



# Bezprzewodowe technologie szerokopasmowe

**Dariusz Zmysłowski**  
Instytut Systemów Łączności  
Wydział Elektroniki  
Wojskowej Akademii Technicznej

Gdańsk, 09 kwietnia 2024 r.



# Agenda



- Instytut Systemów Łączności WEL WAT – krótka charakterystyka
- Fale radiowe jako medium transmisyjne
- Ewolucja telefonii komórkowej – od 0G do 6G
- Technologie w 5G
- Rozwój 5G
- 5G w pracach EDA CapTech Information
- 5G w pracach NATO Science & Technology Organization
- Uwarunkowania technologiczne – 5 G w zastosowaniach specjalizowanych
- Charakterystyka wybranych rozwiązań szerokopasmowych systemów bezprzewodowych
- Charakterystyka wybranych implementacji sieci prywatnych 5G
- Prywatne sieci 5G w Polsce – kwestie regulacyjne
- Podsumowanie





# Institute of Communications Systems



## Wojskowa Akademia Techniczna – struktura:

- Wydział Bezpieczeństwa, Logistyki i Zarządzania
- Wydział Cybernetyki
- Wydział Elektroniki
  - **Instytut Systemów Łączności**
  - Instytut Radioelektroniki
  - Instytut Systemów Elektronicznych
- Wydział Inżynierii Lądowej i Geodezji
- Wydział Inżynierii Mechanicznej
- Wydział Mechatroniki, Uzbrojenia i Lotnictwa
- Wydział Zaawansowanych Technologii i Chemii
- Instytut Optoelektroniki







# Institute of Communications Systems



## Zadania dydaktyczne

- nauczanie podchorążych (studentów wojskowych) i studentów cywilnych na kierunkach:
    - **Elektronika i Telekomunikacja**, specjalizacja: systemy i sieci telekomunikacyjne, walka radioelektroniczna, systemach bezprzewodowych i cyfrowych
    - **Technologie Elektroniczne i Telekomunikacyjne** – studia praktyczne w zakresie wojskowych systemów łączności
  - prowadzenie specjalistycznych kursów wojskowych
- 
- Studenci: 500 +
  - Doktoranci: 30
  - Kadra: 50 nauczycieli akademickich, w większości prowadzących badania naukowe
  - Granty EDA: udział w 10 projektach EDA na przestrzeni ostatnich 15 lat
  - Projekty (granty): 16 aktualnie budżet projektów: około 90% wszystkich projektów na Wydziale Elektroniki



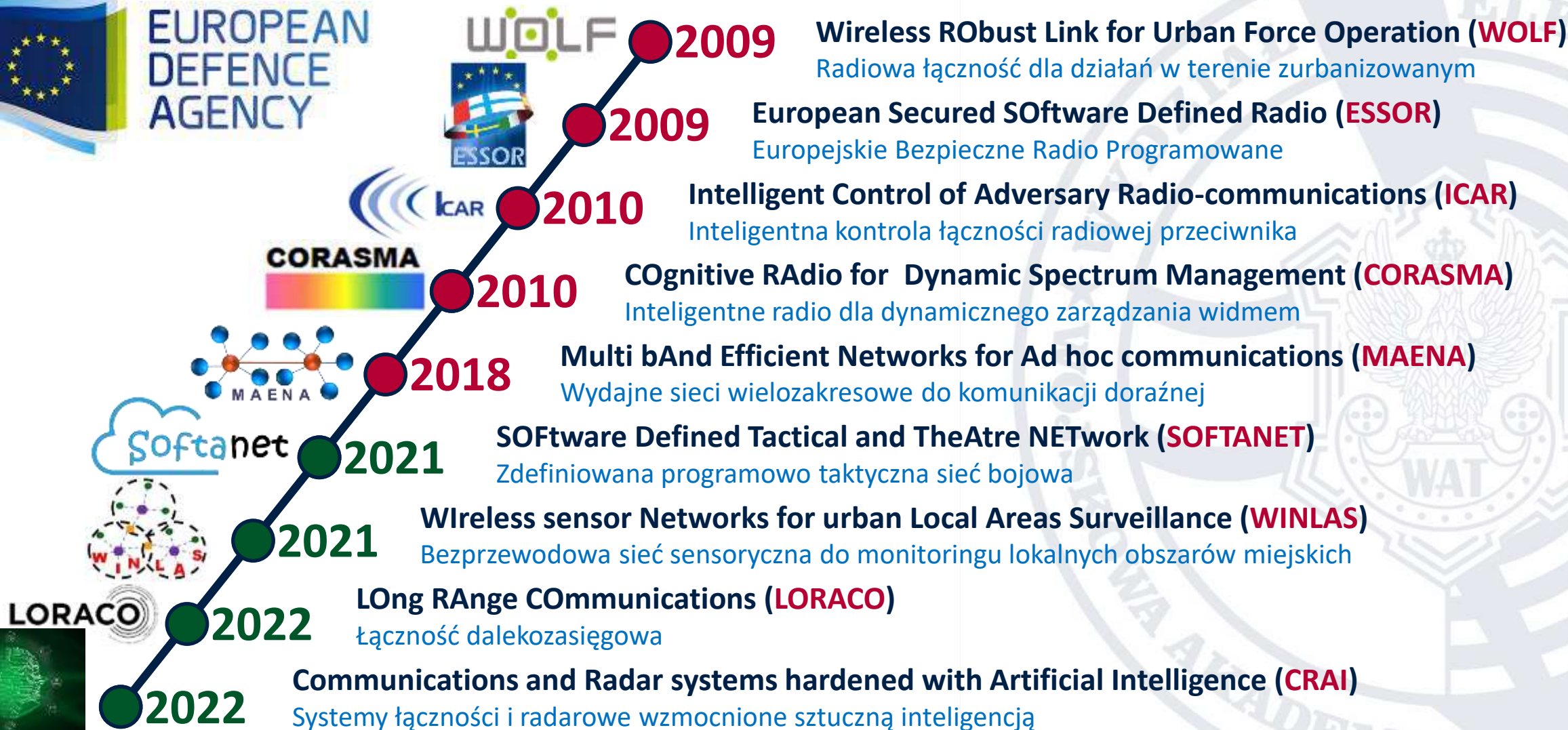


# Prace Instytutu Systemów Łączności WEL WAT



EUROPEAN  
DEFENCE  
AGENCY

## Projekty Europejskiej Agencji Obrony (EDA):



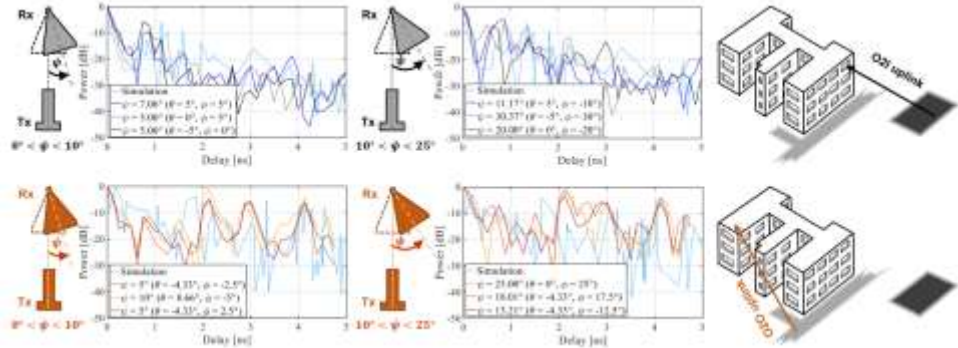




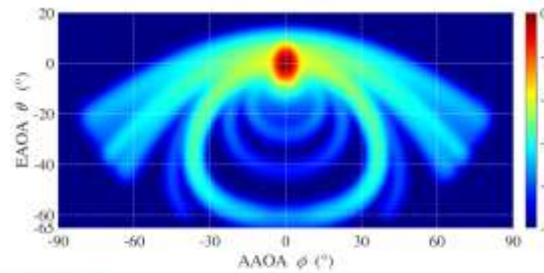
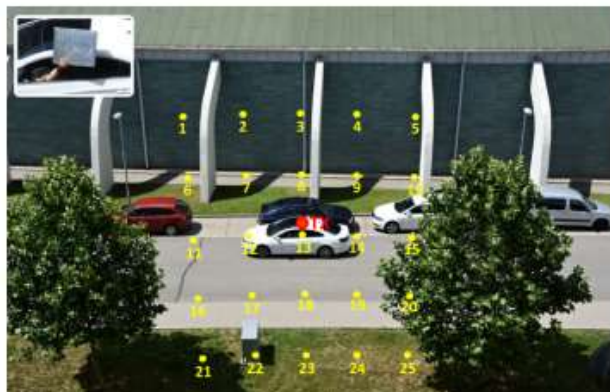
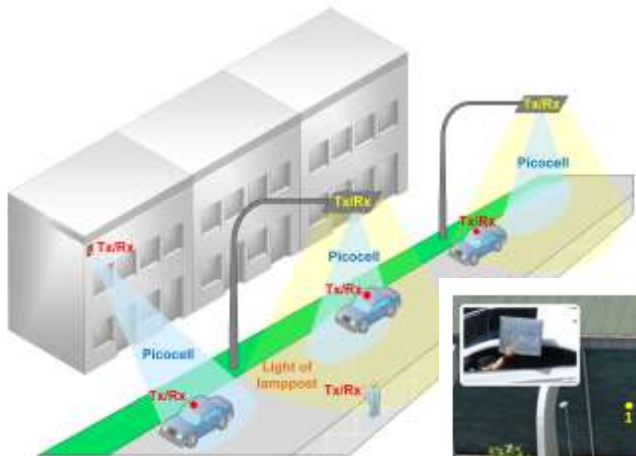
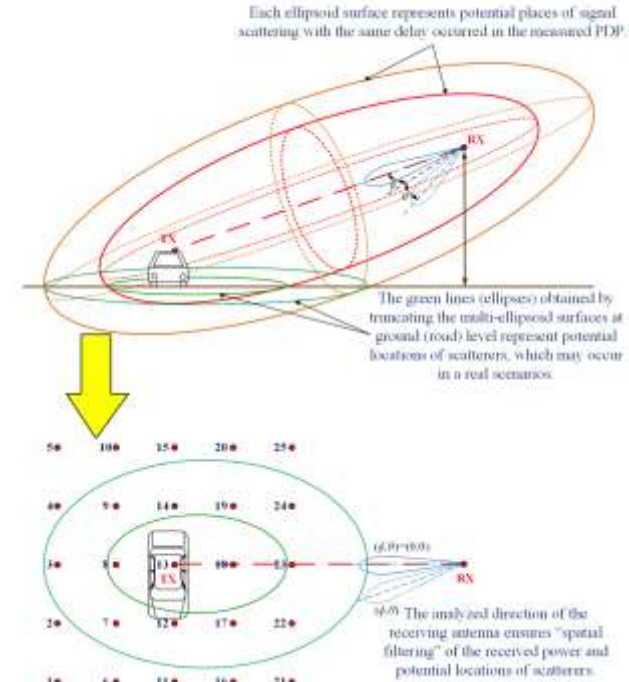




