Polski Instytut Ekonomiczny

5/2019

POLICY PAPER

Model wdrożenia i eksploatacji sieci 5G w Polsce. Uwarunkowania i problemy

Warszawa, kwiecień 2019 r.
Autorzy: Ignacy Święcicki
Redakcja merytoryczna: Piotr Arak
Redakcja: Jakub Nowak, Małgorzata Wieteska
Projekt graficzny: Anna Olczak
Skład i łamanie: Sławomir Jarząbek
Polski Instytut Ekonomiczny
Al. Jerozolimskie 87
02-001 Warszawa
© Copyright by Polski Instytut Ekonomiczny

ISBN 978-83-66306-15-8

Spis treści

Kluczowe liczby 4
Wstęp 5
Uwarunkowania 6
Główne problemy związane z budową sieci w technologii 5G
– widmo, operatorzy, koszty 11
Kluczowe wnioski 17
Rekomendacje 19
Bibliografia 20

Kluczowe liczby

2020	do tego roku w każdym kraju UE powinna powstać komercyjnie działająca sieć 5G przynajmniej w jednym mieście (wg. wskazań KE)
2025	do tego roku siecią 5G powinny być pokryte wszystkie główne szlaki transportowe oraz obszary miejskie (wg. wskazań KE)
3710 MHz	taki zasób widma radiowego jest przeznaczony na sieci 5G w priorytetowych pasmach 700 MHz, 3400-3800 MHz i 26 GHz
100	tyle razy normy promieniowania elektromagnetycznego są ostrzejsze w Polsce niż w rekomendacjach Rady UE i większości krajów unijnych
20,3 mld PLN	górny szacunek kosztów budowy sieci 5G w całym kraju zgodnie z szacunkami zawartymi w Narodowym Planie Szerokopasmowym
14 mld PLN	górny szacunek luki finansowej, różnicy między kosztami budowy sieci, a przewidywaną wysokością inwestycji
20x, 10x, 10x	tyle razy sieci 5G są „lepsze” niż sieci 4G, jeśli chodzi (odpowiednio) o maksymalną prędkość transmisji, opóźnienia i liczbę urządzeń obsługiwanych przez jedną stację
138	liczba przeprowadzonych testów sieci 5G w UE na koniec 2018 r.
2	liczba sieci 5G testów przeprowadzonych w Polsce na koniec 2018 r. według danych Komisji Europejskiej

Wstęp

Powstanie sieci 5G jest istotnym celem rozwojowym dla Polski, Unii Europejskiej, jak i pozostałych gospodarek rozwiniętych. Poniższy „Policy Paper" skupia się na kluczowych elementach związanych z decyzjami administracyjnymi mającymi wpływ na rozwój nowych sieci. Sieci 5G powstaną zapewne niezależnie od dodatkowej aktywności po stronie rządów, jednak podejmowane działania mogą istotnie wpłynąć na szybkość rozwoju nowych usług oraz na koszty i tempo budowy nowej sieci.

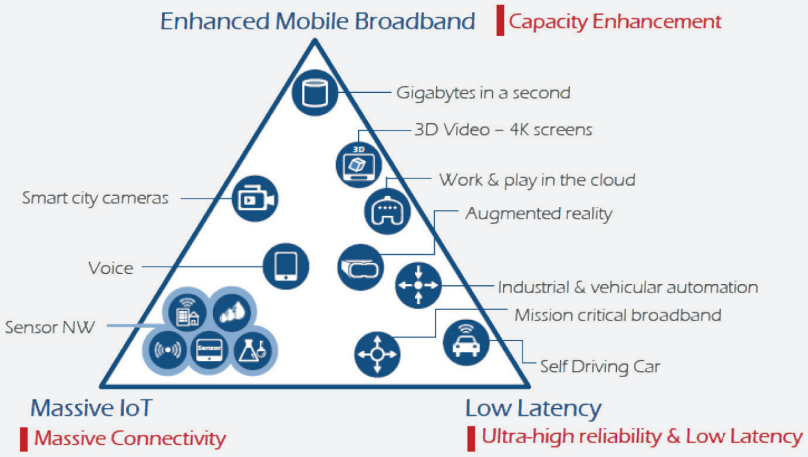
Istota decyzji administracyjnych skupiona jest na trzech obszarach: rozdysponowaniu widma radiowego (kluczowego zasobu dla rozwoju sieci 5G); wyborze modelu sieci (komercyjny, publiczny, współdzielony); wsparciu finansowym.

Uwarunkowania

Ogólny kontekst

Sieć oparta na technologii 5G jest kolejnym etapem rozwoju bezprzewodowych sieci telekomunikacyjnych. Kluczową różnicą w stosunku do poprzednich generacji (4G, 3G, 2G) jest znacznie większa elastyczność wykorzystania sieci, a tym samym możliwość zaoferowania nowych jakościowo usług. Usługi, które mają być świadczone w sieciach 5G (tzw. scenariusze wykorzystania 5G) zostały obrazowo zebrane w następujący sposób:

Rysunek 1. Rodzaje usług oferowanych w technologii 5G



Źródło: https://futurenetworks.ieee.org/standards, cyt. za: https://www.itu.int/en/ITU-R/study-groups/rsg5/rwp5d/imt-2020/Documents/S01-1_Requirements%20for%20IMT-2020_Rev.pdf [dostęp: 26.02.2019].

Trzy główne rodzaje usług to: transmisja o bardzo dużej przepustowości (*enhanced mobile broadband, eMBB*), łączność o bardzo niskim opóźnieniu i dużej niezawodności (*ultra reliable low latency communications, URLLC*) oraz możliwość podłączenia wielu urządzeń (*massive machine type communications, mMTC*). W przełożeniu na parametry techniczne, w porównaniu z sieciami LTE, łącza 5G umożliwią kilkudziesięciokrotnie szybszą transmisję danych, dziesięciokrotnie mniejsze opóźnienia oraz dziesięciokrotne zwiększenie liczby urządzeń obsługiwanych przez jedną komórkę. Sieć 4G oferuje maksymalną teoretyczną przepustowość na poziomie 1 Gbps, natomiast dla sieci 5G będzie to 20 Gbps (wartości te są osiągane w warunkach laboratoryjnych).

Jednak co ważniejsze, sieć będzie elastycznie konfigurowana – w ramach jednej infrastruktury będzie można zaoferować odrębnym użytkownikom usługi dopasowane do ich potrzeb. Przykładowo, w obrębie jednego nadajnika może działać *hotspot*, umożliwiający

streaming filmów w bardzo wysokiej jakości dla użytkowników w domu, a jednocześnie niezawodna sieć oferująca bardzo małe opóźnienia służąca komunikacji między pojazdami autonomicznymi. Obecnie istniejące sieci nie dają takich możliwości konfigurowania parametrów – to, co robi jeden z użytkowników wpływa bezpośrednio na pozostałych, na przykład obniżając prędkość ich transmisji. **To rozszerzenie funkcjonalności** (tak zwane *network slicing*) **stanowi istotną nową jakość w porównaniu z siecią 4G – usługi będą nie tylko lepsze pod względem parametrów, ale też inne pod względem jakościowym**.

