	-2,68984	13,39155	3	150,4845	2450	2450,279		3	40	2,5	41,53213	-123,2793	-153,051	46,3	115,1902	-22,1405	-2,68984	13,39155	3	153,0514			
2500	2500,274		3	40	2,1	34,78151	-127,7648	-150,786	46,3	112,6232	-22,1405	-2,68984	13,69336	3	150,7863	2500	2500,274		3	40	2,5	41,53213	-123,5811	-153,353	46,3	115,1902	-22,1405	-2,68984	13,69336	3	153,3532			
2550	2550,268		3	40	2,1	34,78151	-128,0606	-151,082	46,3	112,6232	-22,1405	-2,68984	13,9892	3	151,0821	2550	2550,268		3	40	2,5	41,53213	-123,8769	-153,649	46,3	115,1902	-22,1405	-2,68984	13,9892	3	153,6491			
2600	2600,263		3	40	2,1	34,78151	-128,3507	-151,372	46,3	112,6232	-22,1405	-2,68984	14,2793	3	151,3722	2600	2600,263		3	40	2,5	41,53213	-124,167	-153,939	46,3	115,1902	-22,1405	-2,68984	14,2793	3	153,9391			
2650	2650,258		3	40	2,1	34,78151	-128,6353	-151,657	46,3	112,6232	-22,1405	-2,68984	14,56387	3	151,6568	2650	2650,258		3	40	2,5	41,53213	-124,4516	-154,224	46,3	115,1902	-22,1405	-2,68984	14,56387	3	154,2237			
2700	2700,254		3	40	2,1	34,78151	-128,9145	-151,936	46,3	112,6232	-22,1405	-2,68984	14,84312	3	151,936	2700	2700,254		3	40	2,5	41,53213	-124,7309	-154,503	46,3	115,1902	-22,1405	-2,68984	14,84312	3	154,503			
2750	2750,249		3	40	2,1	34,78151	-129,1887	-152,21	46,3	112,6232	-22,1405	-2,68984	15,11726	3	152,2102	2750	2750,249		3	40	2,5	41,53213	-125,005	-154,777	46,3	115,1902	-22,1405	-2,68984	15,11726	3	154,7771			
2800	2800,244		3	40	2,1	34,78151	-129,4579	-152,479	46,3	112,6232	-22,1405	-2,68984	15,38645	3	152,4794	2800	2800,244		3	40	2,5	41,53213	-125,2742	-155,046	46,3	115,1902	-22,1405	-2,68984	15,38645	3	155,0463			
2850	2850,24		3	40	2,1	34,78151	-129,7223	-152,744	46,3	112,6232	-22,1405	-2,68984	15,65088	3	152,7438	2850	2850,24		3	40	2,5	41,53213	-125,5386	-155,311	46,3	115,1902	-22,1405	-2,68984	15,65088	3	155,3107			
2900	2900,236		3	40	2,1	34,78151	-129,9821	-153,004	46,3	112,6232	-22,1405	-2,68984	15,91072	3	153,0036	2900	2900,236		3	40	2,5	41,53213	-125,7984	-155,571	46,3	115,1902	-22,1405	-2,68984	15,91072	3	155,5706			
2950	2950,232		3	40	2,1	34,78151	-130,2375	-153,259	46,3	112,6232	-22,1405	-2,68984	16,16611	3	153,259	2950	2950,232		3	40	2,5	41,53213	-126,0538	-155,826	46,3	115,1902	-22,1405	-2,68984	16,16611	3	155,826			

Ekspertyza w zakresie wymagań jakościowych w postępowaniu na pasmo C...

		Technol.: 4G										20				Sigma:				6				Power:											
		BW [MHz]=										PL2				PL3				a(hnMOB)				PL4				Cm				PL [dB]			
d2D [m]	d3D [m]	dBp	hUT [m]	hBS	h [m]	fc [GHz]	RAN gain	95%-level	PLH_URB	PL1	PL2	PL3	PL4	a(hnMOB)	PL4	Cm	PL [dB]	30 W/layer																	
50	2200	2200,311	3	40	40	2,6	33,53213	-130,2488	-152,021	46,3	115,7676	-22,1405	-2,68984	11,78368	3	152,021																			
	2250	2250,304	3	40	40	2,6	33,53213	-130,5845	-152,357	46,3	115,7676	-22,1405	-2,68984	12,11939	3	152,3567																			
	2300	2300,298	3	40	40	2,6	33,53213	-130,9129	-152,685	46,3	115,7676	-22,1405	-2,68984	12,44772	3	152,685																			
	2350	2350,291	3	40	40	2,6	33,53213	-131,2342	-153,006	46,3	115,7676	-22,1405	-2,68984	12,769	3	153,0063																			
	2400	2400,285	3	40	40	2,6	33,53213	-131,5487	-153,321	46,3	115,7676	-22,1405	-2,68984	13,08352	3	153,3208																			
	2450	2450,279	3	40	40	2,6	33,53213	-131,8567	-153,629	46,3	115,7676	-22,1405	-2,68984	13,39155	3	153,6288																			
	2500	2500,274	3	40	40	2,6	33,53213	-132,1585	-153,931	46,3	115,7676	-22,1405	-2,68984	13,69336	3	153,9306																			
	2550	2550,268	3	40	40	2,6	33,53213	-132,4544	-154,226	46,3	115,7676	-22,1405	-2,68984	13,9892	3	154,2265																			
	2600	2600,263	3	40	40	2,6	33,53213	-132,7445	-154,517	46,3	115,7676	-22,1405	-2,68984	14,2793	3	154,5166																			
	2650	2650,258	3	40	40	2,6	33,53213	-133,029	-154,801	46,3	115,7676	-22,1405	-2,68984	14,56387	3	154,8012																			
	2700	2700,254	3	40	40	2,6	33,53213	-133,3083	-155,08	46,3	115,7676	-22,1405	-2,68984	14,84312	3	155,0804																			
	2750	2750,249	3	40	40	2,6	33,53213	-133,5824	-155,355	46,3	115,7676	-22,1405	-2,68984	15,11726	3	155,3545																			
	2800	2800,244	3	40	40	2,6	33,53213	-133,8516	-155,624	46,3	115,7676	-22,1405	-2,68984	15,38645	3	155,6237																			
	2850	2850,24	3	40	40	2,6	33,53213	-134,116	-155,888	46,3	115,7676	-22,1405	-2,68984	15,65088	3	155,8882																			
	2900	2900,236	3	40	40	2,6	33,53213	-134,3759	-156,148	46,3	115,7676	-22,1405	-2,68984	15,91072	3	156,148																			
	2950	2950,232	3	40	40	2,6	33,53213	-134,6313	-156,403	46,3	115,7676	-22,1405	-2,68984	16,16611	3	156,4034																			