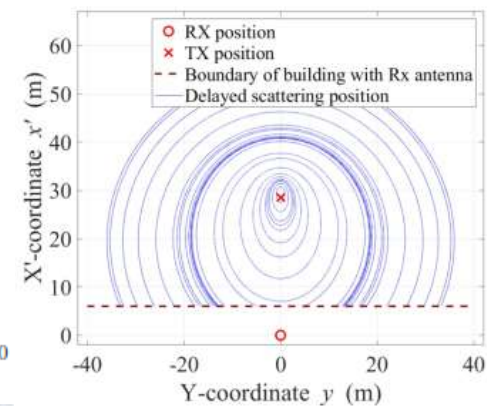
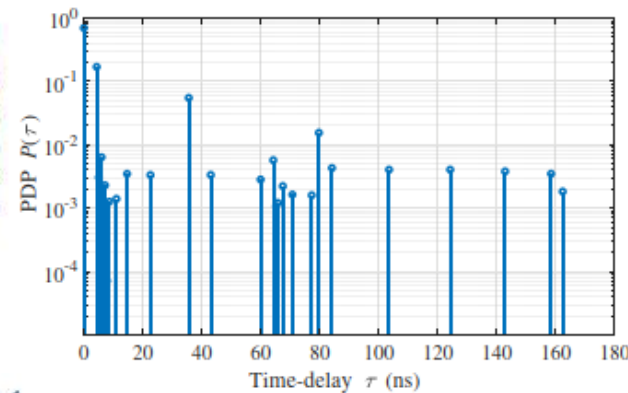
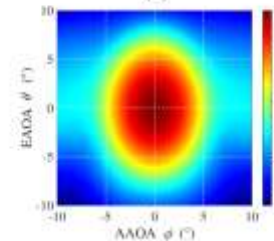
# Prace Instytutu Systemów Łączności WEL WAT



BRNO FACULTY OF ELECTRICAL UNIVERSITY ENGINEERING OF TECHNOLOGY AND COMMUNICATION



(a)





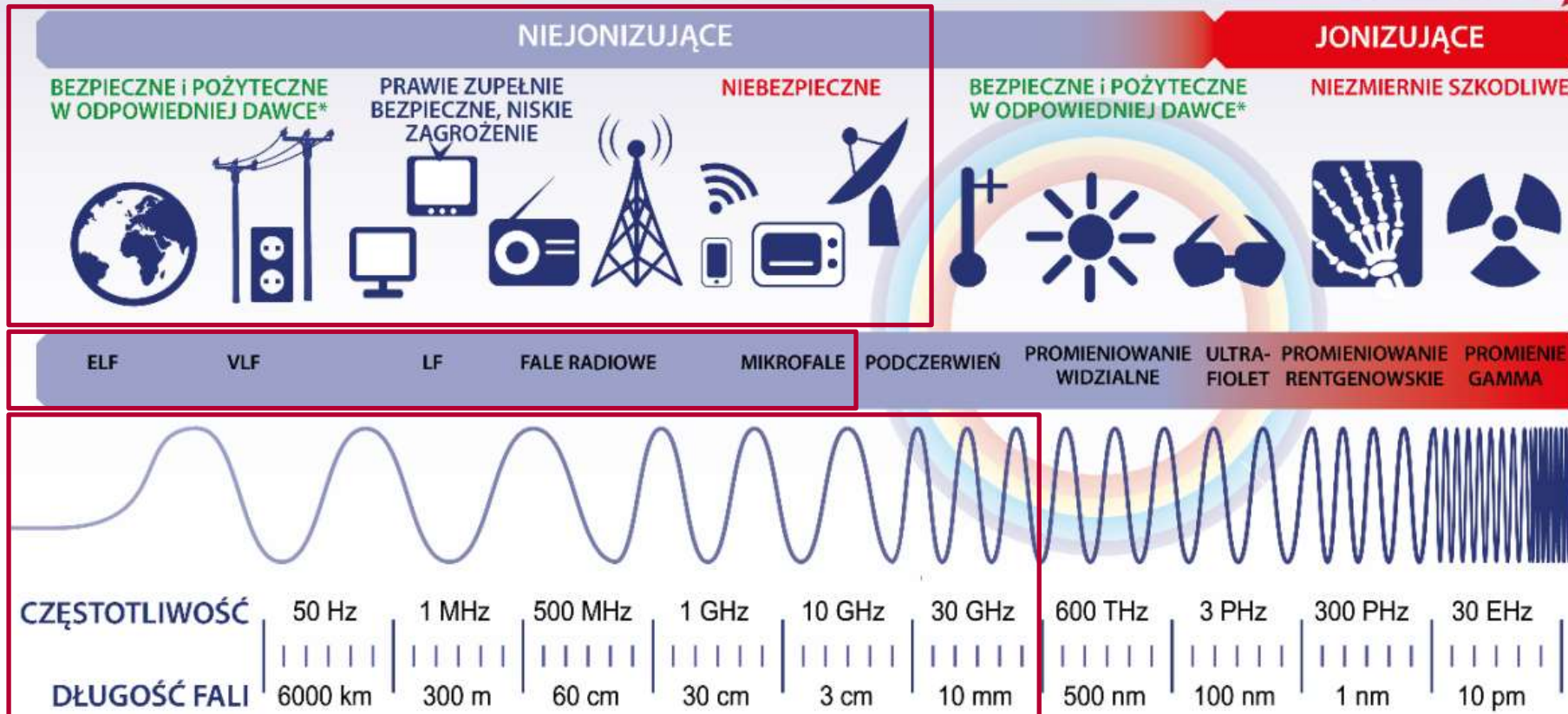


# Fale radiowe jako medium transmisyjne



**Fale radiowe** – to fale elektromagnetyczne o częstotliwości od 3 Hz do 3 THz (zakres długości fal: od 100  $\mu\text{m}$  do  $10^5$  km) propagujące w przestrzeni.

## PROMIENIOWANIE







# Fale radiowe jako medium transmisyjne



Nazwa polska	Skrót polski	Częstotliwość	Długość fali	Nazwa angielska	Skrót angielski
fale niezmiernie długie, niezmiernie niska częstotliwość		< 3 Hz	> 10 <sup>5</sup> km	tremendously low frequency	TLF
fale dekamegametrowe, fale ekstremalnie długie, ekstremalnie niska częstotliwość	EDF	3 - 30 Hz	10 <sup>4</sup> - 10 <sup>5</sup> km	extremely low frequency	ELF
fale megametrowe, fale superdługie, superniska częstotliwość	SDF	30 - 300 Hz	10 <sup>3</sup> - 10 <sup>4</sup> km	super-low frequency	SLF
fale hektokilometrowe, fale ultradługie, ultraniska częstotliwość	UDF	300 - 3000 Hz	10 <sup>2</sup> - 10 <sup>3</sup> km	ultra-low frequency	ULF
fale dekakilometrowe, fale bardzo długie, bardzo niska częstotliwość	BDF	3 - 30 kHz	10 - 100 km	very low frequency	VLF
fale kilometrowe, fale długie, niska częstotliwość	DF, Dł, D	30 - 300 kHz	1 - 10 km	low frequency	LF
fale hektometrowe, fale średnie, średnia częstotliwość	ŚF, Śr, Ś	300 - 3000 kHz	100 - 1000 m	medium frequency	MF
fale dekametrowe, fale krótkie, wysoka częstotliwość	KF, Kr, K	3 - 30 MHz	10 - 100 m	high frequency	HF
fale metrowe, fale bardzo krótkie, bardzo wysoka częstotliwość	BKF	30 - 300 MHz	1 - 10 m	very high frequency	VHF
fale decymetrowe, fale ultrakrótkie, ultrawysoka częstotliwość	UKF	300 - 3000 MHz	100 - 1000 mm	ultra-high frequency	UHF
fale centymetrowe, fale superkrótkie, superwysoka częstotliwość	SKF	3 - 30 GHz	10 - 100 mm	super-high frequency	SHF
fale milimetrowe, fale ekstremalnie krótkie, ekstremalnie wysoka częstotliwość	EKF	30 - 300 GHz	1 - 10 mm	extremely high frequency	EHF
fale submilimetrowe, fale niezmiernie krótkie, niezmiernie wysoka częstotliwość	NKF	300 - 3000 GHz	0.1 - 1 mm	tremendously high frequency	THF

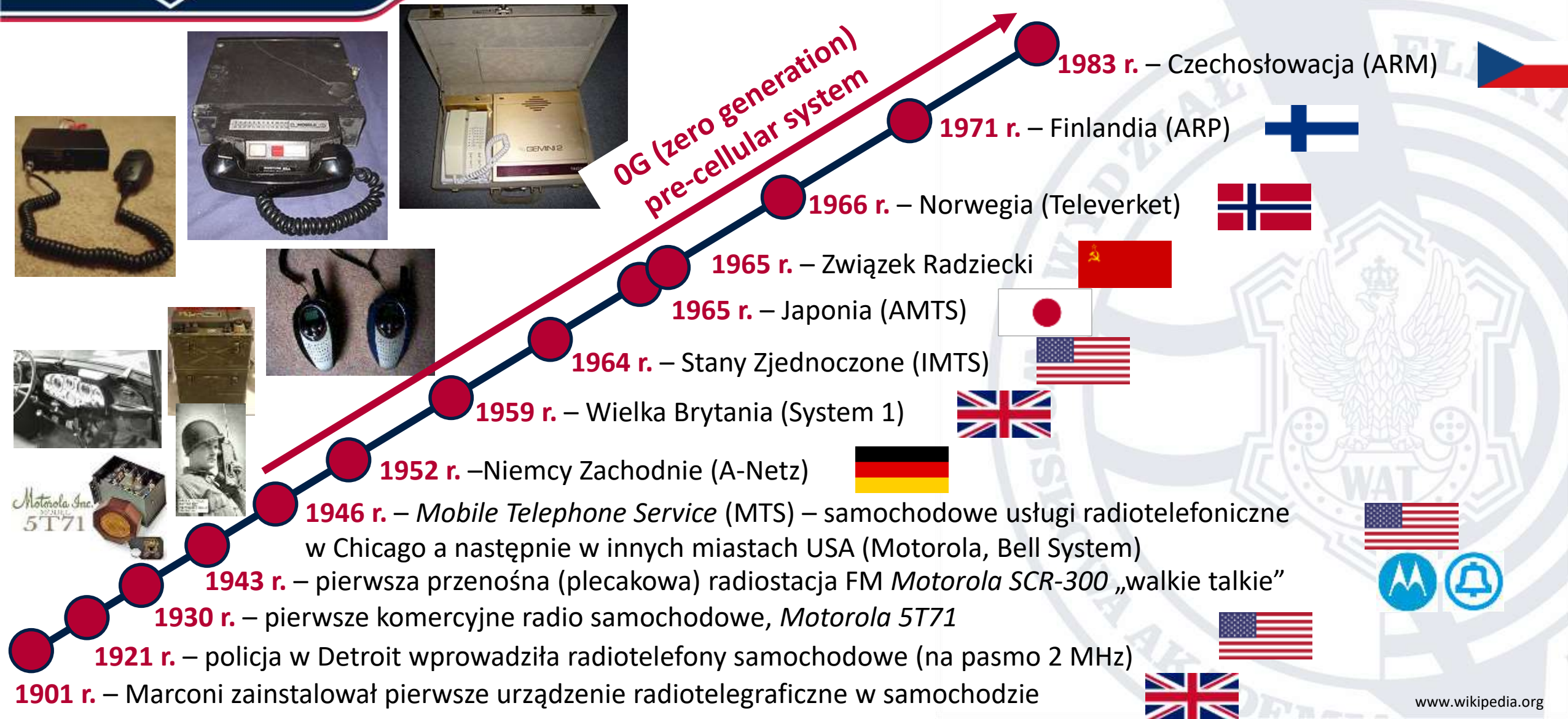
**1890 – 1980**  
**Początki rozwoju**  
**radiokomunikacji**

