

Wpływ limitów gęstości mocy (PDL – Power Density Limits) na łączność bezprzewodową:

czy Polsce grożą opóźnienia
w rozwoju 5G?



Autorzy

Mirostaw Godlewski

Senior Advisor, BCG Warsaw

Michael Steiger

Principal, BCG Zurich

Ruediger Schicht

Senior Partner and Managing
Director, BCG Zurich

Heinz Bernold

Associate Director, BCG Zurich

Główne wnioski

Polska jest krajem mobilno-centricznym - europejskim liderem zarówno pod względem rozpowszechnienia mobilnego Internetu szerokopasmowego, jak i wykorzystania transmisji danych.

Polska ma najniższe i najbardziej restrykcyjne limity gęstości mocy w Europie (power density limits - PDL).

- Polskie limity są nawet 100-krotnie bardziej restrykcyjne niż w innych krajach Unii Europejskiej, które uznają obowiązujące normy za bezpieczne (ustanowione w 1998 r. i potwierdzone w 2009 r.)
- Zostały one ustanowione w 1984 r. w oparciu o standardy obowiązujące w tamtym czasie w Związku Radzieckim

Polska gospodarka może odnieść wiele korzyści z rozwoju komunikacji bezprzewodowej oraz technologii 5G:

- Sektor technologii komunikacyjnych już teraz wnosi znaczącą wartość do gospodarki kraju
- Nowa technologia 5G oraz Przemysł 4.0 będą dodatkowym, ważnym napędem dla rozwoju gospodarki oraz rynku pracy

Już dziś restrykcyjne limity gęstości mocy wpływają negatywnie na usługę mobilnego Internetu: Polska znajduje się na ostatnim miejscu pod względem szybkości Internetu 4G w Europie, pomimo wysiłków polskich operatorów oraz nakładów inwestycyjnych, które nie odbiegają od średniej europejskiej.

Restrykcyjne limity gęstości mocy będą hamować rozwój 5G w Polsce, przez co kraj

może znaleźć się w technologicznym ogonie Europy.

- Pomimo strategicznych ambicji polskiego rządu, aby stawiać na długoterminowy rozwój i stać się krajem wiodącym w technologii 5G, Polsce grozi niedorozwój infrastruktury mobilnego Internetu.
- Częstotliwości udostępniane na potrzeby 5G nie będą mogły być w pełni wykorzystane i będą wyceniane poniżej oczekiwanych wartości
- Nowe technologie mobilne nie będą mogły zostać wdrożone, co ograniczy rozwój kraju w obszarze innowacji technologicznych
- Ograniczenia w wykorzystaniu częstotliwości i technologii nie mogą zostać zrekomensowane budową nowych stacji bazowych z powodu ogromnych trudności w ich budowie
- Wymogi technologii 5G oraz Przemysłu 4.0 będą spełnione tylko częściowo. Będzie to dla Polski znaczące utrudnienie w wyścigu o pozycję europejskiego lidera w najnowocześniejszych sektorach gospodarki
- Obowiązujące limity gęstości sieci stawiają pod znakiem zapytania oczekiwane korzyści społecznoekonomiczne powiązane z technologią 5G, takie jak wzrost gospodarczy czy rozwój miejsc pracy

Polska powinna zharmonizować swoje limity gęstości mocy z normami przyjętymi za bezpieczne przez WHO oraz ICNIRP aby zapobiec negatywnym efektom społecznym i gospodarczym wynikającym z obecnych ograniczeń.

Spis treści

Główne wnioski	3
Wstęp: Wprowadzenie do maksymalnych wartości gęstości mocy (PDL)	6
1. Polska jest rynkiem mobilno-centrycznym	6
2. Polska ma najniższe i najbardziej restrykcyjne limity gęstości mocy w Europie	9
3. Sektor nowoczesnej komunikacji bezprzewodowej oraz technologia 5G mogą być motorami rozwoju gospodarczego Polski	11
4. Limity gęstości mocy w Polsce już teraz negatywnie wpływają na wdrożenie 4G oraz wrażenia użytkowników sieci	13
5. Limity gęstości mocy ograniczą szanse na rozwój technologii 5G i Przemysłu 4.0 w Polsce. Rolę liderów przejmą inne kraje	15
6. Podsumowanie	21
Dodatek: metodologia modelowania	22
Słowniczek	23
Spis wykresów	27

Wstęp: Wprowadzenie do maksymalnych wartości gęstości mocy (PDL)

W celu przestania informacji sieci komunikacji mobilnej wykorzystują fale o wysokiej częstotliwości (między 400MHz a 4GHz)¹.

Fale radiowe powstają poprzez podłączenie mocy do anteny, która emituje pole elektromagnetyczne (EMF). Pole elektromagnetyczne wytwarzane jest przez każdy obiekt przewodzący elektryczność, np. każde gniazdko w ścianie. Natężenie pola elektromagnetycznego jest mierzone w woltach na metr; gęstość pola jest ujmowana w watach na metr kwadratowy. Oba parametry – natężenie pola elektromagnetycznego oraz gęstość mocy – wykorzystywane są do opisu pola elektromagnetycznego. Im dalej od anteny (lub innego źródła pola), tym niższe natężenie pola elektromagnetycznego i gęstość mocy.

Ludzkie ciało (i inne tkanki biologiczne) znajdując się w zasięgu oddziaływania pola elektromagnetycznego, podlega efektowi termicznemu, wywołanemu przez tarcie spowodowane ruchem cząsteczek. Współczynnik absorpcji swoistej (Specific Absorption Rate – SAR) pozwala zmierzyć ile energii jest pochłaniane przez ciało człowieka wystawione na działanie fal radiowych.

Dopuszczalne wartości SAR są wyznaczane na podstawie badań naukowych, obliczeń i doświadczeń prowadzonych po to, by chronić ludzkie ciało przed niekorzystnym pochłanianiem ciepła i nadmiernym ogrzewaniem tkanek. Na podstawie tych badań ustalane są limity dopuszczalnej ekspozycji na natężenie i/

lub gęstość mocy pola elektromagnetycznego². Limity są wyznaczane z uwzględnieniem dużej buforu bezpieczeństwa. Dla ułatwienia, w tym raporcie będziemy odnosić się do maksymalnych wartości gęstości mocy.

W praktyce oznacza to, że operator sieci komórkowej instalując antenę musi dokładnie rozważyć jej lokalizację uwzględniając jej moc oraz odległość od ludzi, aby zapewnić, że gęstość mocy EMF w danym obszarze nie przekracza limitów (PDL) obowiązujących w danym kraju.

Transmisja otrzymywana od stacji bazowej do telefonu komórkowego klienta nazywa się downlink. Telefon klienta również jest urządzeniem nadawczym i przesyła dane do stacji bazowej – tą transmisję nazywamy uplink. Im większa odległość od stacji, tym więcej mocy musi emitować urządzenie. Maksymalna moc transmisji urządzenia (telefonu komórkowego) jest również regulowana i zharmonizowana na poziomie międzynarodowym. Nie jest to przedmiotem niniejszego raportu.

1. Polska jest rynkiem mobilno-centrycznym

Główne wnioski:

- W Polsce wskaźnik penetracji rynku przez stałą łączą szerokopasmowe należy do najniższych w Europie
- Penetracja mobilną łącznością szerokopasmową oraz konsumpcja danych stawiają Polskę w gronie europejskich liderów
- Do 2030 r. zapotrzebowanie na transfer

¹ ICNIRP, High Frequency (2017): <http://www.icnirp.org/en/frequencies/high-frequency/index.html>

² ICNIRP, Guidelines for Limiting Exposure to Time-Varying Electric, Magnetic, and Electromagnetic Fields (up to 300 GHz) (1998): <http://www.icnirp.org/cms/upload/publications/ICNIRPemfgdl.pdf>

danych wzrosnie 24-krotnie

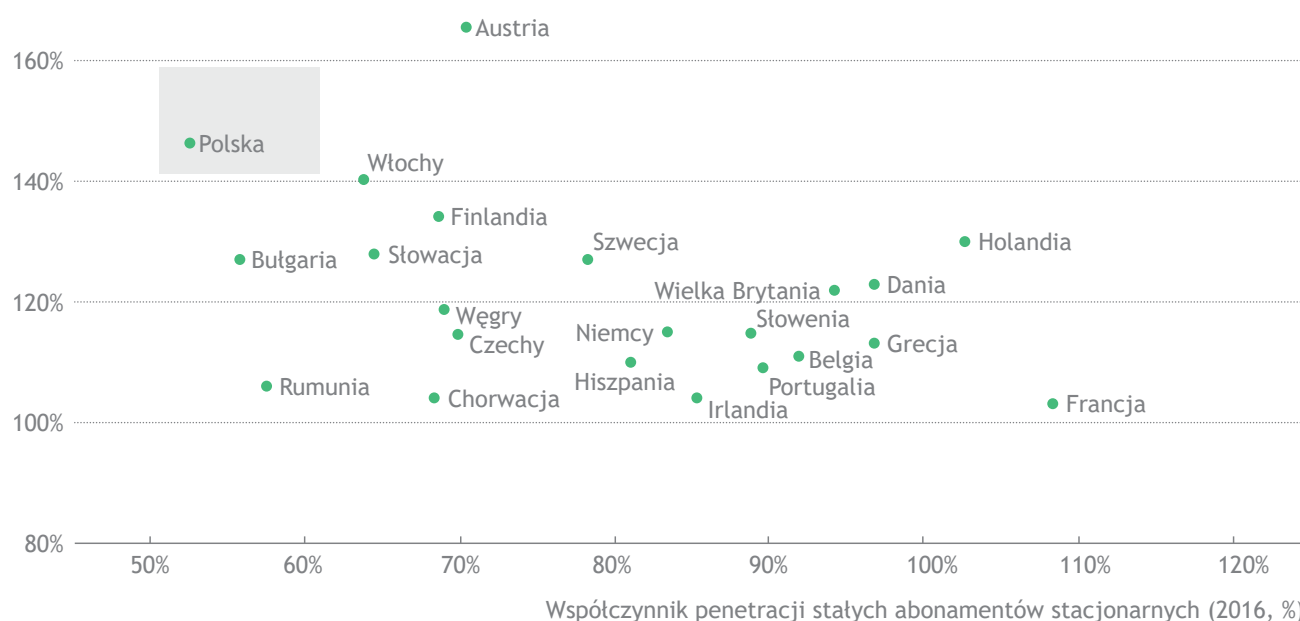
Internet mobilny odgrywa kluczową rolę w polskim społeczeństwie i gospodarce. Wskaźnik penetracji rynku przez mobilną łączność szerokopasmową na poziomie 146% pod koniec 2016 r. jest jednym z najwyższych w Europie, porównywalnym do takich krajów jak Austria (166%) czy

Włochy (140%). Polska jest rynkiem mobilno-centrycznym, natomiast infrastruktura stacjonarnych łączy szerokopasmowych jest względnie słabo rozwinięta. 53% penetracja rynku to wynik zdecydowanie niższy niż w innych krajach europejskich (Wykres 1). Infrastruktura bezprzewodowa odgrywa w Polsce ważniejszą rolę niż w innych krajach, gdyż to dzięki niej Polska adresuje

Wykres 1: Penetracja usługami mobilnymi

Źródło: ITU, Komisja Europejska, analiza BCG

Współczynnik penetracji mobilnych abonentów szerokopasmowych (2016, %)



problem wykluczenia cyfrowego i zapewnia dostępu do Internetu obywatelom, którzy nie mogą korzystać z łączy szerokopasmowych.