Oprócz naturalnego cyklu rozwoju standardów technicznych, motorem rozwoju sieci 5G jest rosnąca konsumpcja treści wideo (rosnące wymagania dotyczące szybkości transmisji), rozwój przemysłu 4.0 (automatyzacja, różnicowanie produktów) oraz nowe usługi publiczne (*smart cities*, telemedycyna). Dzięki zwiększonym parametrom, a także wspomnianej elastyczności, technologia 5G znajdzie zastosowanie w przemyśle oraz w usługach konsumenckich, innych niż obecne, opartych na indywidualnym dostępie do internetu. Przede wszystkim technologia 5G w pierwszym okresie rozwoju będzie oparta na istniejącej infrastrukturze 4G, a pierwsze, już dostępne usługi, to w dużej mierze stacjonarny dostęp do internetu o bardzo wysokiej przepustowości[1]. Trudno obecnie przewidzieć, które z zastosowań nowej technologii okażą się najważniejsze (podobnie jak w przypadku sieci 3G i 4G trudno było przewidzieć rozwój mobilnego internetu), wiele jednak wskazuje na znaczącą rolę nowych usług w przemyśle[2].

Kontekst – częstotliwości radiowe

Sieci 5G będą wykorzystywały różne zakresy pasm częstotliwości. W Europie wskazuje się na pasmo 700 MHz, pasmo 3,6 GHz oraz pasmo 26 GHz[3]. W innych regionach świata rozpatrywane bądź wykorzystywane są też inne pasma (np. 600 MHz i 28 GHz w USA). Generalnie jednak, jeśli chodzi o wykorzystanie widma radiowego, to nowością jest budowa sieci na bazie częstotliwości milimetrowych (zakresy powyżej 6 GHz, jak np. pasmo 26 GHz), które dotąd nie były wykorzystywane przez sieci komórkowe. Usługi wykorzystujące te pasma charakteryzują się niewielkimi zasięgami oraz bardzo dużym tłumieniem w przypadku przechodzenia przez wiele materiałów, ale oferują przy tym bardzo duże możliwości, jeśli chodzi o przepustowość. Operatorzy podkreślają również, że dla osiągnięcia parametrów sieci 5G konieczne jest wykorzystanie dużych bloków ciągłego pasma (będących w posiadaniu danego operatora), tj. przynajmniej 10 MHz w paśmie 700 MHz, 100 MHz w paśmie 3,6 GHz i 200 MHz w paśmie 26 GHz.

Pasma przeznaczone pod 5G muszą najpierw zostać „uwolnione", co oznacza zakończenie ich wykorzystania przez obecnych użytkowników. Pasmo 700 MHz jest obecnie wykorzystywane w Polsce przez naziemną telewizję cyfrową. Pasmo 3,6 GHz częściowo jest w posiadaniu operatorów ogólnopolskich, a częściowo regionalnych. Z kolej pasmo 26 GHz jest częściowo wykorzystywane lokalnie, a częściowo przez wojsko[4]. Obecnie Prezes UKE nie ma możliwości odebrania lub zmiany przyznanych praw do widma radiowego z własnej inicjatywy, jednak

[1] https://spectrum.ieee.org/telecom/wireless/3gpp-release-15-overview; https://www.rcrwireless.com/20170627/opinion/5G-FWA-fiber-broadband-tag10 [dostęp: 26.02.2019].
[2] https://www.lightreading.com/mobile/5g/south-koreas-5g-lead-may-bring-industrial-advantage/a/d-id/747974; https://www.ben-evans.com/benedictevans/2019/1/16/5g-if-you-build-it-we-will-fill-it [dostęp: 26.02.2019].
[3] Pasmo 700 MHz to zakres 694-790 MHz; pasmo 3,6 GHz – 3 400-3 800 MHz; pasmo 26 GHz – 24,25-27,5 GHz.
[4] Szczegółowe informacje na temat obecnego wykorzystania poszczególnych pasm zostały ujęte przez Prezesa UKE w prezentacji przedstawionej do konsultacji publicznych w lipcu 2018 r.: https://bip.uke.gov.pl/konsultacje-i-wyniki-konsultacji/czestotliwosci-dla-5g-konsultacje-zalozen-zagospodarowania-widma-radiowego,333.html

propozycje odpowiednich zmian do ustawy Prawo Telekomunikacyjne zostały przyjęte już przez parlament (z wyłączeniem pasma 700 MHz). Z kolei możliwość wykorzystania częstotliwości zajmowanych przez służby wojskowe wymaga zmiany rozporządzenia o Krajowej Tablicy Przeznaczeń Częstotliwości (Rada Ministrów, 2017).

Dla sprawnego działania sieć radiowa będzie też musiała być oparta na wysokiej jakości sieciach dosyłowych (*backhaul*) oraz sieciach szkieletowych i dystrybucyjnych, które zapewnią odpowiednio szybki przesył danych między różnymi użytkownikami sieci. Tym samym, bez odpowiedniej jakości sieci kablowych (w technologii światłowodowej) korzystanie z pełnego wachlarza możliwości technologii 5G będzie utrudnione. Bardziej zagęszczona sieć 5G będzie również wymagała znacznie większego niż obecnie nasycenia światłowodami, które będą musiały docierać do wszystkich lub niemal wszystkich punktów końcowych sieci.

O ile docelowo sieć 5G będzie oparta na nowej infrastrukturze, o tyle w pierwszym okresie wykorzystywane będą istniejące sieci LTE. Pierwsze standardy umożliwiające tworzenie sieci 5G zakładają właśnie bazowanie na istniejących nadajnikach LTE. Docelowa sieć, wykorzystująca wskazane wyżej pasma, będzie jednak musiała działać odrębnie. O ile sieć w paśmie 700 MHz, ze względu na zbliżone charakterystyki propagacyjne, może przypominać sieć w paśmie 800 MHz, o tyle nie ma obecnie w Polsce działających ogólnokrajowych sieci komórkowych w wyższych pasmach (3,6 GHz lub 26 GHz). Operatorzy muszą też mieć czas i możliwości przetestowania nowych urządzeń i usług. W tym celu wskazane jest prowadzenie testów i pilotaży, których kilka odbyło się dotychczas w Polsce, jednak w wielu krajach testy prowadzone są na znacznie szerszą skalę oraz uruchamiane są pierwsze usługi komercyjne (USA, Chiny, Japonia, Korea). W Europie pierwsze komercyjne wdrożenia 5G spodziewane są w 2019 r.[5].