**1980 – 2020 r.**  
**Rozwój telefonii**  
**komórkowej (1G-4G)**

**Od 2020 r.**  
**Systemy 5G i 6G**



# Ewolucja radiokomunikacji mobilnej







# Koniec Zimnej Wojny



**ITU** Committed to connecting the world  
عربي 中文 Español Français Русский

What would you like to search for?

Home ITU General Secretariat **Radiocommunication** Standardization Development ITU Telecom Members' Zone Join ITU

About ITU-R Events Databases & e-Services Publications Space Terrestrial Study Groups Regional Presence Join ITU-R

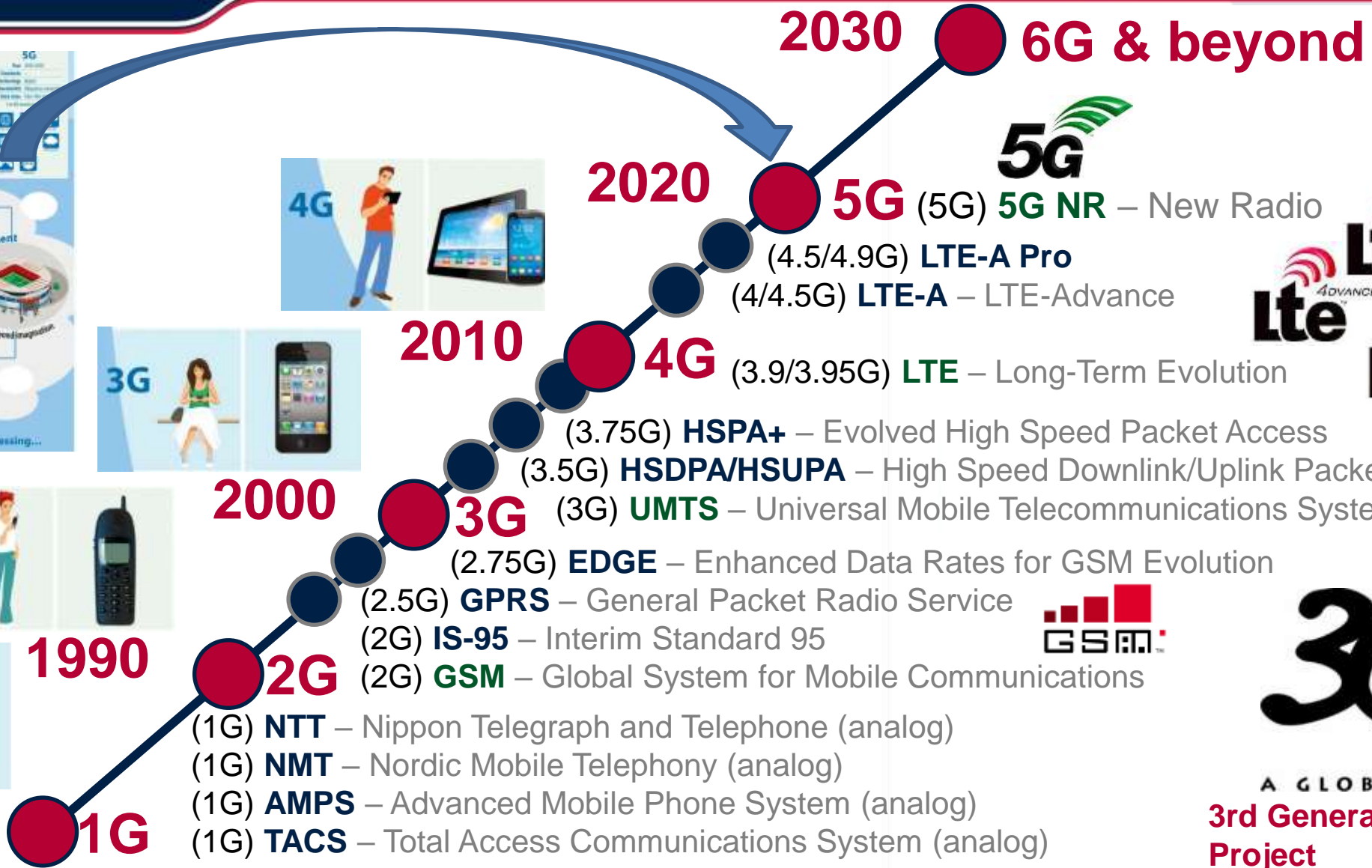
SUSTAINABLE DEVELOPMENT GOALS

World Radiocommunication Conferences (WRC)





# Rozwój sieci mobilnych (od 1G do 6G)



A GLOBAL INITIATIVE  
**3rd Generation Partnership Project**





# Ewolucja telefonii komórkowej: 1G (Analogowa)



- Pierwsze komercyjne systemy telefonii komórkowej (1G) pojawiły się w latach 80-tych XX wieku.
- Brak kompatybilności pomiędzy systemami 1G:  
NTT – Japonia, NMT – Skandynawia, Rosja i Europa Wschodnia,  
AMPS – Stany Zjednoczone, TACS – Europa Zachodnia.
- **Technologia: analogowa.**
- **Usługi: analogowa transmisja głosu.**
- W czerwcu 1992 r. w Polsce powstała sieć Centertel w systemie NMT.
- Gęstość abonentów: około 2%,  
w Skandynawii – około 5%.
- **Waga telefonu: od 100g do 4.5 kg.**



**1981**



## Ewolucja telefonii komórkowej: 2G (GSM)



- Standardy: GMS, GPRS, EDGE.
- Technologia: cyfrowa.
- Usługi: cyfrowa transmisja głosu, krótka wiadomość tekstowa (SMS), transmisja prostych danych.
- Wąskie pasmo pracy.
- Szybkość transmisji: do 80-100 kbit/s.
- Trzy główne zalety sieci 2G w porównaniu z 1G:
  - Cyfrowo szyfrowane rozmowy telefoniczne, przynajmniej między telefonem komórkowym a komórkową stacją bazową, ale niekoniecznie w pozostałej części sieci.
  - Znacznie wydajniejsze wykorzystanie widma częstotliwości radiowych, co umożliwia większą liczbę użytkowników na pasmo częstotliwości.
  - Usługi transmisji danych dla telefonów komórkowych, począwszy od wiadomości tekstowych SMS.



1991





# Ewolucja telefonii komórkowej: 3G (UMTS)



- Standardy: UMTS, HSDPA, HSUPA, HSPA+.
- Technologia: cyfrowa.
- Nowe usługi: usługa wiadomości multimedialnych (MMS), transmisja pakietowa, Internet, transmisja wideo – usługi audio i wideo, rozmowy wideo, telewizja mobilna.
- Szerokie pasmo pracy.
- Szybkość transmisji: do 20 Mbit/s.
- Pobieranie 1-godzinnego filmu HD w 5 godzin.
- Zasoby urządzeń (telefonu/smartfonu):
  - pamięć operacyjna do 256 MB,
  - karta pamięci do 16 GB.
- Smartfony.



**1998**



# Ewolucja telefonii komórkowej: 4G (LTE)



- Standardy: LTE, LTE-A, LTE-A Pro (IMT-Advanced).
- Technologia: cyfrowa.
- Nowe usługi: obliczenia w chmurz, usługi gier sieciowych, szerokopasmowy dostęp do Internetu.
- Szerokie pasmo pracy w warunkach mobilnych.
- Szybkość transmisji: do 1 Gbit/s.
- Pobieranie 1-godzinnego filmu HD w 6 minut.
- Zasoby urządzeń (smartfonu/tabletu):
  - pamięć operacyjna do 6 GB,
  - karta pamięci do 256 GB.
- Tablety.