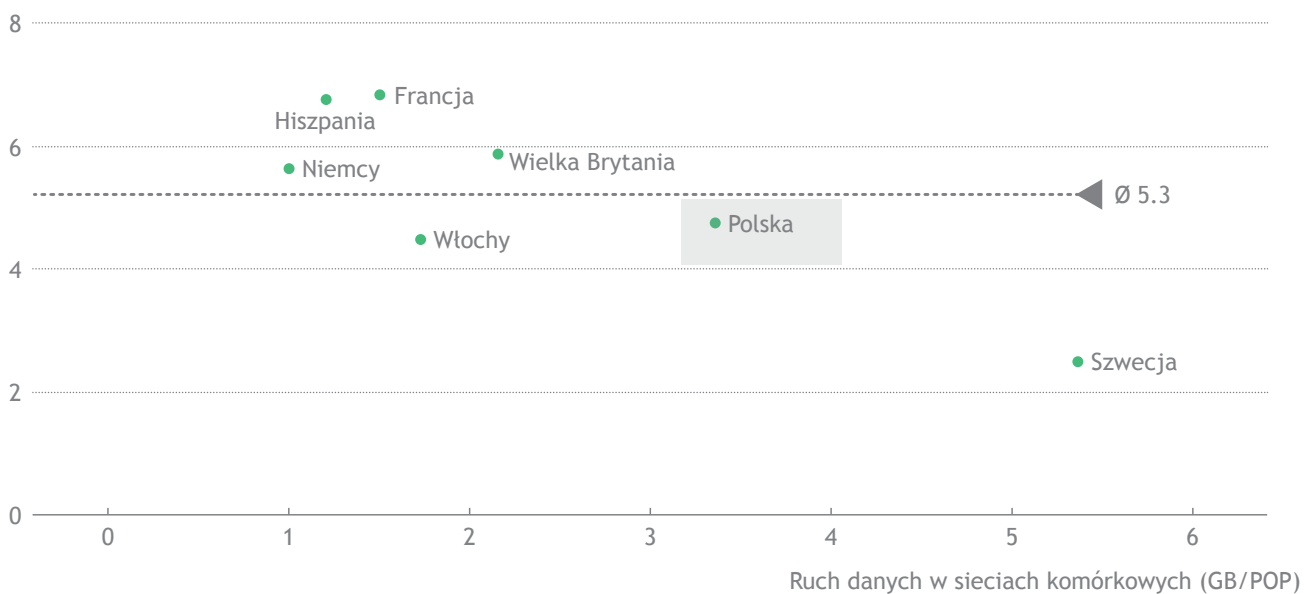
Średnia liczba danych przesyłana w Polsce jest trzykrotnie wyższa niż np. w Niemczech – 3,4 GB na POP w porównaniu z 1,0 GB na POP pod koniec 2016 r. (Wykres 2). Przewiduje się, że ruch związany z przesyłaniem danych będzie nadal skokowo rósł: 5-krotnie do 2021 r. i ok. 24-krotnie do 2030 r. (Wykres 3). To oznacza, że relatywnie

wysoki poziom transferu danych będzie nadal rósł, w tempie zbliżonym do innych krajów Europy. Polscy operatorzy sieci mobilnych stoją przed ogromnym wyzwaniem, aby nadążyć za rosnącym popytem na transfer danych i zapewnić konkurencyjność krajowej infrastruktury cyfrowej w przyszłości.

Wykres 2: POZIOM TRANSFERU DANYCH W SIECIACH KOMÓRKOWYCH I ICH PROGNOZOWANY WZROST W EUROPIE

Źródło: Cisco VNI prognoza na 2016-2021, analiza BCG

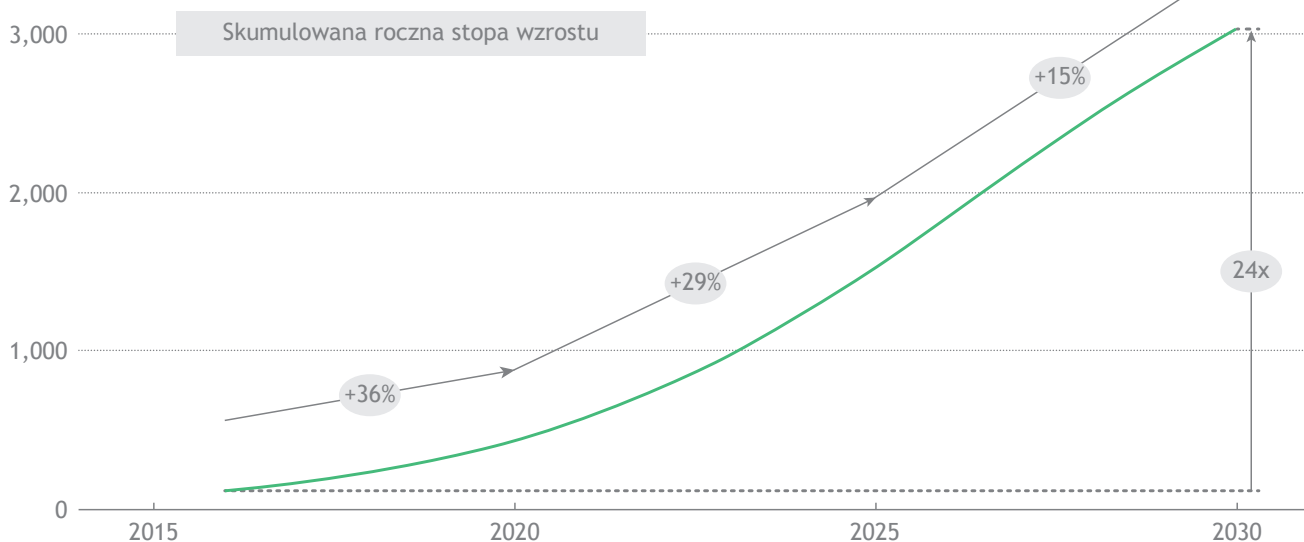
Współczynnik wzrostu w latach 2016-2021



Wykres 3: PROGNOZA PRZESYŁU DANYCH W SIECIACH KOMÓRKOWYCH

Źródło: Cisco VNI prognoza na 2016-2021, oszacowanie i analiza BCG

Prognoza ruchu danych w sieciach komórkowych (petabajty/miesiąc)



2. Polska ma najniższe i najbardziej restrykcyjne limity gęstości mocy w Europie

Główne wnioski:

- Obowiązujące w Polsce limity są nawet 100-krotnie bardziej restrykcyjne niż w innych krajach Unii Europejskiej, które uznają obowiązujące normy za bezpieczne (ustanowione w 1998 r. i potwierdzone w 2009 r.)
- Dodatkowo, na tle innych krajów Polska stosuje wyjątkowo rygorystyczne metody pomiarów
- Polskie limity zostały ustanowione w 1984 r. w oparciu o standardy obowiązujące w tamtym czasie w Związku Radzieckim

Rozwój infrastruktury Internetu mobilnego jest niezbędny dla polskiego społeczeństwa i gospodarki. Równie istotną kwestią jest ochrona zdrowia polskich obywateli i środowiska przed szkodliwym oddziaływaniem pola elektromagnetycznego (EMF).

Niezależna Międzynarodowa Komisja Ochrony przed Promieniowaniem Niejonizującym (ICNIRP)¹ we współpracy ze Światową Organizacją Zdrowia (WHO), w 1998 r. zdefiniowały maksymalne wartości gęstości mocy.² Wartości te zostały potwierdzone w 2009 r.³, a obecnie są one przedmiotem kolejnego przeglądu⁴. Ostateczne wyniki trwającego badania WHO nie zostały jeszcze opublikowane (oczekiwany termin

publikacji w 2017 r.), ale wstępne oceny przedstawione na konferencji w 2016 r. pozwalają oczekiwać, że obecne limity gęstości mocy zalecane przez ICNIRP są nie tylko bezpieczne, ale wręcz mogą zostać podwyższone bez obaw o skutki dla zdrowia⁵.

Chociaż większość krajów europejskich przyjęła międzynarodowe zalecenia odnośnie NIR, kilka krajów, w tym Polska, utrzymało limity na poziomie 10-, a nawet 100-krotnie niższym⁶ (Wykres 4). Ponadto Polska stosuje wyjątkowo rygorystyczną metodykę pomiarów⁷, co łącznie prowadzi do najbardziej restrykcyjnych przepisów odnośnie gęstości mocy w Europie. Żaden z największych europejskich krajów, jak Niemcy, Wielka Brytania, czy Francja, nie nakłada na swój sektor mobilnego Internetu tak surowych ograniczeń.

Pierwotna decyzja o ustaleniu szczególnie niskich maksymalnych wartości gęstości mocy w Polsce oparta była na badaniach przeprowadzonych w Związku Radzieckim w 1984 r. (Wykres 5). 14 lat badań naukowych oraz rosnące doświadczenie z zakresu sieci komórkowych nie zostały wzięte pod uwagę.

1 <http://www.icnirp.org>

2 EMF Guidelines (1998): <http://www.icnirp.org/cms/upload/publications/ICNIRPemfgdl.pdf>; limity określone na drodze badań doświadczalnych i numerycznych, użyty względem ogółu społeczeństwa współczynnik bezpieczeństwa na poziomie 50 przyniósł wynik 200 [W/m²] dla częstotliwości pomiędzy 400 MHz, a 2 GHz oraz 10 [W/m²] dla częstotliwości pomiędzy 2 GHz, a 300 GHz.

3 Pola elektromagnetyczne o wysokiej częstotliwości (100 kHz-300 GHz) – przegląd (2009): <http://www.icnirp.org/en/publications/article/hf-review-2009.html> oraz Oświadczenie dot. Wytycznych EMF (2009): <http://www.icnirp.org/cms/upload/publications/ICNIRPStatementEMF.pdf>.