Ramowe kierunki działań w obszarze 5G, szczególnie jeśli chodzi o rozdysponowanie i przeznaczenie poszczególnych zakresów częstotliwości, wyznaczane są przez Unię Europejską. Pasma przeznaczone przez 5G w Europie, wraz ze wskazanymi datami rozdysponowania, to:

- 700 MHz (do 30 czerwca 2020 r. z możliwością dwuletniej derogacji lub regionalnej derogacji bezterminowej w przypadku zakłóceń ze strony innych krajów) (Parlament Europejski i Rada Unii Europejskiej, 2017);
- 3400-3800 MHz (31 grudnia 2020 r., możliwość derogacji na zasadach ogólnych, w tym w przypadku nierozwiązanych kwestii koordynacji międzynarodowej)[6];
- 26 GHz (przynajmniej 1 GHz do 31 grudnia 2020 r., tylko pod warunkiem istnienia popytu, możliwość derogacji na warunkach ogólnych, w tym w przypadku nierozwiązanych kwestii koordynacji międzynarodowej)[7].

Co istotne, decyzje w sprawie poszczególnych pasm częstotliwości zakładają neutralność technologiczną – czyli nie jest z góry powiedziane jaką technologię mają wykorzystywać operatorzy. Stąd np. w krajach, które już udostępniły pasmo 700 MHz wykorzystywane jest ono dla usług 4G.

[dostęp: 26.02.2019] (Urząd Komunikacji Elektronicznej, 2018a).
Z kolei szczegółowe uwarunkowania dotyczące pasma 700 MHz opisano w Krajowym Planie Działań zmiany przeznaczenia pasma 700 MHz (Ministerstwo Cyfryzacji, 2019).

[5] https://5gobservatory.eu/5g-trial/major-international-5g-trials-and-pilots/ [dostęp: 26.02.2019].

[6] Art. 54 Dyrektywy Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2018/1972 z dnia 11 grudnia 2018 r. ustanawiającej Europejski kodeks łączności elektronicznej (Parlament Europejski i Rada Unii Europejskiej, 2018).

[7] Tamże.

Problem związany z normami pola elektromagnetycznego w Polsce

Budowanie nowej infrastruktury, a szczególnie większe zagęszczenie nadajników radiowych wynikające z charakterystyki pasm milimetrowych, napotyka w Polsce na bariery regulacyjne. Z jednej strony, są to bariery związane z procesem inwestycyjnym, jednak głównym problemem wskazywanym przez operatorów są regulacje w zakresie ochrony przed promieniowaniem elektromagnetycznym (tzw. limity PEM). Ograniczenia pola elektromagnetycznego w Polsce, regulowane rozporządzeniem Ministra Środowiska (Ministerstwo Środowiska, 2003) należą do najbardziej restrykcyjnych na świecie i są stukrotnie ostrzejsze niż rekomendowane przez Radę Unii Europejskiej i obowiązujące w większości krajów Unii Europejskiej. Operatorzy komórkowi podkreślają, że bez zmiany obowiązujących limitów nie będzie możliwa budowa sieci 5G. Wskazują, że w niektórych miejscach nie będzie możliwości dodania kolejnych nadajników; w innych niezbędne będzie użycie znacznie większej liczby anten, o słabszej mocy, co podniesie drastycznie koszty sieci; wreszcie w niektórych przypadkach niemożliwe będzie zastosowanie standardowych rozwiązań ze względu na znacznie większą strefę wokół nadajnika niedostępną dla ludności. Jednocześnie badania prowadzone nad wpływem pola elektromagnetycznego na tkanki organizmów żywych nie wykazują jego szkodliwości, w przypadku zachowania poziomów rekomendowanych przez Radę Unii Europejskiej[8].

Charakterystyka polskiego rynku telekomunikacyjnego – główni gracze w segmencie ruchomym

W związku z charakterem technologii 5G, a także z zależnością między 5G a LTE w pierwszym okresie, sieci te będą zapewne budowane przez/przy współpracy obecnie aktywnych operatorów sieci mobilnych. W Polsce rynek podzielony jest między czterech głównych operatorów: Orange, T-Mobile, Play, Polkomtel.

Orange Polska – struktura właścicielska: Orange S.A. 50,67 proc. akcji, pozostali akcjonariusze 49,33 proc. akcji[9]. Orange S.A. jest w 22,95 proc. własnością rządu francuskiego, w 5,39 proc. własnością pracowników (co w sumie przekłada się na 37,98% głosów)[10].

Orange posiada 27-procentowy udział w rynku, jeśli chodzi o abonentów indywidualnych, 26,5 proc. jeśli chodzi o przychody[11]. Orange jest też operatorem zintegrowanym – oferuje zarówno dostęp mobilny, jak i stacjonarny.

Play (P4) – należy do spółki Play Communications zarejestrowanej w Luksemburgu. Struktura właścicielska: Kenbourne Invest S.A. – 28,85 proc.; Tollerton Investment Limited – 28 proc. (spółka z Cypru), Nationale-Nederlanden OFE – 5,34 proc., pozostali akcjonariusze – 37,81 proc.[12].

P4 posiada 30-procentowy udział w rynku, jeśli chodzi o użytkowników indywidualnych oraz 23,4 proc. jeśli chodzi o przychody. P4 jest

---

[8] Opinie operatorów można znaleźć m.in. w uwagach składanych w konsultacjach publicznych do nowelizacji Ustawy o wspieraniu rozwoju usług i sieci telekomunikacyjnych oraz niektórych innych ustaw (https://legislacja.rcl.gov.pl/projekt/12318651/katalog/12553351#12553351). Z kolei listę badań, z których korzystało Ministerstwo Cyfryzacji przy opracowywaniu nowelizacji można znaleźć w odpowiedzi udzielonej na interpelację nr 28560 (Minister Cyfryzacji, 2019).

[9] http://www.orange-ir.pl/pl/shares/ownership-structure [dostęp: 26.02.2019].

[10] https://www.orange.com/en/content/download/46100/1357482/version/4/file/2017%20Consolidated%20financial%20statements%20-%2016.04.2018.pdf [dostęp: 26.02.2019].

[11] Wszystkie dane dotyczące udziałów w rynku pochodzą z (Urząd Komunikacji Elektronicznej, 2018b).

[12] https://www.playcommunications.com/shareholders [dostęp: 26.02.2019].

operatorem wyłącznie komórkowym, o najmniej rozwiniętej sieci. Sieć ta jest obecnie dynamicznie rozbudowywana, jednak cały czas na niektórych obszarach kraju usługi świadczone są na bazie roamingu krajowego.