2008





# Ewolucja telefonii komórkowej: 5G (NR)



- Standardy: 5G NR (IMT-2020).
- Technologia: cyfrowa.
- Ultra szerokie pasma pracy w warunkach mobilnych.
- Szybkość transmisji: do 20 Gbit/s.
- Pobieranie 1-godzinnego filmu HD w 6 sekund.
- Zasoby urządzeń (smartfonu/tabletu):
  - pamięć operacyjna do 8 GB,
  - karta pamięci do 512 GB.
- Większa liczba użytkowników i połączeń.
- Nowe usługi:



What 5G is about



2018







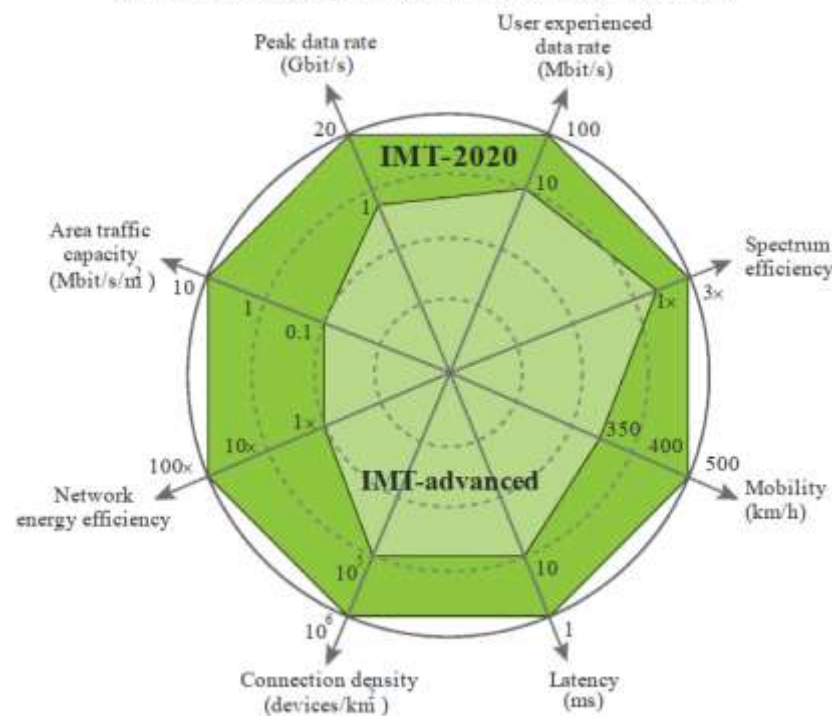
# Rewolucja 5G & beyond



## What 5G is about



Enhancement of key capabilities from IMT-Advanced to IMT-2020



M.2083-03

Recommendation ITU-R M.2083-0  
(09/2015)

IMT Vision – Framework and overall objectives of the future development of IMT for 2020 and beyond





# Rewolucja 5G & beyond



- **telefonii komórkowa**
- łączność bezprzewodowa radiowa (np. sieci WiFi)
- bezprzewodowe sieci sensoryczne i Internet Rzeczy (IoT)
- łączność satelitarna
- łączność przewodowa (np. sieci LAN)
- łączność światłowodowa (optyczna)
- bezprzewodowa łączność optyczna
- ...
- ... łączność wojskowa





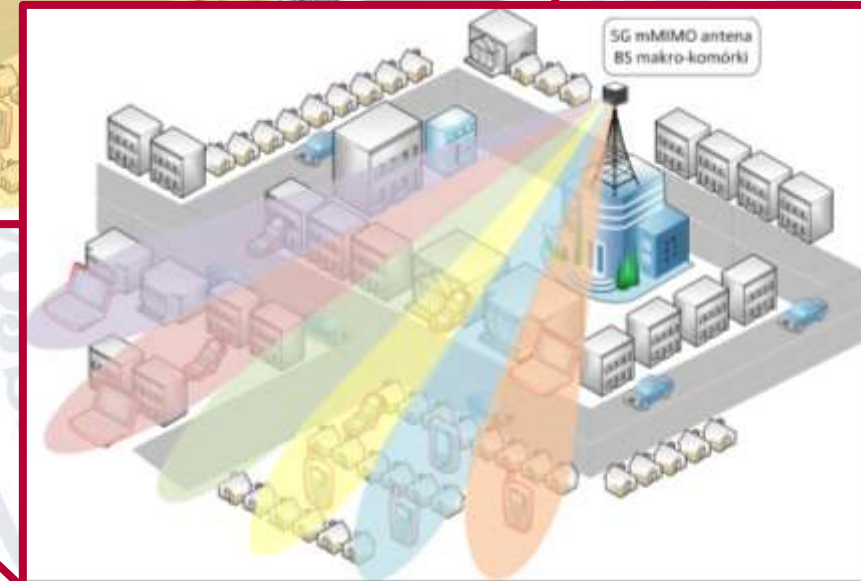
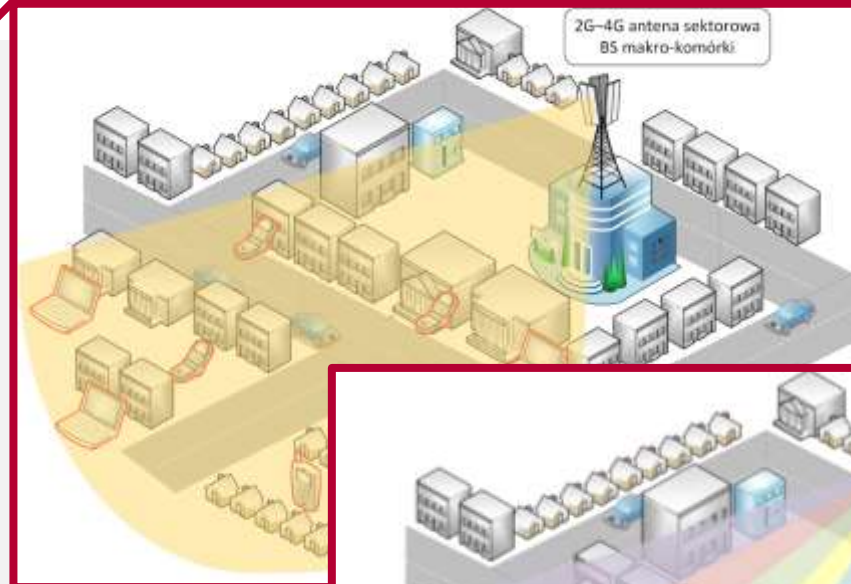
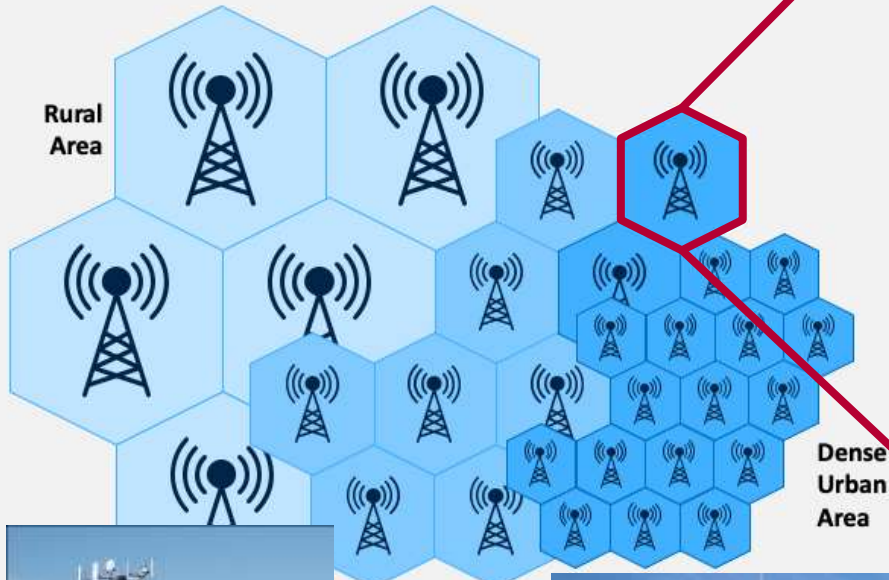


# Telefonia komórkowa



## CELLULAR COMMUNICATION

Enter your sub headline here





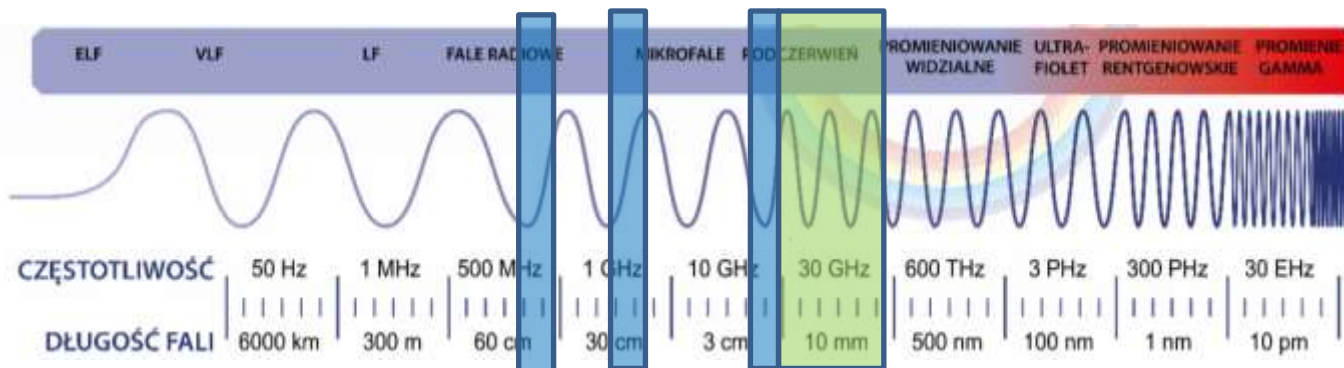


# Ewolucja telefonii komórkowej: 6G & beyond



## Pasma 5G / 6G:

- sub-6 GHz:
  - 700 MHz (690-790 MHz)
  - 3.6 GHz (3.4-3.8 GHz)
- mm-wave (30-300 GHz):
  - 26 GHz (24.2-27.5 GHz)
  - 38, 43, 60, 73, 90 GHz, ...
- terahertz-wave (300GHz-3THz)



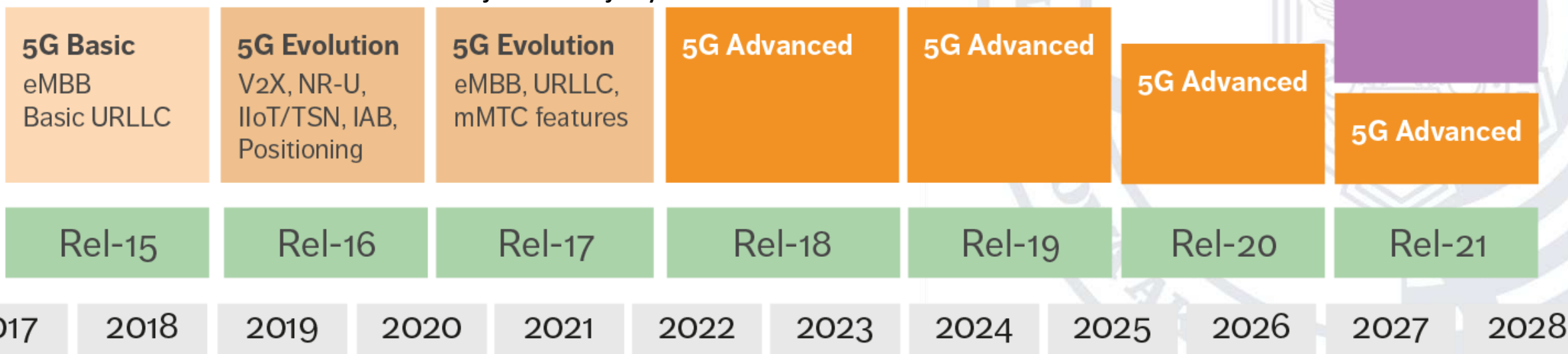




# Ewolucja telefonii komórkowej: 6G & beyond



- ❑ Pod auspicjami 3GPP (*The 3rd Generation Partnership Project*) rozwijany jest standard 5G NR, podobny do wcześniejszego 2G/3G/4G.
- ❑ 3GPP regularnie publikuje specyfikacje techniczne (TS- *Technical Specification*) i raporty techniczne (TR – *Technical Report*), które definiują nowe lub aktualizują istniejące ogólne specyfikacje systemów komórkowych.
- ❑ Specyfikacje są pogrupowane w wydania (*Release*), co pozwala na zbudowanie systemu zgodnie z ewoluującym standardem.
- ❑ W ten sposób zapewniona jest możliwość współpracy pomiędzy urządzeniami stacji bazowej a sprzętem użytkownika (UE) dla różnych dostawców, operatorów i krajów.
- ❑ Standard 5G jest rozwijany w Rel 15-21.