4 <http://www.icnirp.org/en/activities/work-plan/details/work-plan-hf.html>

5 Eric von Rongen (Przewodniczący, ICNIRP) na BioEM2016 w Gent: http://emfhealth.info/docs/eng/MMF_16_06_05_Workshop-Ghent_2_Rongen_ICNIRP.pdf

6 Ministerstwo Środowiska (2003): <http://isap.sejm.gov.pl/Download?id=WDU20031921883&type=2>

7 Program Akredytacji Laboratoriów Badawczych Wykonujących Pomiary Pola Elektromagnetycznego w Środowisku, Polskie Centrum Akredytacji (2017): <http://www.pca.gov.pl/o-pca/wydarzenia/aktualnosci/komunikat-nr-217-dab-18,237.html>

Wykres 4: LIMITY GĘSTOŚCI MOCY W EUROPIE

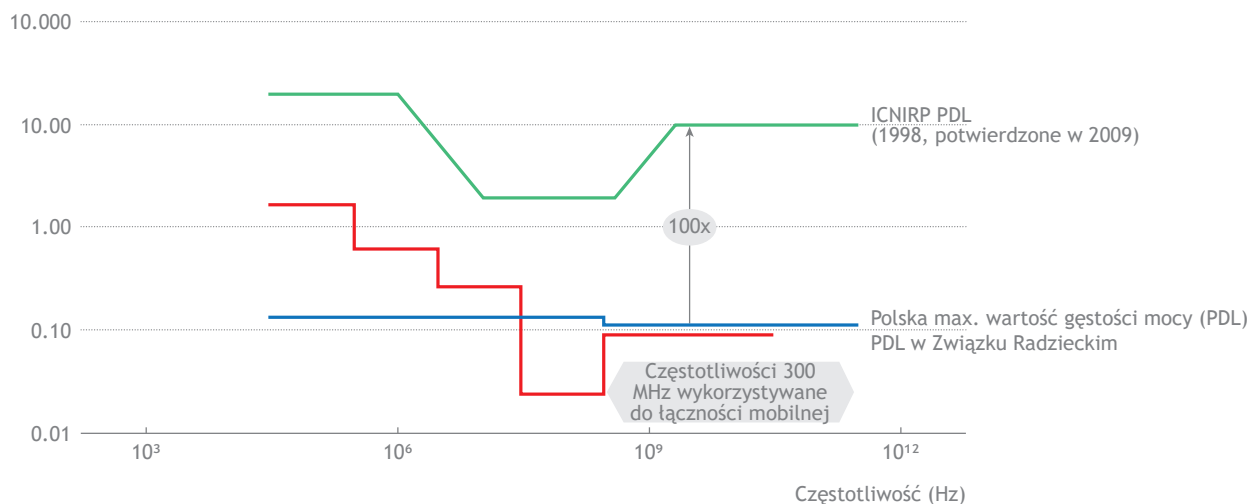
Źródło: GSMA, analiza BCG



Wykres 5: PORÓWNANIE MAKSYMALNYCH WARTOŚCI GĘSTOŚCI MOCY

Źródło: Polskie Ministerstwo Środowiska, libussr.ru, ICNIRP, analiza BCG

Gęstość mocy (W/m²)



Uwaga: Niektóre z maksymalnych wartości określone zostały dla pól elektromagnetycznych E (V/m). Dla porównania wartości te zostały przełożone na gęstość mocy (W/m²) przy pomocy wzoru $E^2/377$, gdzie 377 stanowi impedancję wolnej przestrzeni w omach.

3. Sektor nowoczesnej komunikacji bezprzewodowej oraz technologia 5G mogą być motorami rozwoju gospodarczego Polski

Główne wnioski:

- Sektor nowoczesnej komunikacji bezprzewodowej już teraz wnosi istotną wartość do polskiej gospodarki
- Technologia 5G oraz Przemysł 4.0 będą napędzać rozwój gospodarczy kraju (przewidywane korzyści ekonomiczne to 13 mld euro rocznie) oraz przyczynią się do powstania nawet 570 tys. miejsc pracy
- Nowoczesne technologie bezprzewodowe są elementem niezbędnym dla rozwoju Przemysłu 4.0
- Podstawą dla osiągnięcia korzyści ekonomicznych i rozwoju potrzebnych technologii bezprzewodowych jest sprzyjające i stabilne otoczenie regulacyjne oraz odpowiednia polityka władz państwa

3.1. Sektor komunikacji bezprzewodowej bezpośrednio i pośrednio wpływa na polską gospodarkę

Infrastruktura cyfrowa jest podstawą dla rozwoju gospodarki internetowej i nowoczesnych usług opartych na technologiach. World Economic Forum (WEF) podkreśla pozytywny wpływ, zarówno bezpośredni jak i pośredni, wywierany przez sektor komunikacji bezprzewodowej i nazywa rozwój tych technologii „koniecznością”.¹

Stowarzyszenie Operatorów GSM (GSMA) opublikowało, że: „biorąc pod uwagę bezpośredni i pośredni wpływ oraz efekty wynikające ze wzrostu produktywności, branża Internetu mobilnego wygenerowała 3,1 biliona dol. na rzecz gospodarki światowej w kategoriach dodanej wartości ekonomicznej w 2015 r., co stanowi 4,2% całkowitego światowego PKB.”

1 Delivering Digital Infrastructure: Advancing the Internet Economy (2014; World Economic Forum (WEF) report in collaboration with The Boston Consulting Group): http://www3.weforum.org/docs/WEF_TC_DeliveringDigitalInfrastructure_InternetEconomy_Report_2014.pdf

Przewiduje się, że ekonomiczna wartość dodana generowana przez sektor mobilny osiągnie roczną stopę wzrostu na poziomie 3,7%. Branża mobilna nieustannie napędza innowacje, szybko przechodząc z epoki smartfonów w stronę społeczeństwa sieciowego i cyfryzacji całych sektorów gospodarki.²

PwC, w badaniu analizującym rolę technologii mobilnych w Polsce, szacuje, że rozwój opartego na technologiach mobilnych innowacyjnego przemysłu i usług może w horyzoncie 5-10 lat zwiększyć tempo przyrostu PKB nawet o 1%-2% rocznie.³

3.2. Przyszła technologia mobilna 5G będzie napędzać rozwój gospodarczy i powstawanie nowych miejsc pracy

5G to nowy standard łączności mobilnej, którego możliwości przekraczają obecnie dostępną technologię 4G. Jest on kluczowym elementem niezbędnym dla rozwoju Internetu Rzeczy (Internet of Things –IoT) oraz Przemysłu 4.0. Najważniejsze korzyści technologii 5G to:

- Szerokopasmowy Internet mobilny: szybszy i bardziej niezawodny dla użytkowników
- Stały dostęp bezprzewodowy: ultraszybkie, wysokoprzepustowe stacjonarne łącze szerokopasmowe
- Powszechny Internet Rzeczy: efektywna, tania komunikacja o szerokim zasięgu (np. sieci sensorów, logistyka, tracking)
- Usługi krytyczne: ultraniskie opóźnienie i wysoka niezawodność (np. automatyzacja w przemyśle, autonomiczny transport)

2 GSMA, The Mobile Economy 2016: https://www.gsma.com/mobileeconomy/archive/GSMA_ME_2016.pdf (p. 22-31)

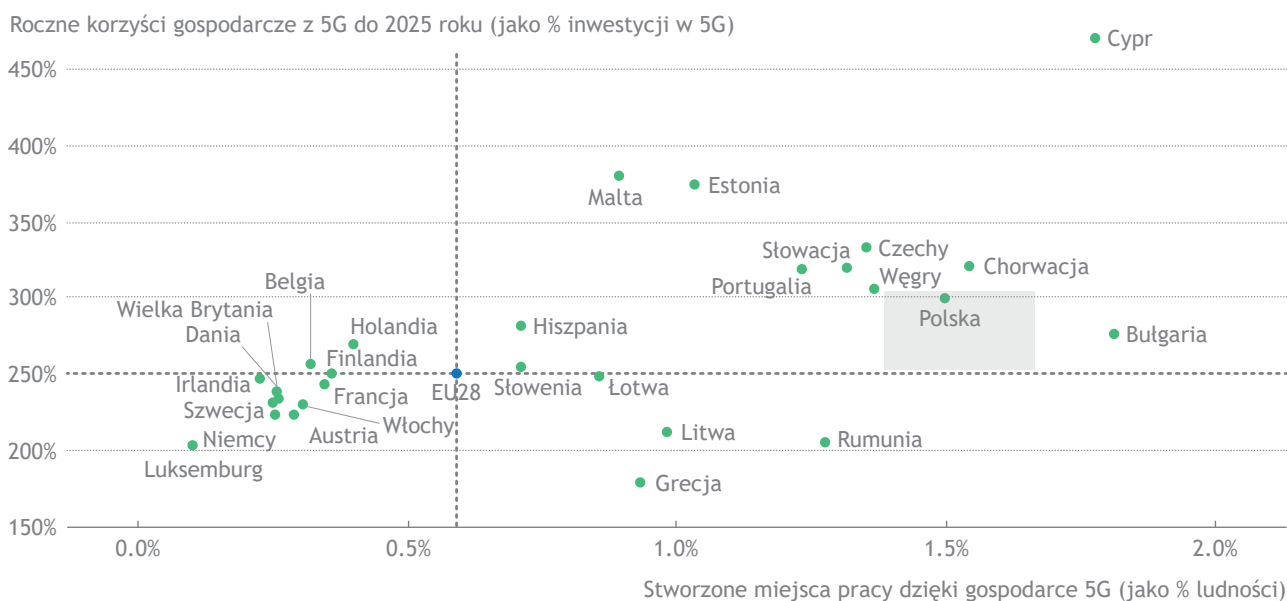
3 PwC, Mobile Technologies in Modern Poland (2016): <https://www.pwc.pl/pl/pdf/technologie-mobilne-raport-pwc.pdf> (p.6.)

W 2016 r. konsorcjum Tech4i2, Real Wireless, CONNECT, Trinity College Dublin oraz InterDigital na zlecenie Komisji Europejskiej przeanalizowało prognozowany wpływ 5G

na gospodarki krajów UE. Badania wskazują, że wprowadzenie technologii 5G w Europie może przynieść korzyści gospodarcze na poziomie 113.1 mld euro rocznie oraz przyczynić się

Wykres 6: ZWROT Z INWESTYCJI W 5G ORAZ TWORZENIE NOWYCH MIEJSC PRACY

Źródło: Tech4i2, Real Wireless, CONNECT, Trinity College Dublin oraz InterDigital dla Komisji Europejskiej, analiza BCG



do powstania 2.3 mln miejsc pracy do 2025 r.¹ (przy inwestycjach na poziomie 56.6 mld euro). W przypadku Polski korzyści gospodarcze są szacowane na 13 mld euro rocznie przy nakładach inwestycyjnych na poziomie 4.3 mld euro. Nasz kraj miałby szansę zyskać 570 tys. nowych miejsc pracy do 2025 r. Wprowadzenie technologii 5G otwiera przed Polską szansę na korzyści większe, niż przed innymi krajami Europy (Wykres 6).