Polkomtel – jest spółką z ograniczoną odpowiedzialnością. Właścicielem jest Cyfrowy Polsat. W tej samej grupie działają również spółki Aero2, Sferia oraz Netia – posiadające rezerwacje na niektóre pasma częstotliwości radiowych. Struktura właścicielska: Zygmunt Solorz (przez spółki zależne) 65,97 proc., pozostali akcjonariusze – 34,03 proc.[13].

Polkomtel posiada 19,7 proc. udziału w rynku mierzonego liczbą abonentów oraz 27,6 proc. mierzonego przychodami. Grupa Cyfrowy Polsat posiada zarówno spółki oferujące usługi komórkowe, jak i stacjonarny dostęp do internetu.

T-Mobile – struktura właścicielska: Deutsche Telekom – 100 proc.[14]. Deutsche Telekom w 31,9 proc. należy do rządu niemieckiego (bezpośrednio oraz za pośrednictwem banku rozwoju Kreditanstalt für Wiederaufbau), pozostałe akcje są w obrocie giełdowym.

T-Mobile posiada 19,1 proc. udziału w rynku mierzonym liczbą abonentów oraz 19,7 proc. mierzonym przychodami. T-Mobile skupia się na usługach mobilnych, jednak od pewnego czasu w prasie spekuluje się na temat możliwości przejęcia któregoś z operatorów stacjonarnych, co pozwoliłoby na stworzenie całościowej oferty.

Jeśli chodzi o operatorów dostarczających łącza światłowodowe, to do największych należą Orange (ponad 80 tys. km światłowodów), Exatel (ponad 20 tys. km światłowodów, spółka Skarbu Państwa) oraz Netia (grupa Cyfrowy Polsat).

Obecnie w Polsce technologia 4G dostępna jest niemal dla wszystkich mieszkańców (czołowi operatorzy deklarują 99,9 proc. ludności w zasięgu sieci 4G/LTE) (Urząd Komunikacji Elektronicznej, 2018b) oraz na obszarze prawie całego kraju.

[13] http://www.grupapolsat.pl/pl/lad-korporacyjny/akcjonariat [dostęp: 26.02.2019].
[14] https://firma.t-mobile.pl/pl/o-firmie/rada_nadzorcza_i_akcjonariusze [dostęp: 26.02.2019].

Główne problemy związane z budową sieci w technologii 5G – widmo, operatorzy, koszty

Częstotliwości radiowe

Widmo radiowe jest kluczowym zasobem dla budowy sieci radiowych, a decyzja rządu i regulatora dotycząca terminu i sposobu rozdysponowania częstotliwości jest pierwszą z kluczowych decyzji dla realizacji sieci 5G w Polsce.

Uwarunkowania międzynarodowe są bardzo istotne dla możliwości realizacji przez Polskę wspomnianych wyżej zobowiązań unijnych w zakresie przydziału widma radiowego. Rosja, Białoruś i Ukraina używają obecnie w paśmie 700 MHz telewizji naziemnej i bez uwolnienia tego pasma w obszarach przygranicznych polskie sieci 5G będą zakłócane. O ile z Białorusią i Ukrainą udało się zawrzeć porozumienia określające docelowy układ sieci, nieznana jest tylko data przełączenia systemów przez te kraje, o tyle z Rosją nie ma obecnie żadnego porozumienia. Zgodnie z badaniami cytowanymi przez Ministerstwo Cyfryzacji (Ministerstwo Cyfryzacji, 2019), rosyjskie nadajniki mogą powodować zakłócenia nawet do 300 km w głąb terytorium Polski. Należy przy tym podkreślić, że wszystkie te kraje wykorzystują pasmo zgodnie z prawem, na mocy Regulaminu Radiokomunikacyjnego ITU, najwyższego aktu prawa międzynarodowego w obszarze zarządzania częstotliwościami.

Problemy mogą wystąpić również w przypadku zakresu 3600-3800 MHz, bowiem strona rosyjska może żądać ochrony dla swoich służb, zgodnie z przepisami Międzynarodowego Związku Telekomunikacyjnego (formalnie służba ruchoma – czyli systemy 5G – jest tzw. służbą drugiej ważności, co oznacza, że kraj mający systemy stałe może zażądać ich ochrony. Ochrona taka może w szczególności polegać na zapewnieniu odpowiedniej odległości między stacjami nadawczymi wykorzystującymi dane pasmo w poszczególnych krajach.

W przypadkach powyższych zakresów konieczne są dwu– lub wielostronne umowy międzynarodowe dotyczące szczegółowej aranżacji ich wykorzystania tak, aby sieci w sąsiadujących państwach się wzajemnie nie zakłócały. O ile w przypadku pasma 700 MHz takie umowy zostały podpisane ze wszystkimi sąsiadami oprócz Rosji, o tyle w przypadku pasma 3,6 GHz obecnie Urząd Komunikacji Elektronicznej zawarł porozumienie jedynie z Litwą, Słowacją i Niemcami[15].

Pasma przeznaczone na sieci 5G wymagają uporządkowania w zakresie praw własności tak, aby mogły zostać wykorzystane na nowe usługi. Obecnie Prezes UKE nie posiada odpowiednich narzędzi do przeprowadzenia tzw. *reshufflingu* (czyli zamiany zakresów przydzielonych poszczególnym użytkownikom), jednak odpowiednie przepisy znajdują się w nowelizacji ustawy Prawo Telekomunikacyjne (Pt), przyjętej w marcu 2019 r. przez Sejm. Zmiany nie dotyczą jednak pasma 700 MHz, które zostało wyodrębnione z projektu i prawdopodobnie dla jego uwolnienia konieczna będzie kolejna, specjalna ustawa. Proces porządkowania zasobów

[15] Wykaz porozumień znajduje się na stronach UKE: https://bip.uke.gov.pl/umowy-miedzynarodowe/ [dostęp: 15.05.2019].

może być czasochłonny, może również wiązać się z protestami lub postępowaniami sądowymi, musi jednak zostać możliwie sprawnie przeprowadzony, aby sieci 5G mogły w ogóle zacząć w Polsce powstawać.

Instytucja odpowiedzialna za rozdysponowanie widma radiowego (w Polsce jest to UKE) może zdecydować o parametrach pasma przeznaczonego do wykorzystania. W szczególności decyzja dotyczy charakteru praw do korzystania z danego zakresu (np. prawo wyłączne, zakres współdzielenia z innymi operatorami, zakres nie objęty prawami indywidualnymi) oraz zakresu geograficznego (rezerwacje mogą być ogólnopolskie, regionalne lub lokalne). Prezes UKE może też zdecydować o długości przyznanych praw. Obecne przepisy Pt wskazują, że nie może to być więcej niż 15 lat, jednak Dyrektywa Europejski Kodeks Łączności Elektronicznej wskazuje, że okres ten nie będzie mógł być krótszy niż 15 lat, a optymalnie powinien wynosić przynajmniej 20 lat. Przepisy Kodeksu muszą zostać implementowane do polskiego prawa do grudnia 2020 r., więc teoretycznie w przypadku rozdysponowania zasobów widma przed tym terminem może się ono odbywać na obecnych zasadach.