# Ewolucja telefonii komórkowej: 6G & beyond



Leading 3GPP evolution of  
**5G**



**5G Advanced**

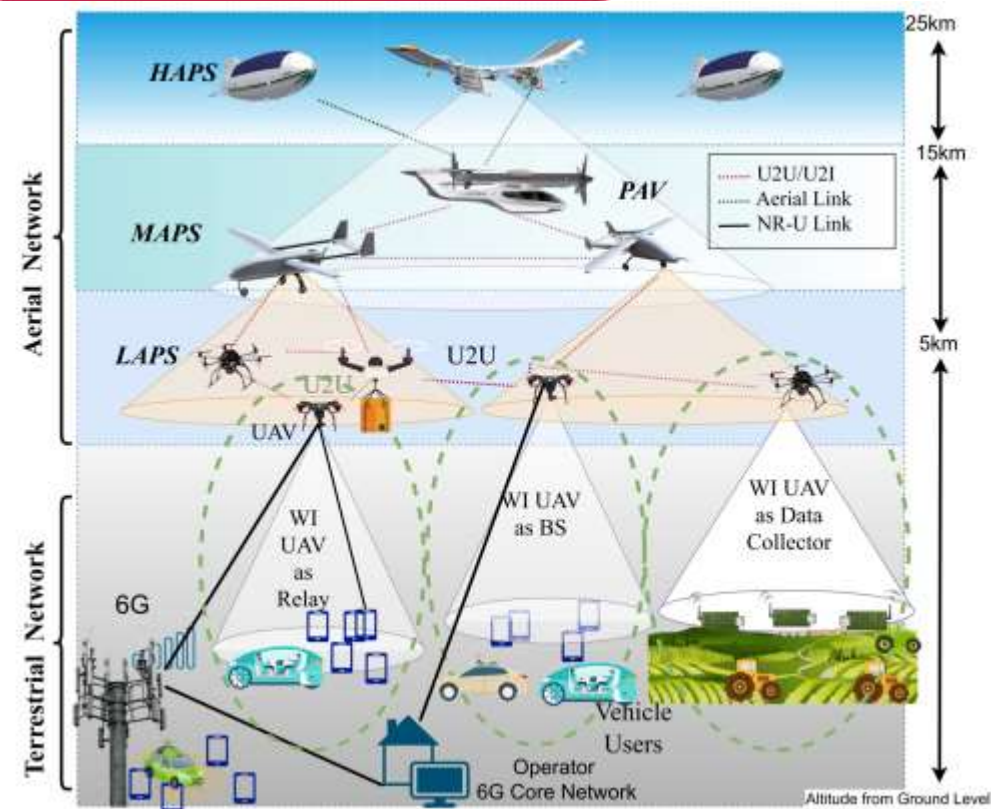






# Broadband Wireless Infrastructure UAV

## - jak w przyszłości 6G zwiększy zasięg komunikacji



Efforts	Organisation	Year	Standard	Status
UAV and UAV controller functional architecture based on IMT-2020 networks	ITU	2017	ITU-T Y.UAV.arch	Finalization in 2021
Civilian UAV communication service requirements	ITU	2019	ITU-T F.749.10	Finalization in 2020
Framework standard for drone applications	IEEE	2018	IEEE P1936.1	Finalization in 2022
Standard framework of low-altitude airspace structuring for UAV operations.	IEEE	2019	IEEE P1939.1	Finalization in 2021
Standard for airborne communication and networking	IEEE	2020	IEEE P1920.1	Finalization in 2021
SID has been revised to include improved support for UAVs	3GPP	2017	3GPP Rel-15 (RP-171050)	Finalized
Improved LTE connection for aerial vehicles	3GPP	2018	3GPP Rel-15 (TR 36.777)	99% Finalized
Support for UAV systems (UAS) in the 3GPP	3GPP	2018	3GPP Rel-17 (TS 22.125)	Finalized
Enhancement of 5G for UAVs	3GPP	2018	3GPP Rel-17 (TR 22.829)	Finalized
Support for aerial vehicles, system communication, identification, and tracking are investigated	3GPP	2020	3GPP Rel-17 (TR 23.754)	50% Finalized
Investigation on application layer functionalities for UAS	3GPP	2020	3GPP Rel-17 (TR 23.755)	45% Finalized
Study on enhanced architecture for UAS Applications	3GPP	2021	3GPP Rel-18 (TR 23.700)	10% Finalized
NR support for UAV (Uncrewed Aerial Vehicles)	3GPP	2021	3GPP Rel-18 (TR 21.900)	0% Finalized
Study on Phase 2 of UAS, UAV and UAM	3GPP	2021	3GPP Rel-18 (TR 23.256)	0% Finalized

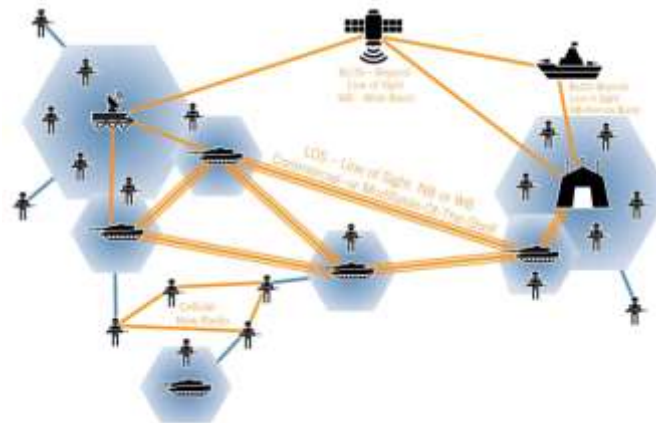
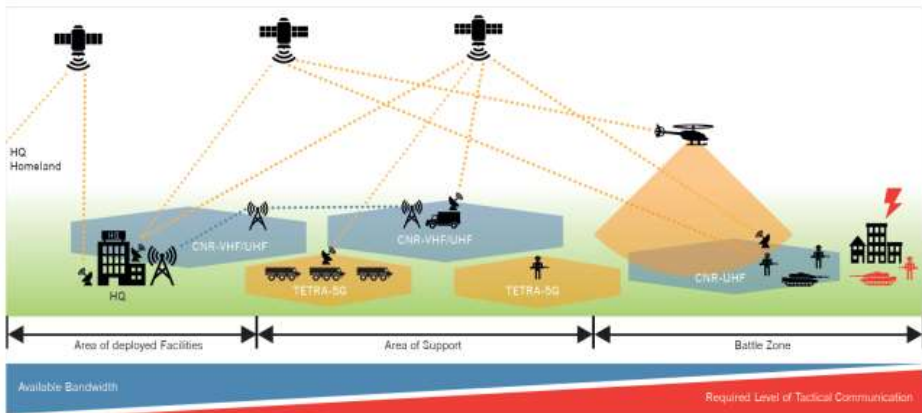


# 5G w pracach EDA CapTech Information



## EDA CapTech (Capability Technology Areas ) Communication Information Systems and Networks (w skrócie: CapTech Information)

- trzy warsztaty „5G dla obronności” (2019–2021),
- analiza technologii 5G kluczowych dla zastosowań wojskowych,
- analiza potencjalnych przypadków (scenariuszy) zastosowań militarnych technologii 5G,
- analiza luk technologicznych w cywilnym standardzie 3GPP, opracowanie białej księgi „Technologie 5G dla obronności”.







# 5G w pracach NATO Science & Technology Organization



SCIENCE & TECHNOLOGY ORGANIZATION  
INFORMATION SYSTEMS TECHNOLOGY PANEL



## NATO Science & Technology Organization (NATO STO):

- Information Systems Technology (IST) Panel:

- IST-147-RTG on Military Applications of the Internet of Things (2016–2019),
- IST-176-RTG on Federated Interoperability of Military C2 and IoT Systems (2019–2023),
- **IST-187-RTG on 5G Technologies Application to NATO Operations (2020–2024),**
- IST-220-RTG on NATO Wireless Communications Standards Project (2023–2026),
- IST-ET-126 on 6G Communication (2023–2024).

RTG – Research Task Group – Zadaniowa Grupa Badawcza

ET – Exploratory Team – Zespół Badawczy



# 5G w pracach NATO Science & Technology Organization



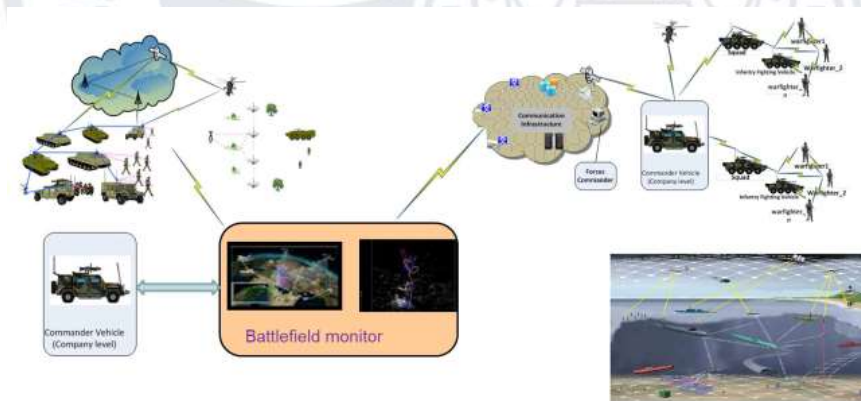
SCIENCE & TECHNOLOGY ORGANIZATION  
INFORMATION SYSTEMS TECHNOLOGY PANEL



## IST-147-RTG on Military Applications of the Internet of Things:

### Główne cele badawcze:

- Wykazanie w drodze prób weryfikacyjnych wartości zastosowania Internetu rzeczy (IoT) w sytuacjach o znaczeniu militarnym.
- Zdefiniowanie architektury lub architektur IoT, które można zastosować w sytuacjach wojskowych, biorąc pod uwagę istniejące architektury IoT stosowane w innych dziedzinach.
- Identyfikacja zagrożeń związanych z wykorzystaniem komercyjnej technologii IoT w zastosowaniach wojskowych oraz identyfikacja możliwych środków zaradczych lub otwartych wyzwań.
- Stworzenie sieci wymiany wiedzy na temat wojskowych aspektów Internetu rzeczy, obejmującej działalność innych paneli STO badających powiązane tematy, organów NATO, środowiska akademickiego, przemysłu (w tym MŚP) oraz inicjatyw finansowanych przez UE i krajowe.