Polska Izba Gospodarki Cyfrowej podziela pogląd o znaczeniu sektora telekomunikacji mobilnej. Izba wskazała 12 obszarów priorytetowych dla rozwoju Przemysłu 4.0². Technologie łącznie

ści mobilnej są kluczową dźwignią dla większości z tych obszarów.

Wszyscy najważniejsi interesariusze – rząd (za pośrednictwem poszczególnych ministerstw), instytucje regulacyjne oraz operatorzy sieci komórkowych – wskazują podobne punkty krytyczne dla rozwoju społeczno-ekonomicznego kraju: budowę konkurencyjnej infrastruktury cyfrowej, bezpiecznej dla ludzi i środowiska naturalnego, zdobycie pozycji lidera we wdrażaniu technologii 5G oraz Przemysłu 4.0 w Europie. Realizacja tych ambicji będzie wymagała wsparcia i zaangażowania wszystkich interesariuszy. Podstawą do tego, aby infrastruktura cyfrowa mogła wspierać rozwój gospodarczy kraju, jest sprzyjające i stabilne otoczenie regulacyjne oraz sprzyjająca polityka państwa.

¹ Tech4i2, Real Wireless, CONNECT, Trinity College Dublin and InterDigital for the European Commission: Identification and quantification of key socio-economic data to support strategic planning for the introduction of 5G in Europe: <https://ec.europa.eu/digital-single-market/en/news/5g-deployment-could-bring-millions-jobs-and-billions-euros-benefits-study-finds>

² Polish National Chamber of the Digital Economy (2017): <http://>

4. Limity gęstości mocy w Polsce już teraz negatywnie wpływają na wdrożenie 4G oraz wrażenia użytkowników sieci

Główne wnioski:

- Pod względem prędkości Internetu 4G Polska znajduje się w ogonie Europy, co przekłada się na wrażenia użytkowników
- Nadkłady kapitałowe polskich operatorów mobilnych nie odstają od europejskiej średniej, co oznacza, że źródłem problemów nie jest „niedoinwestowanie” infrastruktury

W 2014 r. GSMA¹, wiodące światowe stowarzyszenie operatorów sieci komórkowych, stwierdziło, że obowiązujące w Polsce limity gęstości mocy są poważnym czynnikiem ograniczającym wdrażanie sieci 4G².

Skutkiem restrykcyjnych limitów gęstości mocy jest „marnowania widma” oraz „mniejsza elastyczność budowy sieci”, co oznacza trudniejsze miejsca lokalizacji stacji bazowych i ich mniej optymalne położenie. Inne konsekwencje obowiązujących limitów to również ograniczony zasięg, mniej możliwości współdzielenia masztów oraz konieczność budowania większej liczby stacji dla utrzymania tego samego poziomu usług.

W oparciu o wyniki badania, w którym znalazło się również konkretne studium przypadku Polski, GSMA:

- wezwało Komisję Europejską do promowania dobrych praktyk i międzynarodowych wytycznych w krajach członkowskich poprzez harmonizację zasad dopuszczalnych wartości ekspozycji na pole elektromagnetyczne/częstotliwości radiowe (EMF/RF),
- zaapelowało do krajów członkowskich

o stosowanie się do zaleceń Komisji Europejskiej z 1999 r. oraz najnowszej opinii SCENIHR (Komitet Naukowy ds. Pojawiających się i Nowo Rozpoznanych Zagrożeń dla Zdrowia) mówiących, że zasady dopuszczalnych wartości ekspozycji powinny być oparte na międzynarodowych wytycznych,

- wezwało Komisję Europejską i kraje członkowskie do przyjęcia polityki opartej na dowodach naukowych, które pozwolą na wdrożenie mobilnego Internetu szerokopasmowego i innych technologii bezprzewodowych.

Nie powinno być zaskoczeniem, że pomimo wysiłków operatorów sieci komórkowych, polscy konsumenci korzystają obecnie z najwolniejszego Internetu 4G w całej Europie: średnio 20 Mbps w IV kwartale 2017 r. w porównaniu z 42 Mbps w Norwegii (różnica ponad 50%). (Wykres 7).

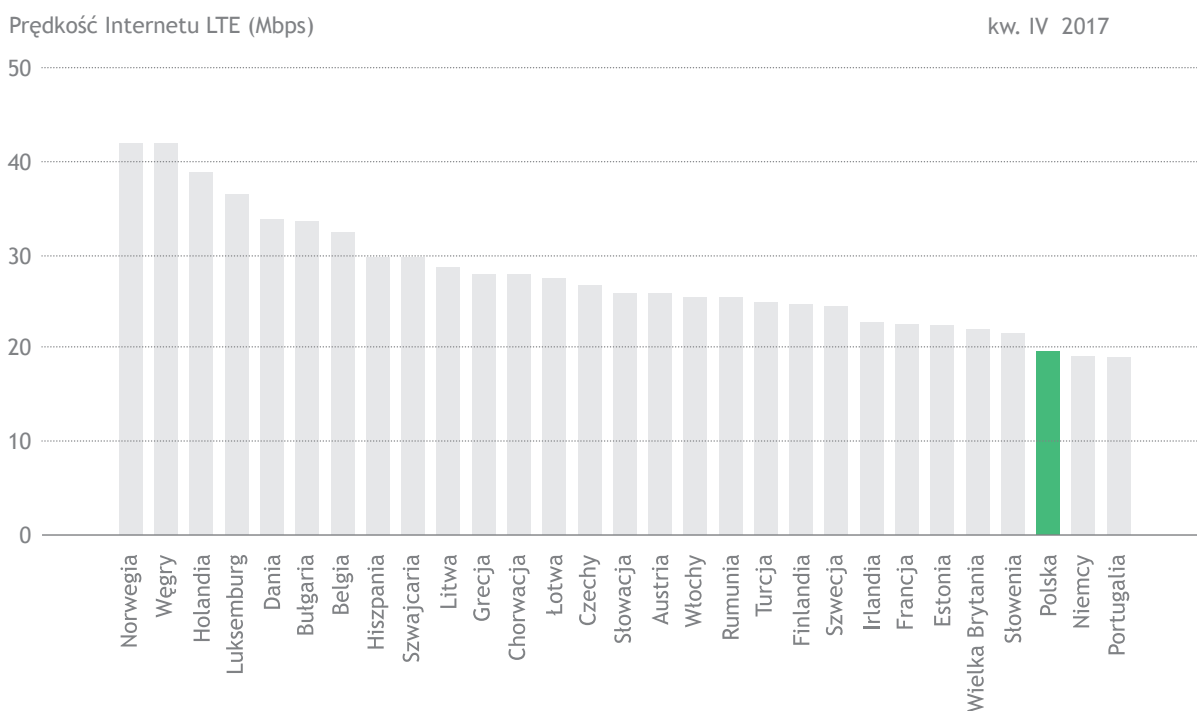
Należy przy tym zauważyć, że nakłady inwestycyjne polskich operatorów w wysokości 15% wpływów z usług telefonii komórkowej w latach 2012-2016 są w pełni zgodne ze średnią europejską, a nawet powyżej poziomu Węgier, wiodących pod względem prędkości Internetu. (Wykres 8).

1 <http://www.gsma.com>

2 GSMA, Arbitralne limity gęstości mocy i ich wpływ na wdrożenie sieci 4G (2014): https://www.gsma.com/publicpolicy/wp-content/uploads/2014/03/Arbitrary-Radio-Frequency-exposure-limits_Impact-on-4G-networks-deployment_WEB.pdf

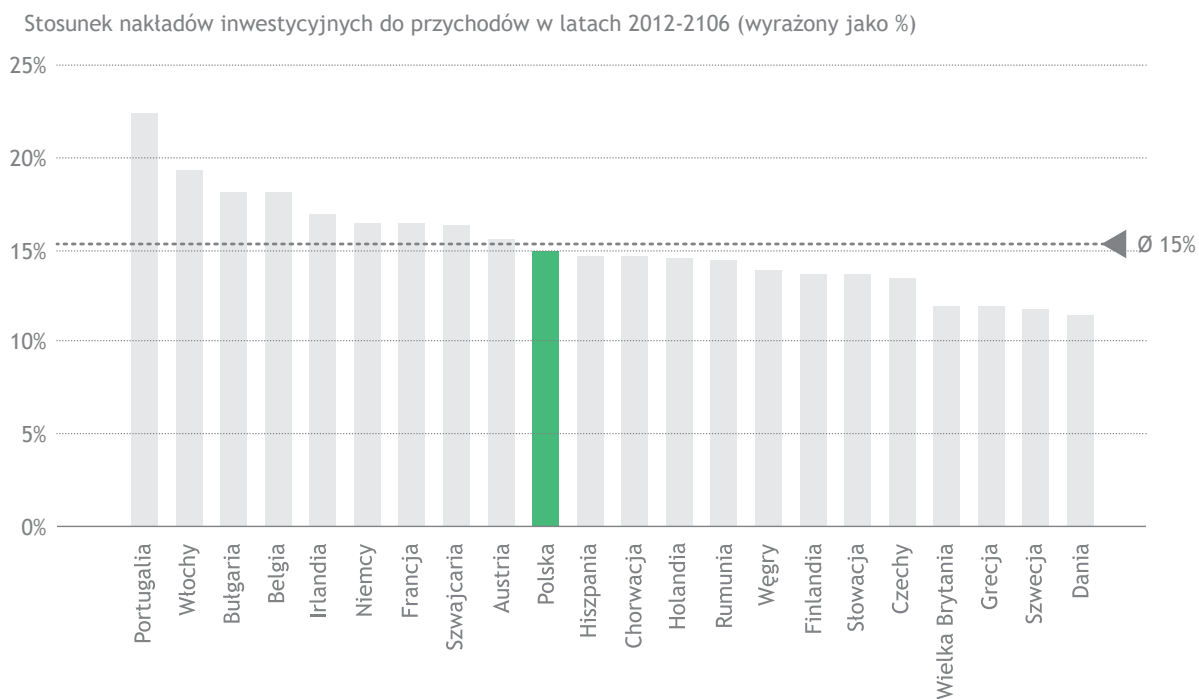
Wykres 7: SZYBKOŚĆ TRANSFERU DANYCH 4G W EUROPIE