Z uwagi na różnorodność pasm, które będą wykorzystywane na usługi 5G, należy rozważyć, czy i które pasma mają być rozdysponowane na poziomie krajowym, a które na regionalnym oraz jaka forma ograniczenia liczby praw powinna zostać zastosowana. **Różne pasma mogą wymagać różnego podejścia**. Należy również wziąć pod uwagę wspomnianą na wstępie elastyczność zastosowań sieci 5G i rozważyć wprowadzenie elastyczności na poziomie praw do widma radiowego. Dotychczasowe pasma wykorzystywane dla usług telefonii ruchomej opierały się na rezerwacjach ogólnokrajowych (wyłączne prawo do korzystania z danej częstotliwości), wydawanych przeważnie na 15 lat.

Obecnie należy wziąć pod uwagę dwie główne możliwości, oprócz przyznania wyłącznych praw do widma radiowego. Pierwsze to **pozostawienie niektórych częstotliwości wolnych**, udostępnionych na zasadach bezlicencyjnych[16]. Zaletą takiego podejścia jest zwiększenie innowacyjności, ułatwienie dostępu do rynku dla nowych graczy, którzy w innym wypadku muszą liczyć się z kosztami zakupu pasma lub nie mają możliwości wykorzystania nowej technologii z powodu zajęcia pasma i wyłączności jego stosowania. Przykładem pasm pozostawionych do takiego wykorzystania są pasma wykorzystywane w dla łączności WiFi. Ochrona przed zakłóceniami jest tu realizowana dzięki ograniczeniu mocy urządzeń, a nie ograniczaniu prawa do korzystania z widma radiowego. Uelastycznienie jest też kierunkiem wskazywanym przez Unię Europejską, co znalazło odbicie w regulacjach Europejskiego Kodeksu Łączności Elektronicznej.

Drugie podejście, dotychczas niestosowane w Polsce, to rozwiązanie bazujące na przyznaniu prawa do korzystania z danego zakresu widma konkretnemu operatorowi, ale przy jednoczesnym **obowiązku udostępnienia tego zakresu innym chętnym** w przypadku braku pełnego wykorzystania (rozwiązanie zwane *Licensed shared access – LSA*). Przykładowo może być to zastosowane dla pasma 26 GHz, na które wyłączność można mieć w miastach – tam będą oferowane usługi wymagające bardzo dużej przepustowości na małym obszarze, a obowiązek dostępu na obszarach podmiejskich czy wiejskich. Z powodu

[16] Rozwiązanie to postulują np. Netia i Polkomtel, w swoich uwagach przesłanych do Prezesa UKE: https://bip.uke.gov.pl/konsultacje-i-wyniki-konsultacji/wyniki-konsultacji-zalozen-zagospodarowania-widma-radiowego-czestotliwosci-dla-5g,497.html [dostęp: 26.02.2019] (Netia S.A., 2018; Polkomtel Sp. z o.o., 2018).

właściwości sygnałów w wysokich częstotliwościach obszary te nie będą w pierwszej kolejności objęte siecią w paśmie 26 GHz, ale otwarcie dostępu do widma umożliwia eksperymentowanie i innowacje. **W przypadku wyłącznych, ogólnopolskich rezerwacji na pasmo o tego typu właściwościach istnieje duże ryzyko nieefektywnego wykorzystania tak cennego zasobu.**

Istnieją również rozwiązania pośrednie, uwzględniające możliwość dostępu do pasma dla innych użytkowników niż pierwotny nabywca – tego typu rozwiązanie zostało wykorzystane we Włoszech przy okazji aukcji na pasmo 26 GHz w 2018 r. (model klubowy) (Martino, 2018).

Oprócz regulacji w zakresie wykorzystania widma radiowego. Komisja Europejska zobowiązała kraje do przygotowania planów działania w obszarze wdrożenia 5G. Kamienie milowe zdefiniowane są jako wprowadzenie pierwszych komercyjnie działających sieci w przynajmniej jednym mieście do 2020 r. oraz pokrycie sieciami 5G wszystkich głównych szlaków transportowych oraz obszarów miejskich do 2025 r. Państwa Członkowskie są też zobowiązane do przyjęcia do końca 2017 r. planów wdrożenia 5G, będących częścią narodowych planów szerokopasmowych (Komisja Europejska, 2016a; 2016b).

Model budowy sieci

Sieci 5G będą wymagały **bardzo dużych inwestycji**, w szczególności dla pokrycia siecią nowych obszarów oraz przy dogęszczaniu infrastruktury w miastach. Koszty szacowane w Narodowym Planie Szerokopasmowym (Ministerstwo Cyfryzacji, 2018) mieszczą się w przedziale 11,35-20,3 mld PLN w latach 2020-2025. Rozbieżność zależy z jednej strony od warunków rynkowych – inwestycji dokonywanych przez operatorów, a z drugiej od wybranego modelu sieci. **Decyzja o modelu budowy sieci jest drugą kluczową decyzją do podjęcia w procesie tworzenia w Polsce warunków budowy sieci 5G.**

W ślad za Narodowym Planem Szerokopasmowym można wyróżnić trzy główne modele budowy sieci:

Model komercyjny/organiczny, w którym powstają równoległe sieci, budowane siłami i środkami operatorów kierujących się regułami rynkowymi. Wsparcie ze strony rządu polega w tym modelu na tworzeniu odpowiedniego otoczenia regulacyjnego (obniżanie kosztów inwestycyjnych, skracanie procedur), a także na dostarczaniu na czas kluczowego zasobu, jakim jest widmo radiowe.

Model współdzielenia, w którym poszczególni operatorzy współpracują przy budowie sieci, przez wykorzystywanie wspólnej infrastruktury lub nawet przez wspólne korzystanie z częstotliwości radiowych. Z kolei polem konkurencji są oferty tworzone na bazie takiej sieci. Model ten wymaga zmiany modelu biznesowego operatorów, którzy obecnie są właścicielami infrastruktury, a staliby się w głównej mierze dostarczycielami usług.

Model scentralizowany, w którym wyłoniony zostaje jeden operator, którego zadaniem jest wybudowanie i utrzymanie sieci oraz udostępnianie jej zainteresowanym podmiotom, które chcą świadczyć w tej sieci swoje usługi. W modelu scentralizowanym kluczowa staje się rola regulacji, które zapewniają funkcjonowanie całego modelu – począwszy od sposobu wyłonienia operatora sieci po sposoby udostępniania usług, finansowania sieci itp.