# 5G w pracach NATO Science & Technology Organization



SCIENCE & TECHNOLOGY ORGANIZATION  
INFORMATION SYSTEMS TECHNOLOGY PANEL



## IST-176-RTG on Federated Interoperability of Military C2 and IoT Systems:

Główne cele badawcze:

- badanie istniejących standardy IoT, a także istniejące STANAG, architektury i najlepsze praktyki, aby lepiej zrozumieć, w jaki sposób integrować komercyjne i cywilne technologie i rozwiązania IoT z wojskowymi systemami C2 i logistyką, w szczególności architekturą NATO Federated Mission Networking (FMN).
- Dalsze zdefiniowanie przypadków użycia/scenariuszy, interfejsów i praktycznej użyteczności rozwiązań opartych na IoT na potrzeby operacji pomocy humanitarnej i usuwania skutków katastrof (HADR) w przyszłych środowiskach inteligentnych miast oraz pomoc w budowie odporności opartej na współpracy.
- Zbadanie wyzwań związanych z odkryciem komercyjnych możliwości i usług IoT, biorąc pod uwagę względny brak ich standaryzacji.



# 5G w pracach NATO Science & Technology Organization



SCIENCE & TECHNOLOGY ORGANIZATION  
INFORMATION SYSTEMS TECHNOLOGY PANEL



## IST-176-RTG on Federated Interoperability of Military C2 and IoT Systems:

Główne cele badawcze:

- Identyfikowanie wyzwań związanych z bezpieczeństwem i opracowywanie strategii łagodzenia tych wyzwań w przypadku łączenia wojskowych infrastruktur C2 i cywilnych infrastruktur IoT oraz podczas przeprowadzania fuzji danymi pochodzącymi z różnych źródeł informacji.
- Eksperymentowanie i demonstrowanie, poprzez próby sprawdzające koncepcję, korzyści i możliwości integracji cywilnych systemów IoT i wojskowych systemów C2, szczególnie w kontekście zapewniania odporności opartej na współpracy.
- Potencjalne zaangażowanie w działania normalizacyjne w przestrzeni cywilnej, na przykład inicjatywy IEEE Smart Cities.
- Organizowanie warsztatów na konferencjach w celu zaangażowania się w komercyjne działania związane z IoT.





# 5G w pracach NATO Science & Technology Organization



SCIENCE & TECHNOLOGY ORGANIZATION  
INFORMATION SYSTEMS TECHNOLOGY PANEL



## IST-187-RTG on 5G Technologies Application to NATO Operations:

Główne cele badawcze:

- **Network Slicing/Software Defined Networking:** większa wirtualizacja sieci zapewniająca elastyczność jednoczesnego uruchamiania różnych aplikacji na tych samych zasobach sprzętowych. Właściwa segmentacja wycinków sieciowych i solidne protokoły zapewniające ich bezpieczeństwo i bezpieczeństwo w zastosowaniach wojskowych.
- **Massive multi-Input multi-Output (MIMO) / Pełny duplex:** Lepsza różnorodność przestrzenna i efektywne wykorzystanie widma. Skuteczne techniki zakłóceń i eliminacji szumów.
- **Ekstremalnie duży zasięg w obszarach o niskim zagęszczeniu:** efektywne techniki kształtowania wiązki i optymalnego podziału mocy.
- **Solidne kody HARQ i kodowanie kanałowe** umożliwiające ustanowienie bardziej niezawodnych połączeń dalekiego zasięgu.



# 5G w pracach NATO Science & Technology Organization



SCIENCE & TECHNOLOGY ORGANIZATION  
INFORMATION SYSTEMS TECHNOLOGY PANEL



## IST-187-RTG on 5G Technologies Application to NATO Operations:

Główne cele badawcze:

- **Mechanizmy bezpieczeństwa:** Wojskowe środki łagodzące bezpieczeństwo mające na celu usunięcie luk w zabezpieczeniach. Skuteczne techniki łagodzenia zakłóceń. Niejawne przebiegi falowe dla fal milimetrowych do wrażliwej komunikacji wojskowej. We wszystkich wyżej wymienionych technologiach nacisk będzie położony na:
  - Opracowanie i identyfikację scenariuszy wojskowych, które prawdopodobnie skorzystają na możliwościach 5G.
  - Wykonanie analizy luk w technologii 5G na podstawie obecnych mechanizmów branżowych i określenie dodatkowe wymagania dotyczące środków zaradczych na potrzeby dalszych badań, które są specyficzne dla scenariuszy wojskowych.
  - Śledzeniu i przestrzeganiu standaryzacji 5G oraz wprowadzaniu zmian w standardach, jeśli jest to właściwe i możliwe.
  - Opracowanie wojskowych modele symulacyjne i przeprowadzanie symulacji.





# 5G w pracach NATO Science & Technology Organization



SCIENCE & TECHNOLOGY ORGANIZATION  
INFORMATION SYSTEMS TECHNOLOGY PANEL



## IST-220-RTG on NATO Wireless Communications Standards Project:

Główne cele badawcze:

- Opracowanie niezawodnej, bezpiecznej i trwałej komunikacji dla NATO - celem będzie stworzenie w ramach NATO inicjatyw, w ramach których podstawowe działania naukowe panelu IST będą mogły zostać wykorzystane bezpośrednio w opracowaniu standardów komunikacyjnych.

## IST-ET-126 on 6G Communication:

Główne cele badawcze:

- Poszukiwanie nowych celów w zakresie zdolności, które są badane pod kątem rozwoju 6G, bezpośrednio odnosząc się do części nowych powstających i przełomowych technologii - Emerging and Disruptive Technology (EDT). Działanie będzie wspierać zrozumienie przez wojskową naukę i technikę swobód i ograniczeń, możliwości i zagrożeń związanych z proponowanymi rozwiązaniami, które mogą wykraczać daleko poza komunikację w miarę dalszej konwergencji zdolności. Celem tego zespołu badawczego jest dostarczenie informacji do opracowania propozycji działań technicznych (Technical Activity Proposal -TAP).





# IST-187-RTG - 5G Technologies Application to NATO Operations



SCIENCE & TECHNOLOGY ORGANIZATION  
INFORMATION SYSTEMS TECHNOLOGY PANEL



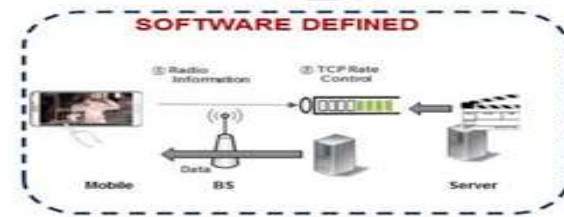
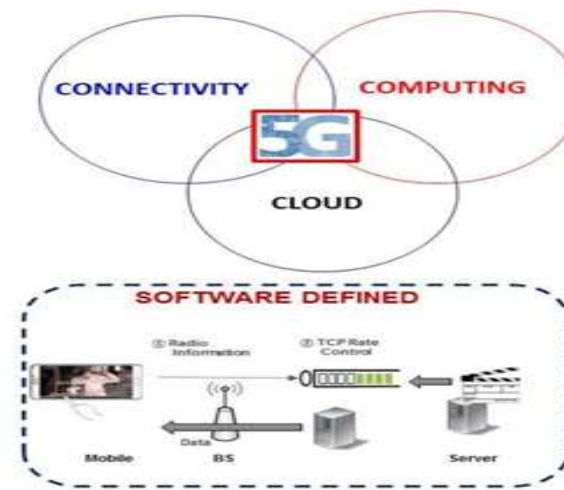
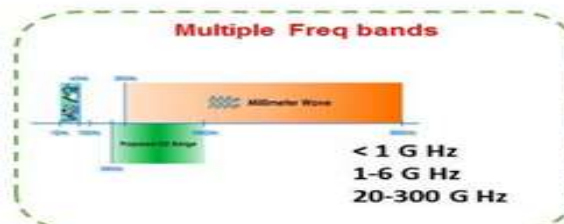
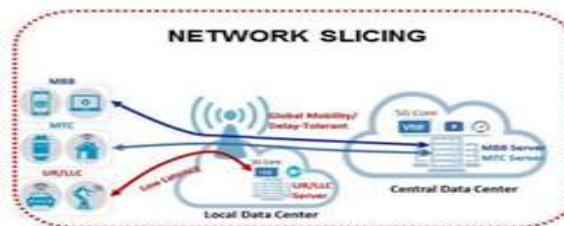
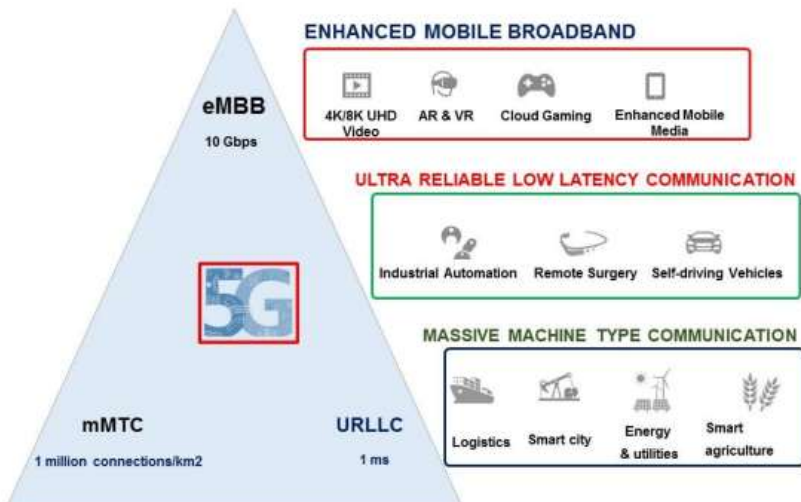
ELEKT







# Uwarunkowania technologiczne – 5 G w zastosowaniach specjalizowanych



Ser No	Feature	NS Value	Remarks
(a)	Density	Integer (number)	UE per sqkm
(b)	Latency	Integer (ms)	time delay in ms
(c)	Mobility	low, medium, high	Handover process
(d)	Availability	low, medium, high	Frequency Bands
(e)	Connectivity	eMBB, uRLLC, mMTC	Services

Źródło: M.Malik, A. Kothari, R.A. Pandhare „NETWORK SLICING IN 5G: POSSIBLE MILITARY EXCLUSIVE SLICE” 2022 1st International Conference on the Paradigm Shifts in Communication, Embedded Systems, Machine Learning and Signal Processing (PCEMS), IEEE Explore,

Zastosowania specjalne (zarządzanie kryzysowe, sterowanie procesami przemysłowymi, aplikacje infrastruktury krytycznej) wymagają odizolowanej i „wyłącznej” sieci komórkowej z „izolacją” do świata zewnętrznego.