Źródło: Open Signal Benchmark 2017, analiza BCG



Wykres 8: STOSUNEK NAKŁADÓW INWESTYCYJNYCH DO PRZYCHODÓW OPERATORÓW KOMÓRKOWYCH

Źródło: OVUM, analiza BCG



5. Limity gęstości mocy ograniczą szanse na rozwój technologii 5G i Przemysłu 4.0 w Polsce. Rolę liderów przejmą inne kraje

Główne wnioski:

- Rząd chce, aby Polska stała się liderem technologii 5G
- Restrykcyjne limity gęstości mocy uniemożliwią pełne wdrożenie 5G sprawiając, że pod względem infrastruktury cyfrowej Polska znajdzie się w ogonie Europy
- Limity gęstości mocy wpływają na trzy dzwignie rozwoju infrastruktury mobilnej: widmo, innowacje technologiczne oraz stacje bazowe
 - Częstotliwości radiowe udostępniane na potrzeby 5G lub innych technologii nie zostaną efektywnie wykorzystane na całym obszarze kraju. Ograniczenia dotkną przede wszystkim gęsto zaludnione obszary miejskie, gdzie zapotrzebowanie na usługi jest szczególnie wysokie. Skutkiem będzie erozja wartości widma
 - Nowe technologie mobilne nie będą mogły zostać wdrożone, spowoduje to ograniczenie innowacji technologicznych w Polsce
 - Trudności w pozyskaniu nowych lokalizacji sprawiają, że również budowa nowych stacji bazowych nie będzie mogła zrekompensować niewykorzystanego potencjału widma oraz innowacji technologicznych
- Wymagania technologii 5G oraz Przemysłu 4.0 zostaną tylko częściowo zaspokojone; Polska przegra wyścig o bycie liderem w Przemysle 4.0
- Limity gęstości mocy mogą stanowić zagrożenie dla osiągnięcia oczekiwanych korzyści społecznoekonomicznych związanych z rozwojem technologii 5G, szczególnie dla tworzenia nowych miejsc pracy

Polska ma ambitne plany wprowadzenia superszybkiego Internetu szerokopasmowego i jest zdeterminowana, by do 2020 r. zapewnić prędkość

30 Mbps każdemu obywatelowi, a 100 Mbps nawet połowie ludności Polski. Sieci bezprzewodowe odgrywają w tych planach znaczącą rolę ze względu na słabo rozwiniętą infrastrukturę stacjonarnych sieci szerokopasmowych i ich niskiej penetracji, która plasuje Polskę na szarym końcu w zestawieniu wszystkich krajów europejskich.

Ministerstwo Rozwoju zadeklarowało, że technologia 5G zostanie wdrożona we wszystkich obszarach miejskich oraz wzdłuż najważniejszych szlaków komunikacyjnych przed 2025 r. Dostęp do szybkiego Internetu wspiera transformację cyfrową i rozwój społeczno-ekonomiczny i jest kluczowy z punktu widzenia realizacji postawionego przez rząd celu, jakim jest osiągnięcie 80% poziomu dochodu per capita Europy do 2020 r. oraz 100% do 2030 r.¹

Poza chęcią dogonienia innych krajów europejskich, polski rząd podkreśla, że dzięki infrastrukturze cyfrowej możliwe będzie rozwinięcie w Polsce Przemysłu 4.0, a kraj stanie się prekursorem implementacji mobilnej technologii nowej generacji 5G.²

Obowiązujące obecnie limity gęstości mocy wpływają negatywnie na wszelkie potencjalne dzwignie dla sieci komórkowych – widmo, technologię (określającą wydajność widma) oraz topologię sieci (liczba stacji bazowych i sektorów). Pojemność bezprzewodowej stacji bazowej jest bezpośrednio zależna od ilości widma, wydajności spektralnej³ oraz liczby stacji bazowych (i sektorów).

1 Ministerstwo Rozwoju, Strategia Odpowiedzialnego Rozwoju (2017): https://www.mr.gov.pl/media/36848/SOR_2017_maly_internet_03_2017_aa.pdf (p. 7, p. 295/296).

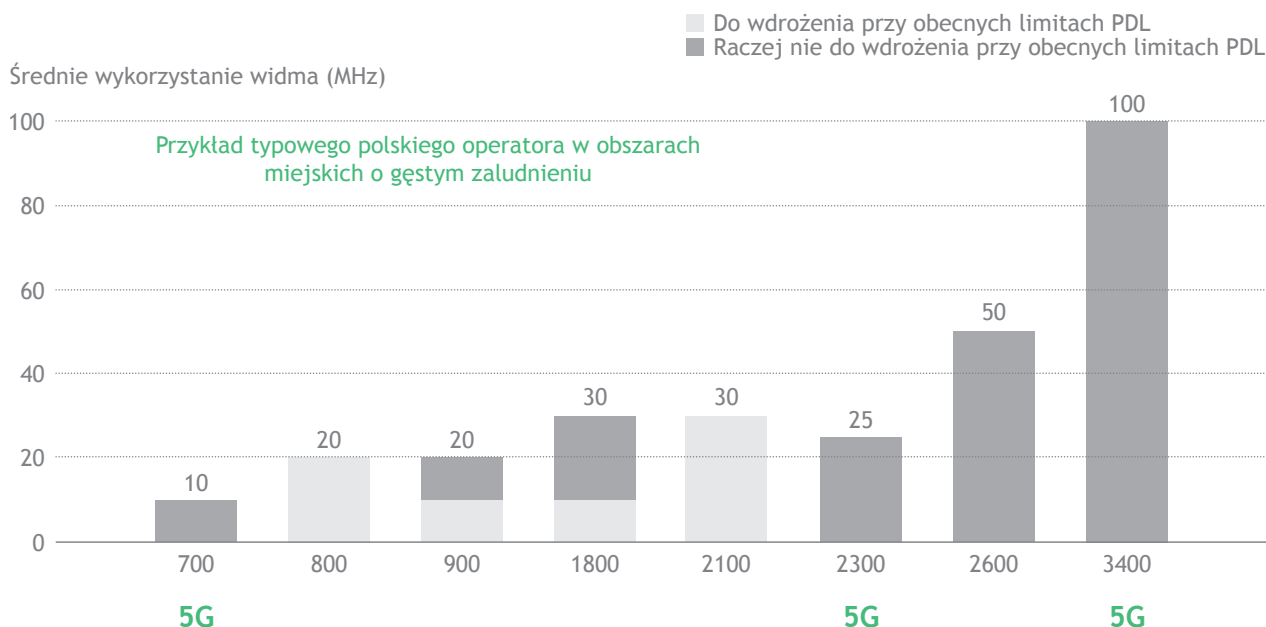
2 Ministerstwo Cyfryzacji, Umowa na 5G dla Polski (2017): https://www.piit.org.pl/__data/assets/pdf_file/0023/5486/Porozumienie-5G_29.06.2017.pdf.

3 Efektywność wykorzystania widma zależna od technologii, np. technologia wykorzystująca anteny taka, jak MIMO.

Wpływ limitów gęstości mocy (polskie PDL w porównaniu do ICNIRP) na rozwój sieci, tj. wykorzystanie widma, technologii i stacji bazowych, został poddany symulacji, którą zespół BCG przeprowadził u wszystkich czterech polskich operatorów telefonii komórkowej. Wyniki przedstawione są poniżej.

Wykres 9: ŚREDNIE WYKORZYSTANIE WIDMA

Źródło: Polscy operatorzy sieci komórkowych, analiza BCG



Uwaga: Możliwe dodatnie pasma 1500MHz w przyszłości

5.1. Dźwignia 1: Widmo nie może być w pełni wykorzystane

Duże bloki częstotliwości są niezbędne do wdrożenia technologii 5G i tym samym zwiększenia prędkości i wydajności Internetu mobilnego. Dodatkowe bloki częstotliwości, np. 60 MHz¹ w paśmie 700 MHz, 100 MHz w paśmie 2300 MHz, czy 400 MHz w zakresie widma 3,4-3,8 GHz w najbliższej przyszłości zostaną udostępnione dla komunikacji komórkowej 4G i 5G. Podwoi to ilość dostępnego widma oraz pojemność sieci komórkowych w Polsce.

Jednak udostępnienie dodatkowego widma na istniejących stacjach bazowych zwiększy promieniowanie niejonizujące, co z kolei podniesie poziom

gęstości mocy. W obszarach miejskich i gęsto zaludnionych obszarach miejskich², gdzie odległość między anteną i ludźmi jest już i tak niewielka, restrykcyjne polskie limity gęstości mocy sprawiają, że na większości bazowych operatorzy nie będą mogli wykorzystać dodatkowego widma.

Operator sieci w Polsce posiada dziś średnio 150 MHz widma na częstotliwościach 800, 900, 1800, 2100 i 2600 MHz. Na gęsto zaludnionych terenach miejskich z tych 150 MHz operatorzy mogą wykorzystać zaledwie ok. 70 MHz. To oznacza, że z powodu limitów gęstości mocy ok. 80

¹ 2x30 MHz FDD.

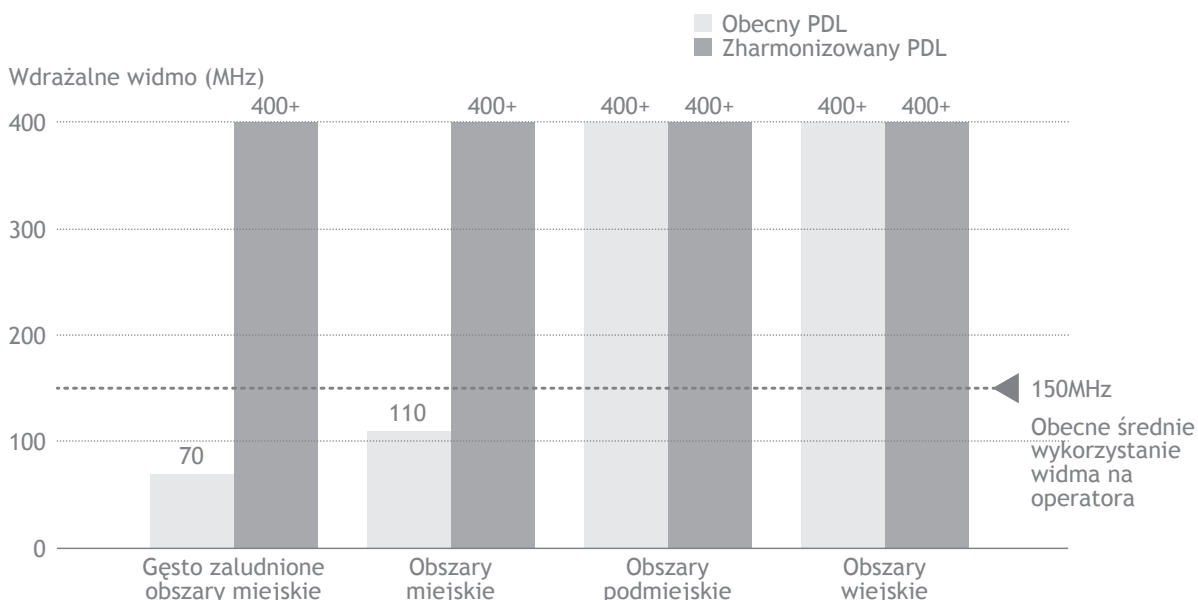
² Obszar miejski o gęstym zaludnieniu: 0,4% powierzchni i 10% ludności (średnia populacja - 3000 os/km²); obszar miejski: 4% powierzchni i 39% ludności (średnia populacja - 1150 os/km²); obszar podmiejski: 33% powierzchni i 23% ludności; obszar wiejski: 62% powierzchni i 28% ludności (źródło: analiza BCG, dane z polskiego powszechnego spisu ludności).