Możliwy jest też szereg **modeli hybrydowych** – łączących elementy powyższych. Przykładowo, sieć może być budowana w modelu komercyjnym, w którym jednak operatorzy decydują się na współpracę i wspólną budowę jedynie części sieci w celu obniżenia kosztów. Tego typu współpraca była już praktykowana. Na polskim rynku Orange współpracuje

z T-Mobile (spółka Networks!), a Play korzysta z roamingu krajowego w sieciach swoich konkurentów na obszarach, na których nie posiada własnej sieci. Innym przykładem podejścia hybrydowego może być utworzenie sieci w modelu scentralizowanym na bazie wybranych zasobów – np. pasmo 700 MHz – a w pozostałym zakresie utrzymanie procesów rynkowych lub też utworzenie sieci w modelu scentralizowanym jedynie do określonych zastosowań (np. łączność rządowa).

Analiza stanowisk przekazanych w konsultacjach prowadzonych przez Prezesa UKE wskazuje, że trzej operatorzy (Orange, T-Mobile oraz P4) opowiadają się za modelem komercyjnym, natomiast czwarty (Polkomtel) wspiera model scentralizowany w paśmie 700 MHz, model komercyjny dla zakresu 3400-3800 MHz oraz podejście bezlicencyjne dla pasma 26 GHz. Model scentralizowany wspiera również Exatel, spółka Skarbu Państwa, widząca siebie w roli operatora takiej sieci (Exatel S.A., 2018; Krajowa Izba Gospodarcza Elektroniki i Telekomunikacji, 2018; Netia S.A., 2018; P4 sp. z o.o., 2018; Polkomtel Sp. z o.o., 2018; Orange Polska S.A., 2018).

Analizując zalety i wady poszczególnych podejść, przyjmuję model komercyjny jako domyślny (inne nie były dotychczas na większą skalę testowane w Polsce) i poniżej przedstawiono zalety i wady innych podejść.

Model komercyjny/organiczny:

ZALETY:

+ sieć budowana przez doświadczone podmioty,
+ możliwość nałożenia wymogów (np. obowiązków pokryciowych) w warunkach rezerwacji,
+ przychody budżetowe w zamian za prawa do użytkowania widma,
+ utrzymanie roli operatorów telekomunikacyjnych jako posiadających kluczowy element dla powstawania nowych usług,
+ model najszybszy do wdrożenia.

WADY:

– brak możliwości bezpośredniego wpływu lub modyfikacji parametrów sieci lub też wykorzystywanego sprzętu.

Model scentralizowany vs. Model komercyjny:

ZALETY:

+ możliwość kontrolowania parametrów sieci oraz wykorzystanych technologii i sprzętu,
+ potencjalna możliwość stworzenia bezpiecznej rządowej sieci łączności,
+ niższe łączne koszty budowy sieci (Ministerstwo Cyfryzacji, 2018).

WADY:

- złożoność koniecznych regulacji (ustawa powierzająca częstotliwości; konieczność regulacji warunków hurtowych),
- brak przychodów budżetowych z aukcji częstotliwości,
- taki model właściwie nie ma precedensu na świecie – niemal wszystkie kraje decydują się na model komercyjny[17].

Model współdzielenia vs. Model komercyjny:

ZALETY (utrzymanie zalet modelu komercyjnego):

+ najniższe koszty budowy sieci.

WADY:

- niewielkie prawdopodobieństwo realizacji takiego modelu w krótkim i średnim okresie (jeśli chodzi o pełne współdzielenie zasobów),
- wysokie koszty nadzoru (współpraca między operatorami, realizacja obowiązków inwestycyjnych),
- model niespotykany na taką skalę w innych krajach ani wcześniej w Polsce (precedensy dotyczą wybranych fragmentów sieci).

Model hybrydowy vs. Model komercyjny:

ZALETY:

+ pełniejsze wykorzystanie różnorodności zastosowań 5G przez możliwość różnicowania sieci w zależności od pasma (np. większa elastyczność w wyższych częstotliwościach – większa różnorodność usług, większa innowacyjność),
+ możliwość wejścia nowych podmiotów na rynek (wyspecjalizowani operatorzy dla przemysłów wertykalnych).

WADY:

- konieczność wprowadzenia nowych modeli zarządzania częstotliwościami po stronie administracji i regulatora,
- niższe przychody budżetowe (w przypadku udostępnienia części pasm na zasadach bezlicencyjnych).

[17] Wyjątkiem jest Meksyk, w którym w modelu partnerstwa publiczno-prywatnego powstała sieć LTE oparta na paśmie 700 MHz. Motywacją było jednak zwiększenie konkurencji na rynku i rozszerzenie zasięgu. W Polsce sytuacja na rynku mobilnym jest znacząco odmienna.

Finansowanie sieci

Trzecie kluczowe działanie po stronie administracji dotyczy **finansowania budowy sieci 5G**. Analizy wykonane na potrzeby Narodowego Planu Szerokopasmowego wskazują na lukę finansową w wysokości nawet do 14 mld PLN, między prognozowanymi wydatkami komercyjnymi a faktycznymi kosztami budowy sieci 5G. Lukę tę można próbować zmniejszyć na kilka sposobów:

- finansując część inwestycji ze środków publicznych (jak sieci stacjonarne finansowane z funduszy europejskich),
- zmniejszając bariery i koszty administracyjne inwestycji,
- zwiększając zachęty do inwestowania przez operatorów komercyjnych (np. dłuższe okresy praw do widma),
- wykorzystując mechanizm aukcyjny dla zwiększenia wydatków inwestycyjnych operatorów.

Pierwsze dwa punkty stanowią elementy projektu nowelizacji megaustawy[18], przy czym proponowany w niej Fundusz Szerokopasmowy miałby gromadzić ok. 150-200 mln PLN rocznie, a więc niewielką część potrzebnych środków. Trzeci punkt jest preferowany przez operatorów, również na szczeblu międzynarodowym. GSMA, największa branżowa organizacja skupiająca operatorów komórkowych, podkreśla znaczenie długich wyłącznych praw do widma radiowego dla zwiększenia inwestycji (GSMA, 2018). Należy jednak zwrócić uwagę, że wydłużanie wyłącznych praw do wykorzystania widma, szczególnie w przypadku takiej technologii jak 5G, może doprowadzić do ograniczenia innowacji na tym rynku. W interesie obecnych operatorów jest utrzymanie przewagi konkurencyjnej, którą daje im wyłączne prawo do tak cennego zasobu, jakim jest widmo radiowe, nie można jednak wykluczyć, że wraz z rozwojem usług inne podmioty będą w stanie wykorzystać je bardziej efektywnie (Friedner i in., 2017). Wydłużanie praw do widma daje też ich posiadaczom przewagę przy kolejnych fazach rozwoju technologii. Kolejne generacje systemów mobilnych pojawiają się co 8-10 lat, zatem licencje na 15-20 lat obejmują dwa takie cykle. Innym, podobnym instrumentem jest np. obniżenie opłat, które ponoszą operatorzy w związku z nabywaniem i utrzymywaniem praw do widma radiowego. Krajowe organy regulacyjne mogą wpływać na ceny wywoławcze w aukcjach, a także na cykliczne opłaty za korzystanie z widma – wpływając tym samym na koszty ponoszone przez operatorów i na środki pozostające na inwestycje.