Domyślne usługi:

- Push to Talk (PTT),
- Grupowe PTT
- Mission Critical PTT z bezpieczną komunikacją typu end-to-end.

Dostosowany QoS (Quality of Service) do obsługi z priorytetami usługowymi.

Redundancja w sensie nakładania się pasm komunikacyjnych i wyłącznego łącza dosyłowego do sieci agregacyjnej np. przez sieci satelitarne, troposferyczne lub radiolinie szerokopasmowe.



# Uwarunkowania technologiczne – 5 G w zastosowaniach specjalizowanych



## Kluczowe obszary zastosowań sieci prywatnych 5G

- Sieci produkcyjne/kampusowe lub migracja istniejącej sieci do nowej generacji
- Transformacja cyfrowa przedsiębiorstw
- IoT, VR , nadzór wideo
- Diagnostyka Predykcyjna, Cyfrowy Bliźniak

Zastosowanie (profil sieci)	Opóźnienie	Transmisja Danych	Dostępność
AR (wideo 360°, ręczna zdalna kontrola urządzeń)	<10 ms	>50Mb/s	99,99 %
Współpraca robotów	<1ms	40-250 B	99,9999 %
Kontrola robotów	<20ms	15-150 kB	99,999 %
Terminale przenośne	<10ms	zmienna	99,9 %
Automatyzacja [IoT 10 000 urządzeń/km <sup>2</sup> ]	>50ms	zmienna	99,99 %





# 3GPP TS 23.501 – wymagania jakościowe dla usług w 5G



5QI Value	Resource Type	Default Priority Level	Packet Delay Budget	Packet Error Rate	Example Services
1	GBR	20	100 ms	$10^{-2}$	Conversational Voice
2		40	150 ms	$10^{-3}$	Conversational Video (Live Streaming)
3		30	50 ms	$10^{-3}$	Real Time Gaming, V2X messages. Electricity distribution – medium voltage, Process automation monitoring
4		50	300 ms	$10^{-6}$	Non-Conversational Video (Buffered Streaming)
65		7	75 ms	$10^{-2}$	Mission Critical user plane Push To Talk voice (e.g. MCPTT)
66		20	100 ms	$10^{-2}$	Non-Mission-Critical user plane Push To Talk voice
67		15	100 ms	$10^{-3}$	Mission Critical Video user plane



# 3GPP TS 23.501 – wymagania jakościowe dla usług w 5G



5QI Value	Resource Type	Default Priority Level	Packet Delay Budget	Packet Error Rate	Example Services
1	GBR	20	100 ms	$10^{-2}$	Conversational Voice
2		40	150 ms	$10^{-3}$	Conversational Video (Live Streaming)
3		30	50 ms	$10^{-3}$	Real Time Gaming, V2X messages. Electricity distribution – medium voltage, Process automation monitoring
4		50	300 ms	$10^{-6}$	Non-Conversational Video (Buffered Streaming)
65		7	75 ms	$10^{-2}$	Mission Critical user plane Push To Talk voice (e.g. MCPTT)
66		20	100 ms	$10^{-2}$	Non-Mission-Critical user plane Push To Talk voice
67		15	100 ms	$10^{-3}$	Mission Critical Video user plane





# Mobilne Sieci Prywatne dla łączności kryzysowej



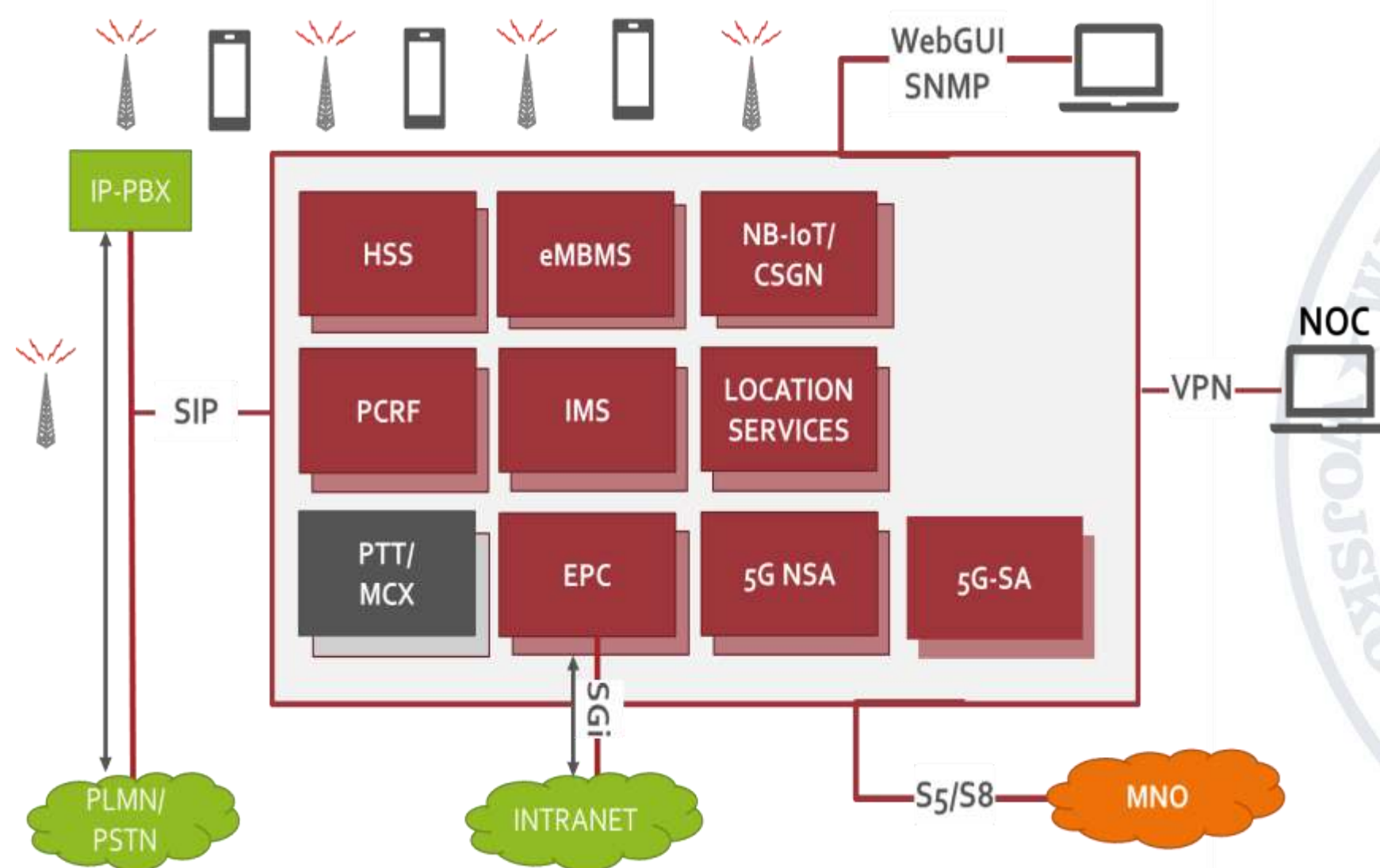
Prywatne sieci LTE 4.5/5G spełniające wymagania aplikacji zarządzania kryzysowego:

- wysoka dostępność (nadmiarowość lokalna/geograficzna), autonomiczna lub federacyjna
- priorytetyzacja ruchu - usługi głosowe, wideo, dane i IoT
- usługa transmisji danych LTE/5G o niskim opóźnieniu
- usługi głosowe oparte na IMS (VoLTE)
- CAT-M i NB-IoT dla zorientowanej maszynowo komórkowej usługi transmisji danych;
- Wiadomości rozgłoszeniowe ostrzegawcze i awaryjne;
- usługi PTT (Push-To-Talk), aplikacje o znaczeniu krytycznym (MCX) obsługujące głos w trybie push-to-talk (MCPTT), wideo w czasie rzeczywistym (MCVideo) i transfer danych w czasie rzeczywistym (MCData);
- Usługa Multimedia Broadcast Multicast Service (eMBMS);
- Geolokalizacja użytkowników;
- Możliwość aktualizacji oprogramowania 5G NSA i SA.





# Rozwiązania sieci prywatnej 4/5G firmy Athonet – architektura



### 5G-SA

Przepływność	Zasoby
10Gbps	4 vCPUs, 8GB RAM
20Gbps	8 vCPUs, 8GB RAM
40Gbps	16 vCPUs, 8GB RAM

Użytkownicy	Zasoby
10k	8 vCPUs, 8GB RAM
35k	16 vCPUs, 16GB RAM
90k	32 vCPUs, 32GB RAM





# Rozwiązania sieci prywatnej 4/5G firmy Athonet



## Przenośne rozwiązanie taktyczne CUBE

- oparte na rozwiązaniu makrokomórkowym z jednym lub wieloma sektorami
- dedykowany niezawodny zasięg pojedynczo lub wielolokalowy
- profilowanie użytkowników: gwarantowany dostęp, przepustowość, priorytet
- zasięg do 10 km od centrum komórki
- obsługa do 1000 jednoczesnych połączeń
- Komunikacja: głosowa, danych i wideo
- Możliwości Push-To-Talk
- Mobility Gateway kieruje lokalnie cały ruch lokalny i optymalizuje wykorzystanie sieci szkieletowej (przez światłowód, satelitę, DSL, MW)
- Funkcjonalności mobilności i łączenia
- Szybkie wdrożenie i przyjazne dla IT zarządzanie



## Pełna sieć LTE w przenośnej walizce – Small ManPack

- do taktycznych i szybkich aplikacji o znaczeniu krytycznym
- przypadki użycia: rządowe, taktyczne
- zintegrowana mała komórka LTE do 5+5 W
- zasięg 1000 metrów
- do 400 jednoczesnych sesji
- akumulatory do 6 godzin autonomicznej pracy
- komunikacja: głosowa, danych i wideo
- możliwości Push-To-Talk
- samodzielny, federacyjny lub połączony przez dowolny backhaul (np. satelity)
- kompatybilny ze standardowymi telefonami, tabletami, kluczami sprzętowymi