MHz dostępnego dziś spektrum nie może być wykorzystane na gęsto zaludnionych terenach miejskich i po prostu się marnuje (Wykres 9). Co więcej, na gęsto zaludnionych terenach miejskich nie ma możliwości wykorzystania żadnych innych pasm częstotliwości: 700, 2300 czy 3400 MHz – bez względu, czy miałyby być przeznaczone dla 5G czy dla innych rodzajów technologii. Z kolei na terenach miejskich operatorzy mogą wykorzystać tylko ok. 110 MHz widma (Wykres 10). Efektem powyższego jest zmniejszenie wartości widma dla operatorów – jeśli operatorzy nie mogą efektywnie wykorzystać przyznanych częstotliwości, to nie stanowią one dla nich wartości.

Zharmonizowanie polskich maksymalnych wartości gęstości mocy ze standardami ICNIRP usunęłoby blokadę widma: wszystkie obecne częstotliwości oraz pasma udostępnione w najbliższej przyszłości mogłyby być efektywnie wykorzystane przez operatorów sieci komórkowych, również w obszarach miejskich i obszarach miejskich o gęstym zaludnieniu (Wykres 10). Udostępnienie nowego widma jest skutecznym sposobem na szybkie zwiększenie wydajności sieci komórkowych, zanim pojawią się luki wydajnościowe.

Wykres 10: ŚREDNIE WYKORZYSTANIE WIDMA PRZY OBECNYM I ZHARMONIZOWANYM PDL

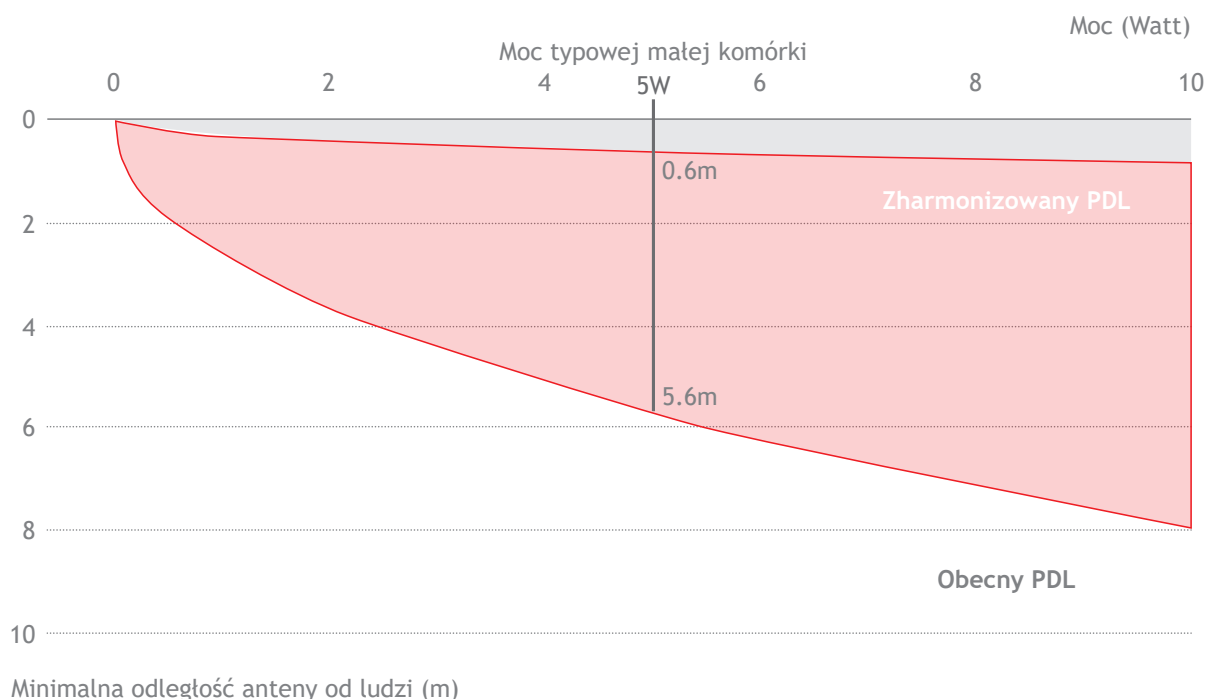
Źródło: Polscy operatorzy sieci komórkowych, analiza BCG



Uwaga: Na podstawie uproszczonego modelu propagacji (skalibrowanego zgodnie ze wskazówkami operatorów)

Wykres 11: MINIMALNA ODLEGŁOŚĆ ANTENY OD LUDZI

Źródło: Doświadczenie BCG ze studium przypadku, analiza BCG



Uwaga: na podstawie uproszczonego modelu propagacji 1/8 sfery

5.2. Dźwignia 2: Ograniczone pole do wykorzystania innowacji technologicznych

Nowe technologie antenowe takie jak Massive MIMO¹, kształtowanie wiązki (beamforming)², czy małe komórki są kluczowymi elementami przyszłych sieci komórkowych 5G.

Obowiązujące limity gęstości mocy w większości przypadków nie pozwalają operatorom sieci komórkowych na pełne wykorzystanie tych nowych technologii (Wykres 11).

- Zastosowanie kształtowania wiązki, czyli dalszego wzmocnienia wiązki z anteny, bardzo szybko spowodowałoby przekroczenie

obecnie dopuszczalnych limitów gęstości mocy

- Wykorzystanie małych komórek w hotspotach nie byłoby wykonalne przy obecnych limitach gęstości mocy, które uniemożliwiają instalację dużej ilości małych komórek ze względu na małą odległość pomiędzy anteną a ludźmi

Oba przykłady technologii – kształtowanie wiązki i małe komórki – byłyby niezbędne do zapewnienia większej wydajności sieci w obszarach miejskich i miejskich gęsto zaludnionych.

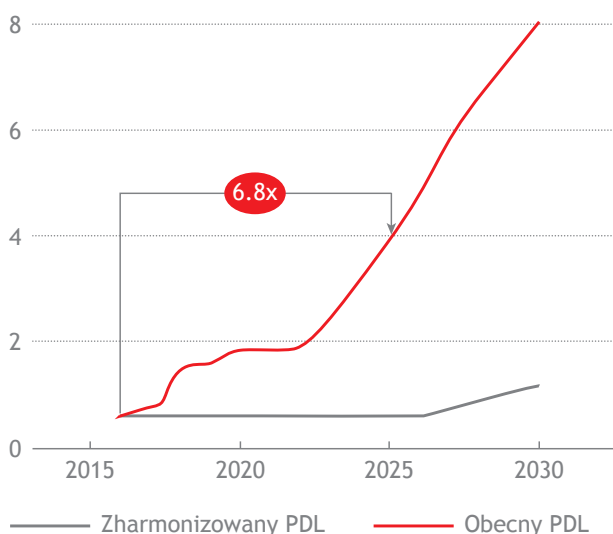
¹ Multiple-input and multiple-output (MIMO) jest metodą zwiększania wydajności łącza radiowego poprzez wykorzystanie wielu anten transmitujących i odbierających wykorzystujących propagację wielodrogową.

² Kształtowanie wiązki jest metodą przetwarzania sygnału dla transmisji lub odbioru sygnałów kierunkowych (w przeciwieństwie do dookólnych rozwiązań).

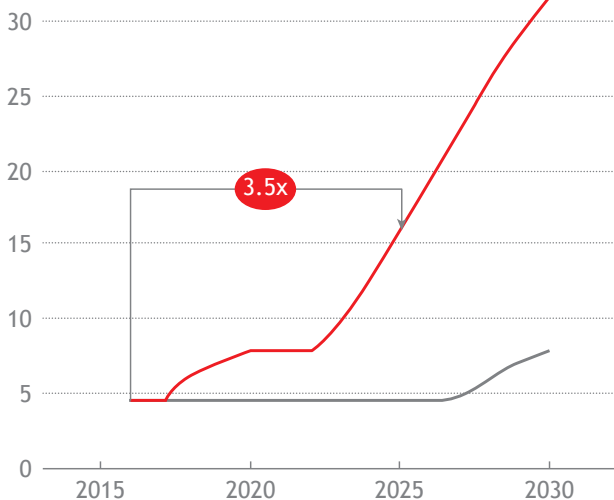
Wykres 12: ESTYMACJA LICZBY STACJI BAZOWYCH W OBSZARACH MIEJSKICH I GĘSTO ZALUDNIONYCH OBSZARACH MIEJSKICH

Źródło: Symulacja sieci BCG, analiza BCG

Obszar: miejski o dużej gęstości zaludnienia
Liczba stacji bazowych (w tysiącach)



Obszar: miejski
Liczba stacji bazowych (w tysiącach)