Wreszcie czwarty punkt zakłada **przekierowanie części faktycznych bądź potencjalnych wpływów z aukcji nowych częstotliwości bezpośrednio na budowę sieci**. Taki mechanizm został wykorzystany np. w Szwecji, w której operatorzy licytowali wielkość środków, jakie zobowiązywali się przeznaczyć na inwestycje w nowe maszty radiowe, w ramach postępowania selekcyjnego na pasmo 700 MHz[19]. Innym rozwiązaniem jest stworzenie funduszu z przychodów z aukcji, który następnie zostałby wykorzystany do wsparcia rozwoju infrastruktury na obszarach nieopłacalnych komercyjnie. Prace nad tworzeniem mechanizmów rozdysponowania poszczególnych pasm częstotliwości dopiero się w Polsce rozpoczynają, możliwe jest więc włączenie do nich tego typu rozwiązań.

Zaletą takiego rozwiązania jest **brak ingerowania w obecną strukturę i strumień przychodów budżetowych oraz bezpośrednie powiązanie nowych inwestycji z procesem przydzielania częstotliwości**. Dodatkowo budowa sieci odbywa się na warunkach rynkowych. Trudno prognozować wysokość wpływów z rozdysponowania częstotliwości pod 5G, jednak aukcja pasma 800 MHz w 2015 r. przyniosła ok. 9 mld PLN dla budżetu państwa.

---

[18] https://legislacja.rcl.gov.pl/projekt/12318651/katalog/12553357#12553357 [dostęp: 26.02.2019].
[19] http://www.pts.se [dostęp: 26.02.2019].

Kluczowe wnioski

1. Sieci i usługi kryjące się pod hasłem „5G" będą miały inne zastosowanie niż obecne sieci 4G. Przede wszystkim będą to nowe zastosowania w przemyśle oraz w nowych branżach produktów i usług konsumenckich.

2. Sieci te, oprócz znacznie lepszych parametrów, oferują też dużą elastyczność zastosowań. W związku z tym obecnie przyjęte modele wykorzystania widma radiowego mogą nie być optymalne dla nowych usług.

3. Polska nie ma szansy na stanie się liderem 5G, wiele krajów prowadzi już zaawansowane testy lub wdraża usługi. Należy w związku z tym działać bazując na najlepszych wzorcach, tak aby standard usług 5G w Polsce możliwie szybko dorównał jakości najbardziej zaawansowanych graczy.

4. Kluczowe uwarunkowania w przypadku Polski to: ramy prawne i rekomendacje Unii Europejskiej; relacje z sąsiadami, w tym szczególnie z krajami niebędącymi w Unii Europejskiej; bariery inwestycyjne i regulacje krajowe, w szczególności problem PEM. Bariery regulacyjne są w dużej mierze adresowane przez nowelizację megaustawy, obecnie znajdującej się na etapie legislacyjnym.

5. Trzy główne obszary wymagają decyzji i działania po stronie administracji:

- → Dystrybucja zasobów częstotliwości. Podjęcia decyzji wymagają zarówno terminy, jak i sposób – warunki rezerwacji. Ten obszar w największej mierze zależy od uwarunkowań międzynarodowych. Z jednej strony, Unia Europejska wskazuje terminy i sposoby rozdysponowania częstotliwości, z drugiej, Polska musi zawrzeć porozumienia z krajami niebędącymi członkami UE. Niektóre z tych krajów wykorzystują częstotliwości w sposób ograniczający rozwój sieci 5G w Polsce.
- → Wybór modelu sieci. Dotychczas sieci ruchome budowane były na zasadach rynkowych, przez operatorów komercyjnych. W przypadku sieci 5G można rozważać inne modele, ze względu na koszty (mniejsze zasięgi komórek w wyższych pasmach) oraz możliwość wyspecjalizowanych rozwiązań. Z punktu widzenia administracji takim zastosowaniem może być np. bezpieczna i niezawodna sieć łączności. Wybór modelu scentralizowanego wiąże się jednak ze znacznie większą ingerencją regulacyjną, nie był też dotychczas wprowadzony nigdzie na świecie.
- → Wsparcie finansowe dla budowy sieci. Z uwagi na koszty budowy sieci 5G należy rozważyć wsparcie ze środków publicznych. Może to być wsparcie w postaci odrębnego funduszu, zmiany legislacyjne obniżające koszty budowy sieci, zmiany warunków rezerwacji lub też wykorzystanie mechanizmów aukcyjnych i faktycznych bądź potencjalnych przychodów ze sprzedaży praw do częstotliwości. To ostatnie

rozwiązanie nie zakłóca bieżącej struktury budżetowej i pozostawia budowę sieci podmiotom rynkowym.

6. Dużą barierą dla rozwoju sieci 5G mogą okazać się regulacje dotyczące ochrony przed promieniowaniem elektromagnetycznym. Limity dopuszczalnej mocy pola elektromagnetycznego, generowanego przez nadajniki radiowe, są w Polsce stukrotnie bardziej restrykcyjne niż w większości krajów UE.

7. Dotychczasowe doświadczenia innych krajów wskazują na komercyjne podejście do sieci 5G (rozdysponowanie częstotliwości na zasadach komercyjnych). Wszystkie lub część pasm została sprzedana m.in. w Niemczech (700 MHz), Włoszech (700 MHz, 3,6 GHz, 26 GHz), Finlandii (700 MHz), Wielkiej Brytanii (3400-3600 MHz).

Rekomendacje

1. Na sieci 5G należy patrzeć pod kątem ich elastyczności i nowych usług, szczególnie w przemyśle. Analiza tego obszaru i możliwości dla polskiej gospodarki powinna być podstawą obecnych dokumentów strategicznych w obszarze 5G.

2. Należy prowadzić analizę rozwiązań wdrażanych w innych krajach, a w szczególności powstających usług oferowanych w sieciach 5G. Na podstawie takiej analizy należy dostosować model wdrażania sieci w Polsce (terminy, prawa do widma itp.) dla osiągnięcia jak najlepszych efektów i nie powielania błędów innych krajów. Ze względu na uwarunkowania wewnętrzne i zewnętrzne Polska nie będzie liderem, w uruchamianiu sieci 5G, należy jednak wykorzystać ten czas również na podnoszenie świadomości przedsiębiorców i zwiększanie ich możliwości absorpcji nowej technologii (przez testy i pilotaże przy współpracy przemysłu i operatorów).