# Charakterystyka wybranych implementacji



Standard Operator  
LTE Base station

PRIMO Gateway

## Pierwsza prywatna sieć LTE Smartgrid (Enel) Faza 1 - 2011



### Wymaganie

Bardzo niskie  
opóźnienia  
Niezawodna sieć - 12  
ms opóźnienia RTT



### Problem

Alternatywne rozwiązanie  
bezprzewodowe miało:  
duże opóźnienie  
jitter  
dużą złożoność



### Rozwiązanie

Zwirtualizowana sieć Edge  
Core firmy Athonet  
Wysoka niezawodność  
architektury rozproszonej  
geograficznie  
Wysoka wydajność  
Bardzo małe opóźnienia  
Wieloregionalna





# Charakterystyka wybranych implementacji



## Wymagania

Przenośne i przenośne rozwiązania taktyczne LTE  
Centralne dedykowane rozwiązanie Mobile Core



## Problem

Zasięg i przepustowość łączności krytycznej



## Rozwiązanie

„Zwinna”, zwirtualizowana sieć Edge Core

Wytrzymała, przenośna infrastruktura

Łatwa do integracji infrastruktura łączności krytycznej

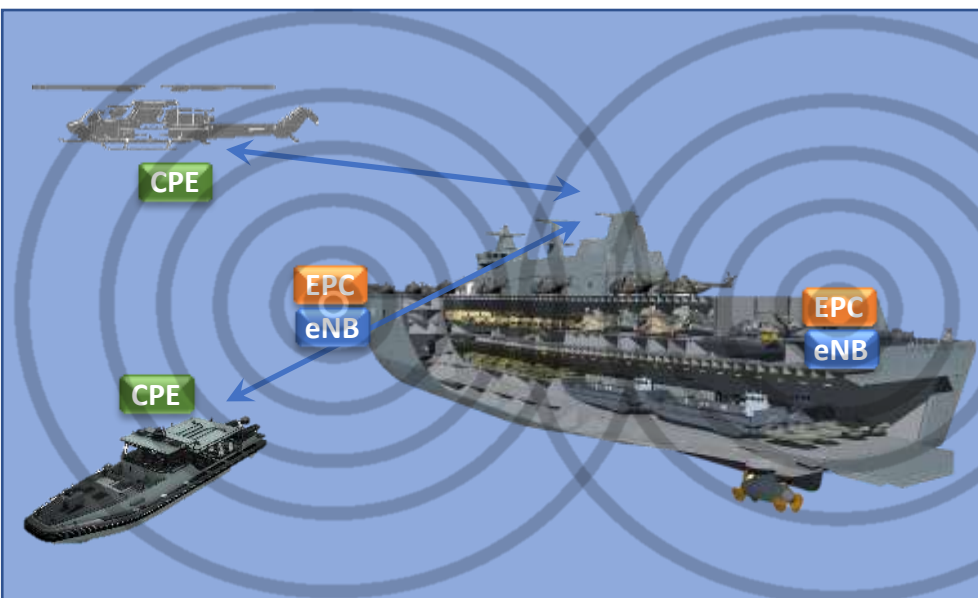
System łączności Krytycznej LTE dla francuskich sił bezpieczeństwa

PCStorm

2019



# Charakterystyka wybranych implementacji



## Navy - wewnętrzna i zewnętrzna sieć LTE 2018



### Wymagania

Prywatne i bezpieczne rozwiązanie LTE na okrętach wojennych wykorzystywane do komunikacji głosowej, wideo, danych i m2m

W pełni redundantna konfiguracja

Zasięg wewnętrzny

Pokrycie pokładu zewnętrznego

Parasol zewnętrzny do 15 km do łączenia helikopterów, dronów i łodzi szturmowych



### Problem

Rozwiązanie „mission critical”

Duże obszar pokrycia zasięgiem sygnału użytecznego



### Rozwiązanie

Sprawna, zwirtualizowana sieć Edge Core Network firmy Athonet

Pełne usługi EPC, IMS, eMBMS i PTT

EPC i eNB zapewniają nadmiarowość lokalną i geograficzną (rufa i dziób), podwójny pierścień optyczny.

Zasięg wewnętrzny z SISO, zasięg zewnętrzny z MIMO

Szeroki zasięg parasola zewnętrznego





# Charakterystyka wybranych implementacji



## Paryskie lotniska Top 5 europejskich lotnisk

### *Komunikacja na lotnisku na potrzeby operacyjne*



#### Wymagania

- Szerokopasmowy dostęp do nadzoru wideo
- Rejestracja bagażu
- Operacje lotnicze
- Push-to-talk
- Priorytetowa komunikacja z personelem



#### Problem

- Złożoność zasięgu WiFi
- Zagęszczenie widma WiFi
- Zarządzanie priorytetami dostępu dla użytkowników
- Niezawodność i kontrola



#### Rozwiązanie

- Athonet EPC
- Zapewnienie profesjonalnych standardów IT
- Samodzielne wdrażanie
- Samodzielne zarządzanie
- Proste i ekonomiczne rozwiązanie



# Prywatne sieci 5G w Polce – kwestie regulacyjne

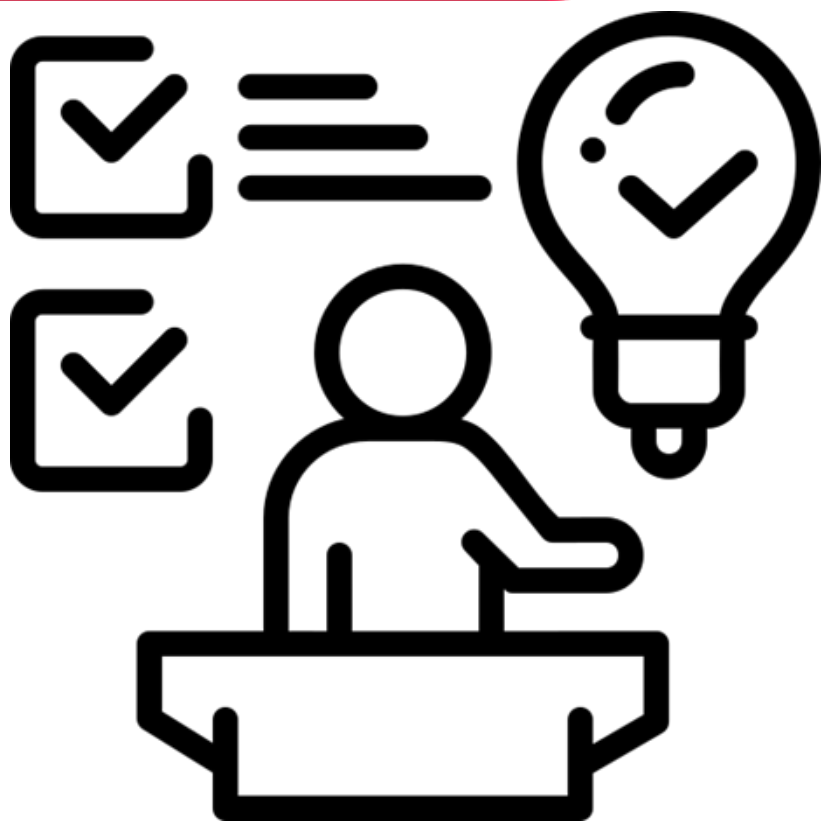


- Sieci prywatne 5G** w dedykowanym paśmie 3800-4200 MHz będą mogły komercyjnie ruszać już w wakacje. Konsultacjom poddajemy właśnie Plan Zagospodarowania Częstotliwości, który ten zakres przeznaczają na sieci lokalne – jako jedni z pierwszych w Europie.
- Każdy podmiot może wnioskować o bloki o szerokości stanowiącej wielokrotność 10 MHz, ale w sumie nie więcej niż o 100 MHz;
- jeden podmiot może wnioskować o pasmo na obszarze maksymalnie 20 gmin;
- zakres 3800-3900 MHz będzie przeznaczony tylko i wyłącznie dla Jednostek Samorządu Terytorialnego i tylko na realizację ich własnych potrzeb;**
- użytkowanie pasma będzie możliwe na podstawie pozwoleń radiowych na zasadzie „first come, first served”
- zakres 3900-4200 MHz planujemy przeznaczyć dla innych podmiotów nie będących Jednostkami Samorządu Terytorialnego;
- pozwolenia będą wydawane na wykorzystywanie urządzeń małej lub średniej mocy
- pozwolenia dla stacji małej mocy będą pozwalały na lokowanie dowolnej liczby stacji w promieniu 50 metrów od wyznaczonego punktu. Pozwolenia dla stacji średniej będą obejmowały pojedynczą stację bazową;
- ze względu na ochronę pasma powyżej 4200 MHz, w którym pracują radiowysokościomierze wykorzystywane szeroko w lotnictwie, wykorzystanie urządzeń średniej mocy (outdoor) nie będzie możliwe w zakresie 4000-4200 MHz;
- jeżeli podmiot będzie wykorzystywał sieć tylko i wyłącznie na swoje potrzeby, to zgodnie z obowiązującą ustawą o opłacie skarbowej każde pozwolenie kosztować go będzie jednorazowo 82 zł; jeżeli będzie świadczył publiczne usługi telekomunikacyjne – 1939 zł;
  - Urządzenie małej mocy: 21/31 dBm
  - Urządzenia średniej mocy : 39/49 dBm





# Podsumowanie



- ✓ Obecnie jesteśmy świadkami rewolucji zachodzącej na rynku telekomunikacji cywilnej związanej z wprowadzeniem standardu 5G w sieciach mobilnych.
- ✓ Zastosowanie kilku nowych technologii telekomunikacyjnych w sieciach 5G, przyczyniło się do istotnego wzrostu efektywności świadczonych usług telekomunikacyjnych.
- ✓ Prywatne sieci 5G zapewniają dedykowaną infrastrukturę komunikacyjną dla instytucji wymagających separowanych zasobów, które dają możliwość niezawodnej i bezpiecznej grupowej komunikacji szerokopasmowej, organizacji zamkniętych grup użytkowników oraz dostępu do wielu klas usług o różnych parametrach jakościowych i wydajnościowych.
- ✓ Wykorzystując prywatne sieci 5G możliwa jest organizacja łączności na terenach prowadzenia operacji kryzysowych, misji i działań wymagających współpracy służb zarządzania kryzysowego i sił uczestniczących we wspólnych akcjach.
- ✓ Organizacja infrastruktury komunikacyjnej z wykorzystaniem sieci 5G jest atrakcyjną wyborem w miejscach pozbawionych stałej telekomunikacyjnej światłowodowej.
- ✓ Standaryzacja 3GPP oraz prace EDA i STO NATO przyczyniają się do wzrostu efektywności, niezawodności, bezpieczeństwa i pewności działania prywatnych sieci 5G.

Dziękuję za uwagę