Uwaga: Na podstawie symulacji sieci typowego polskiego operatora

5.3. Dźwignia 3: Możliwość zagęszczenia siatki stacji bazowych jest ograniczona

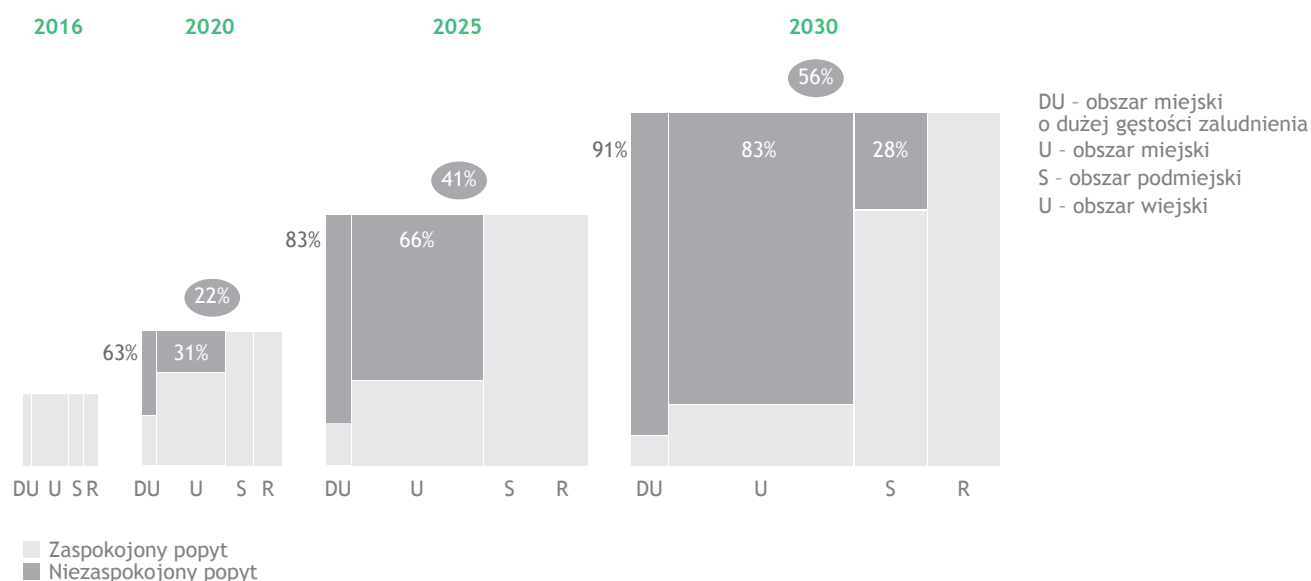
Zagęszczenie sieci komórkowej poprzez dodanie nowych stacji bazowych byłoby trzecią, najdroższą i najbardziej czasochłonną, dźwignią zwiększenia pojemności sieci. Aby poradzić sobie ze skokowo rosnącym zapotrzebowaniem na przesył danych i zakładając, że dźwignie widma i technologii nie będą mogły zostać wykorzystane, operatorzy sieci komórkowych musieliby zwiększyć liczbę stacji bazowych w obszarach miejskich 3,5-krotnie do 2025 r. i prawie 7-krotnie w obszarach miejskich o gęstym zaludnieniu (Ilustracja 12).

Cele te są zupełnie nierealistyczne w świetle obecnych problemów operatorów sieci komórkowych z uruchomieniem zaledwie kilku nowych stacji bazowych w obszarach miejskich i miejskich gęsto zaludnionych – powodem jest bardzo długi czas oczekiwania na zezwolenia oraz próby opóźnienia czy

wręcz zablokowania budowy nowych stacji bazowych. Ponadto już i tak gęsta siatka sieci komórkowej z niewielkimi odległościami między stacjami bazowymi i między stacjami a budynkami odbiera operatorom sieci komórkowych możliwość jeszcze większego zagęszczenia sieci w granicach obowiązujących limitów gęstości mocy.

Wykres 13: ODSETEK NIEZASPOKOJONEGO POPYTU NA TRANSMISJĘ DANYCH W SIECIACH KOMÓRKOWYCH

Źródło: Symulacja sieci BCG, analiza BCG



Uwaga: Ruch stosunkowo do wielokrotności ruchu - indeksowany wg popytu w 2016 roku (wskazany, jako odniesienie)

5.4. Ucierpią przyszłe wrażenia konsumentów korzystających z sieci 5G, a jej pełne wdrożenie nie będzie możliwe

Wspomniane ograniczenia we wdrażaniu nowego widma, technologii, zwiększaniu liczby nowych stacji bazowych¹, jako wynik rygorystycznych limitów gęstości mocy sprawia, że luka pomiędzy dostępną pojemnością a popytem na transmisję danych będzie bardzo szybko rosnąć.

Wykres 13 pokazuje rosnącą przepaść pomiędzy popytem i podażą usług przesyłu danych: W 2020 r. popyt na transmisję danych już o 22% przekroczy możliwości istniejącej infrastruktury (przy czym w miastach przerost popytu nad podażą wyniesie 31%, a w obszarach gęsto zaludnionych 63%). W 2025 r. ta przepaść między popytem a podażą wzrośnie do 41%, a w 2030 r. do 56%. Wyniki te są jeszcze bardziej uderzające w obszarach miejskich i miejskich gęsto zaludnionych, gdzie mieszka prawie połowa ludności Polski.

¹ Założenie: 20% dodatkowych stacji bazowych w porównaniu ze stanem obecnym.

Operatorzy w Polsce nie będą mieli większego wyboru niż zaakceptować sytuację niezaspokojonego popytu i falę frustracji ze strony swoich klientów. Przyjmując taki scenariusz należy przewidywać, że wdrożenie innowacji powiązanych z technologią 5G, takich jak Extreme Mobile Broadband (eMBB), Rzeczywistość Rozszerzona/Wirtualna (AR/VR), może okazać się niezmiernie trudna. Luka w pojemności sieci przyczyni się dodatkowo do powstania poważnych problemów w dostępie do mobilnej sieci oraz negatywnie wpłynie na parametr jakościowy: opóźnienie (latency). To z kolei może uniemożliwić korzystanie z technologii niskiego opóźnienia 5G takich, jak usługi ratownicze w sytuacjach kryzysowych czy autonomiczna dostawa przy wykorzystaniu dronów.

Polsce grozi to, że pozostanie bez faktycznej sieci 5G – w przeciwieństwie do większości krajów UE. Tym samym Polska może stracić prymat w wyścigu o 5G i Przemysłu 4.0.

5.5. Obowiązujące w Polsce limity gęstości mocy stawiają na szali spodziewane korzyści społeczno-ekonomiczne z wdrożenia technologii 5G

Przedstawione powyżej szczegółowe symulacje pokazują, że obowiązujące w Polsce limity gęstości mocy mogą uniemożliwić rozwój technologii i zwiększania przepustowości przesyłu danych w sieciach mobilnych. Kraj stanie w obliczu rosnącej luki między zapotrzebowaniem na transfer danych a możliwościami infrastrukturalnymi.

Brak technologii 5G oznacza również, że pod

znakiem zapytania stają oczekiwane korzyści społeczno-gospodarcze, zarówno w wymiarze wskaźników ekonomicznych jak i szans na stworzenie pół miliona miejsc pracy (patrz rozdział 3 *Sektor nowoczesnej komunikacji bezprzewodowej oraz technologia 5G mogą być motorami rozwoju gospodarczego Polski*).

6. Podsumowanie

Polska ma najniższe i najbardziej restrykcyjne limity gęstości mocy w Europie. To właśnie te restrykcyjne limity wpływają negatywnie na wszystkie potencjalne dźwignie usprawnienia infrastruktury bezprzewodowej w Polsce:

- widmo radiowe nie może być efektywnie wykorzystane, co prowadzi do jego marnotrawienia i dewaluacji tego deficytowego zasobu,
- nowe technologie komórkowe nie mogą zostać wdrożone, co blokuje rozwój innowacji technologicznych w Polsce,
- nowe stacje bazowe są trudne do uruchomienia przez co możliwości zrównoważenia niekorzystnej sytuacji widma i technologii zostają zaprzepaszczone.

Użytkownicy sieci komórkowych już dziś odczuwają pierwsze negatywne skutki restrykcyjnych wartości maksymalnych gęstości sieci: Polska ma najwolniejszy Internet mobilny 4G w Europie, pomimo starań polskich operatorów i nakładów inwestycyjnych nieodbiegających od średniej europejskiej.

Pod znakiem zapytania staje możliwość realizacji celów polskiego rządu, który chciałby aby

Polska znalazła się wśród europejskich liderów technologii 5G, Przemysłu 4.0 oraz aby posiadała konkurencyjną infrastrukturę cyfrową bezpieczną dla ludzi i środowiska.

Aby zapobiec negatywnym skutkom społecznym i gospodarczym, Polska powinna zharmonizować obowiązujące limity gęstości mocy z bezpiecznymi normami rekomendowanymi przez WHO i ICNIRP, tj. 10 W/m².

Dodatek: metodologia modelowania

Przeprowadziliśmy symulację wdrożenia sieci dla wszystkich operatorów działających w Polsce. Symulacja uwzględnia istniejącą infrastrukturę bezprzewodową (ze szczególnym uwzględnieniem infrastruktury stacji bazowych oraz częstotliwości udostępnionych operatorom, danych demograficznych oraz prognoz zapotrzebowania na przesył danych). Przeprowadziliśmy analizy jak zmieni się popyt na przesył danych do 2030 r. i określiliśmy niezbędną przepustowość sieci (np. liczbę nowych stacji bazowych, remonty i upgrade działających stacji bazowych, wykorzystanie technologii małych komórek). Przewidywana rozbudowa infrastruktury została dostosowana do różnych scenariuszy zmian limitów gęstości mocy.

Przeprowadzone symulacje porównują zapotrzebowanie na przesył danych w każdym roku z możliwościami infrastruktury oraz aktualizują przepustowość sieci. Pojemność sieci jest funkcją dostępnych częstotliwości [MHz] pomnożonych przez ich pojemność [bit na sekundę i Hz], a następnie pomnożoną przez liczbę stacji bazowych oraz sektorów. Przeanalizowaliśmy wszystkie trzy dźwignie, sprawdzając możliwości zwiększenia pojemności sieci.

- Nowe częstotliwości: dodatkowe częstotliwości radiowe zostaną wkrótce udostępnione na potrzeby łączności 4G i 5G, na przykład 60 MHz w paśmie 700 MHz, 100 MHz w paśmie 2300 MHz i 400 MHz w paśmie 3,4-3,8 GHz.
- Bardziej efektywne rozwiązania technologiczne: nowe technologie, takie jak MIMO (4x4, 8x8 lub masywne MIMO) lub kształtowanie wiązek, zwiększą wydajność widma.
- Zagęszczenie sieci stacji bazowych: dodaliśmy nowe wieże nadawcze i anteny dachowe oraz uwzględniliśmy wykorzystanie małych komórek w gęsto zaludnionych obszarach miejskich.

Symulacja zakłada, że działania podwyższające przepustowość sieci są przeprowadzane co roku, według kryterium ich efektywności kosztowej. Pojemność jest zwiększana tylko wtedy, gdy pozwalają na to limity gęstości mocy. Na potrzeby zbadania relacji między limitami gęstości mocy, zasięgu i pojemności, zastosowaliśmy model propagacji radiowej Hata.