3. Należy zapewnić poprawę uwarunkowań dla rozwoju sieci 5G w kraju – w tym przez zapewnienie odpowiednich zmian prawnych i usunięcie barier, jak np. w zakresie limitów PEM. Oprócz zmian prawnych kluczowa jest tu kampania informacyjna.

4. Należy zadbać o efektywne rozdysponowanie kluczowych zasobów widma radiowego. Oznacza to w pierwszym etapie podjęcie aktywnych działań mających na celu uporządkowanie i zwolnienie odpowiednich zasobów widma, w kolejnym dostosowanie warunków, na jakich widmo zostanie rozdysponowanie do usług, które mają być świadczone. Biorąc pod uwagę aspekty społeczne (np. zmiany dla nadawców telewizyjnych), jak i prawne (konieczność uprzednich zmian prawnych, ryzyko postępowań sądowych) konieczna jest tu ścisła współpraca między rządem a UKE.

5. W celu przygotowania rynku na 5G należy rozszerzyć zakres prowadzonych testów i pilotaży oraz jasno określić plany rządu odnośnie do kluczowych elementów dla sieci 5G (częstotliwości, model sieci, finansowanie).

6. Przy wyborze modelu powstawania nowej sieci należy oprzeć się na sprawdzonych wzorcach komercyjnych, a podejście scentralizowane wykorzystać jedynie w przypadku jasno określonej, odrębnej kategorii usług, które miałyby być w takiej sieci świadczone. Należy też przeanalizować, czy pożądane parametry nie mogą zostać osiągnięte za pomocą obowiązków nałożonych na dostawców komercyjnych (np. jeśli chodzi o pokrycie).

7. W zakresie finansowania sieci 5G należy wykorzystać narzędzia pozwalające na obniżenie kosztów oraz zwiększenie potencjalnych przychodów operatorów komercyjnych. Jednocześnie należy rozważyć wykorzystanie mechanizmu aukcyjnego i potencjalnych przychodów z aukcji, przekierowując je na inwestycje w sieć.

Bibliografia

Exatel S.A. (2018), *Stanowisko Exatel S.A. w konsultacjach "Częstotliwości 5G. Konsultacje założeń zagospodarowania widma radiowego"*, Warszawa.

Friedner, S. i in. (2017), *Study on Spectrum Assignment in the European Union*. DOI: 10.2759/509541, EU Publications.

GSMA (2018), *5G Spectrum. GSMA Public Policy Position*, London.

Komisja Europejska (2016a), *Komunikat Komisji do Parlamentu Europejskiego, Rady, Europejskiego Komitetu Ekonomiczno-społecznego i Komitetu Regionów: Łączność dla konkurencyjnego jednolitego rynku cyfrowego: w kierunku europejskiego społeczeństwa gigabitowego*, Bruksela.

Komisja Europejska (2016b), *Komunikat Komisji do Parlamentu Europejskiego, Rady, Europejskiego Komitetu Ekonomiczno-społecznego i Komitetu Regionów: Sieć 5G dla Europy: plan działania*, Bruksela.

Krajowa Izba Gospodarcza Elektroniki i Telekomunikacji (2018), *Stanowisko w odpowiedzi na konsultacje dokumentu 'Częstotliwości 5G. Konsultacje założeń zagospodarowania widma radiowego'*, Warszawa.

Martino, M. (2018), *Regulation and award of 5G pioneer bands in Italy*, http://www.itu.int [dostęp: 26.02.2019].

Minister Cyfryzacji (2019), *Odpowiedź na interpelację nr 28560*, Warszawa.

Ministerstwo Cyfryzacji (2018), *Narodowy Plan Szerokopasmowy (wersja do konsultacji społecznych)*, Warszawa.

Ministerstwo Cyfryzacji (2019), *Krajowy Plan Działań Zmiany Przeznaczenia Pasma 700 MHz w Polsce (wersja do konsultacji publicznych)*, Warszawa.

Ministerstwo Środowiska (2003), *Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 30 października 2003 r. w sprawie dopuszczalnych poziomów pól elektromagnetycznych w środowisku oraz sposobów sprawdzania dotrzymania tych poziomów*, Warszawa.

Netia S.A. (2018), *Stanowisko do konsultacji dokumentu: "Częstotliwości 5G. Konsultacje założeń zagospodarowania widma radiowego"*, Warszawa.

Orange Polska S.A. (2018), *Stanowisko Orange Polska S.A. (dalej także „Orange" lub „OPL") w ogłoszonych przez Prezesa UKE w dniu 5 lipca 2018 r. konsultacjach dotyczących założeń zagospodarowania widma radiowego na potrzeby systemów 5G*, Warszawa.

P4 sp. z o.o. (2018), *Stanowisko P4 sp. z o.o. dot. prezentacji „Częstotliwości dla 5G. Konsultacje założeń zagospodarowania widma radiowego"*, Warszawa.

Parlament Europejski i Rada Unii Europejskiej (2017) *Decyzja Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2017/899 z dnia 17 maja 2017 r. w sprawie wykorzystywania zakresu częstotliwości 470–790 MHz w Unii*, Bruksela.

Parlament Europejski i Rada Unii Europejskiej (2018), *Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2018/1972 z dnia 11 grudnia 2018 r. ustanawiająca Europejski kodeks łączności elektronicznej*, Bruksela.

Polkomtel Sp. z o.o. (2018), *Stanowisko Polkomtel Sp. z o. o. do konsultacji dokumentu: „Częstotliwości dla 5G. Konsultacje założeń zagospodarowania widma radiowego"*, Warszawa.

Rada Ministrów (2017), *Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 27 grudnia 2013 roku w sprawie Krajowej Tablicy Przeznaczeń Częstotliwości* (Dz. U. z 2014 r. poz 161 z późn. zm.), Warszawa.

Urząd Komunikacji Elektronicznej (2018a), *Częstotliwości dla 5G – konsultacje założeń zagospodarowania widma radiowego*, Warszawa.

Urząd Komunikacji Elektronicznej (2018b), *Raport o stanie rynku telekomunikacyjnego w Polsce w 2017 r.*, Warszawa

Polski Instytut Ekonomiczny

Polski Instytut Ekonomiczny to publiczny *think tank* gospodarczy, którego historia sięga 1928 roku. Obszary badawcze Instytutu to przede wszystkim handel zagraniczny, energetyka i gospodarka cyfrowa oraz analizy strategiczne dotyczące kluczowych obszarów życia społecznego i publicznego Polski. Instytut zajmuje się dostarczaniem analiz i ekspertyz do realizacji Strategii na Rzecz Odpowiedzialnego Rozwoju, a także popularyzacją polskich badań naukowych z zakresu nauk ekonomicznych i społecznych w kraju oraz za granicą.

Polski
Instytut
Ekonomiczny