Określiliśmy specjalne strategie rozbudowy sieci oraz wykorzystania spektrum na gęsto zaludnionych obszarach miejskich, obszarach miejskich, podmiejskich i wiejskich. Przykładowo, technologia małych komórek jest wdrażana tylko na gęsto zamieszkałych obszarach miejskich i wiejskich, ale już nie na obszarach wiejskich.

Słowniczek¹

Absorbacja. W propagacji fal radiowych, tłumienie fali radiowej spowodowane rozproszeniem energii, tzn. konwersja energii w inną jej formę, np. ciepło.

Anteny. Struktury fizyczne transmitujące i odbierające fale radiowe.

Typy obszarów. Klasyfikacja stacji bazowych w zależności od liczby ludności, obszaru i odległości pomiędzy poszczególnymi lokalizacjami stacji bazowych; dla celów niniejszego raportu zdefiniowano cztery typy obszarów: miejski gęsto zaludniony, miejski, podmiejski i wiejski.

Stacja bazowa. Termin ogólnie stosowany dla urządzeń telekomunikacyjnych składający się z kontrolera, nadajników, odbiorników i anten. Obejmuje wszystkie rozmiary stacji, zarówno mikrokomórki, jak i makrokomórki.

Kształtowanie wiązki (beamforming). Technika przetwarzania sygnału dla transmisji lub odbioru sygnałów kierunkowych (w przeciwieństwie do wszechkierunkowych).

Natężenie pola elektrycznego. Natężenie (E) wyrażone jako siła działająca na jednostkowy dodatni ładunek w polu elektrycznym; mierzone w woltach na metr (V/m).

Pole elektromagnetyczne (EMF). Pole fizyczne wytwarzane przez elektrycznie naładowane obiekty.

Częstotliwość. Liczba cykli zrealizowanych przez fale elektromagnetyczne w 1 sekundzie; zazwyczaj wyrażana w Hercach (Hz).

Frequency division duplexing (FDD). Tryb komunikacji między nadajnikiem a odbiornikiem, w którym nadajnik i odbiornik operują na różnych częstotliwościach nośnych.

Stowarzyszenie Operatorów GSM (GSMA). Izba reprezentująca operatorów sieci komórkowych na całym świecie. Około 800 operatorów sieci komórkowych to pełnoprawni członkowie GSMA, a 300 innych firm z szerzej pojmowanego ekosystemu komórkowego to członkowie stowarzyszeni.

Przemysł 4.0. Nazwa obecnego trendu automatyzacji i wymiany danych w technologii produkcji.

Międzynarodowa Komisja ds. Ochrony przed Promieniowaniem Niejonizującym (ICNIRP). Publicznie finansowany organ składający się z niezależnych ekspertów i naukowców. W skład organu wchodzi: Komisja Główna składająca się z 14 członków, Grupa Ekspertów ds. Naukowych oraz Grupy Projektowe. Działania komisji koncentrują się na badaniu kwestii związanych

1. GSMA, GSMA, Arbitralne limity gęstości mocy i ich arbitralne ograniczenia narażenia na częstotliwości radiowe: wpływ na wdrożenie sieci 4G (2014): https://www.gsma.com/publicpolicy/wp-content/uploads/2014/03/Arbitrary-Radio-Frequency-exposure-limits_Impact-on-4G-networks-deployment_WEB.pdf

ICNIRP, Wytyczne dotyczące ograniczenia narażenia na pola elektryczne, magnetyczne i elektromagnetyczne (do 300 GHz) (1998): <http://www.icnirp.org/cms/upload/publications/ICNIRPemfgdl.pdf>

ITU, IMT na 2020 rok i po nim (2017): <http://www.itu.int/en/ITU-R/study-groups/rsg5/rwp5d/imt-2020/Pages/default.aspx>

IEEE, Scenariusze dla łączności bezprzewodowej 5G: koncepcja projektu METIS (2014): <http://ieeexplore.ieee.org/document/6815890>

z potencjalnymi niekorzystnymi skutkami promieniowania niejonizującego na zdrowie ludzi.

4G/LTE. Standard bezprzewodowego transferu danych dla telefonów komórkowych i terminali danych. Standard ten opiera się na technologiach GSM/EDGE i UMTS/HSPA, które zwiększają efektywność i prędkość przesyłania danych wykorzystując nowy interfejs radiowy oraz ulepszoną sieć bazową.

Makrokomórka. Stacja bazowa zapewniająca duży zasięg (o promieniu kilku kilometrów), czym różni się od mikrokomórek, picokomórek i femtokomórek.

Mikrokomórka. Komórka w sieci telefonii komórkowej, która jest obsługiwana przez stację bazową o małej mocy, obejmuje ograniczony obszar, np. centrum handlowe, hotel lub węzeł komunikacyjny. Mikrokomórka jest zazwyczaj nie większa niż picokomórka, chociaż czasami rozróżnienie jest trudne. Mikrokomórka wykorzystuje kontrolę mocy, aby ograniczyć promień swojego zasięgu.

Multiple-input and multiple-output (MIMO). Korzystanie z wielu anten zarówno przy transmitowaniu, jak i odbieraniu sygnału w celu poprawy efektywności komunikacji. Jest to jedna z wielu form technologii inteligentnych anten.

Promieniowanie niejonizujące (NIR). Obejmuje wszystkie promieniowania i pola widma elektromagnetycznego, które nie mają wystarczającej energii, aby wywołać jonizację materii. Promieniowanie to charakteryzuje się energią na jeden foton wynoszącą mniej niż ok. 12eV, długością fali większą niż 100nm i częstotliwością mniejszą niż 3×10^{15} Hz.

Narażenie zawodowe. Narażenie osób fizycznych na działanie pola elektromagnetycznego podczas wykonywania pracy.

Gęstość mocy. W propagacji fal radiowych ilość mocy przechodząca przez powierzchnię w kierunku normalnym do kierunku propagacji fal; wyrażona w Watach na metr kwadratowy [W/m²]

Maksymalna wartość gęstości mocy (PDL). Odnosi się do ustalonych poziomów odniesienia Gęstości mocy (W/m²).

Narażenie publiczne. Narażenie członków społeczeństwa na działanie pola elektromagnetycznego, z wyłączeniem narażenia zawodowego i narażenia podczas procedur medycznych.

Częstotliwość radiowa (RF). Każda częstotliwość, w jakiej promieniowanie elektromagnetyczne jest użyteczne w telekomunikacji. Oscyluje w zakresie 3kHz do 300GHz.

Komitet Naukowy ds. Pojawiających się i Nowo Rozpoznanych Zagrożeń dla Zdrowia (SCENIHR). Niezależny komitet naukowy zarządzany przez Dyрекcję Generalną ds. Zdrowia i Ochrony Konsumentów Komisji Europejskiej, która doradza Komisji w kwestiach związanych z produktami konsumenckimi.

Małe komórki. Węzły radiowe o małej mocy działające w licencjonowanych i nielicencjonowanych zakresach widma, które mają zasięg od 10 metrów do 1 lub 2 km. Mobilna mała komórka może mieć zasięg kilkudziesięciu kilometrów.

Współczynnik absorpcji swoistej (SAR). Szybkość, z jaką energia jest wchłaniana przez tkankę, wyrażona w watach na kilogram [W/kg]; SAR jest miarą dozymetryczną, która jest często stosowana przy częstotliwościach powyżej 100 kHz.

Widmo. Odnosi się do częstotliwości radiowych przeznaczonych dla branży telefonii komórkowej i innych sektorów korzystających z komunikacji na częstotliwościach radiowych.

3G. Trzecia generacja technologii telekomunikacji mobilnej, która obsługuje usługi (beprzewodowa telefonia głosowa, mobilny dostęp do Internetu, stały bezprzewodowy dostęp do Internetu, rozmowy wideo i telewizja mobilna), zapewniając szybkość przesyłania informacji co najmniej 200 Kbit/s. System UMTS / WCDMA i system CDMA2000 są zazwyczaj oznaczone marką 3G.

Światowe Forum Ekonomiczne (WEF). Szwajcarska fundacja non-profit, która angażuje liderów biznesu, polityków, przedstawicieli świata akademickiego i innych społecznych liderów w kształtowanie globalnych, regionalnych i branżowych programów.

Światowa Organizacja Zdrowia (WHO). Organ kierujący i koordynujący prace naukowe w tematyce zdrowotnej w ramach systemu ONZ.

5G. Piąta generacja sieci komórkowych – kolejny standard telefonii komórkowej, przerastający obecny standard 4G. Oprócz gwarantowania znacznie większej szybkości i pojemności eMBB, FWA lub AR/VR, zapewnia również lepsze wsparcie dla masowych usług IoT i usług krytycznych IoT.

Spis wykresów

Wykres 1: Penetracja usługami mobilnymi (źródło: OVUM, analiza BCG)	7
Wykres 2: Poziom transferu danych w sieciach komórkowych i ich prognozowany wzrost w Europie (źródło: Cisco VNI prognoza na 2016-2021, analiza BCG)	8
Wykres 3: Prognoza przesyłu danych w sieciach komórkowych (źródło: Cisco VNI prognoza na 2016-2021, szacunki i analiza BCG)	8
Wykres 4: Limity gęstości mocy w Europie (źródło: GSMA, analiza BCG)	10
Wykres 5: Porównanie limitów gęstości mocy obowiązujących w Polsce oraz dopuszczalnych przez ICNIRP (źródło: Ministerstwo Środowiska, libussr.ru, ICNIRP, analiza BCG)	10
Wykres 6: Zwrot z inwestycji w 5G oraz tworzenie nowych miejsc pracy (źródło: Tech4i2, Real Wireless, CONNECT, Trinity College Dublin oraz InterDigital dla Komisji Europejskiej, analiza BCG)	12
Wykres 7: Szybkość transferu danych 4G w Europie (źródło: Open Signal Benchmark 2016 i 2017, analiza BCG)	14
Wykres 8: Stosunek nakładów inwestycyjnych do przychodów operatorów komórkowych (źródło: OVUM, analiza BCG)	14
Wykres 9: Średnie wykorzystanie widma (źródło: polscy operatorzy sieci komórkowych, analiza BCG)	16
Wykres 10: Średnie wykorzystanie widma przy obecnym i zharmonizowanym PDL (źródło: polscy operatorzy sieci komórkowych, analiza BCG)	17
Wykres 11: Minimalna odległość anteny od ludzi (doświadczenie BCG ze studium przypadku, analiza BCG)	18
Wykres 12: Estymacja liczby stacji bazowych w obszarach miejskich i gęsto zaludnionych obszarach miejskich (źródło: symulacja sieci BCG, analiza BCG)	19
Wykres 13: Odsetek niezaspokojonego popytu na transmisję danych w sieciach komórkowych (źródło: symulacja sieci BCG, analiza BCG)	20

