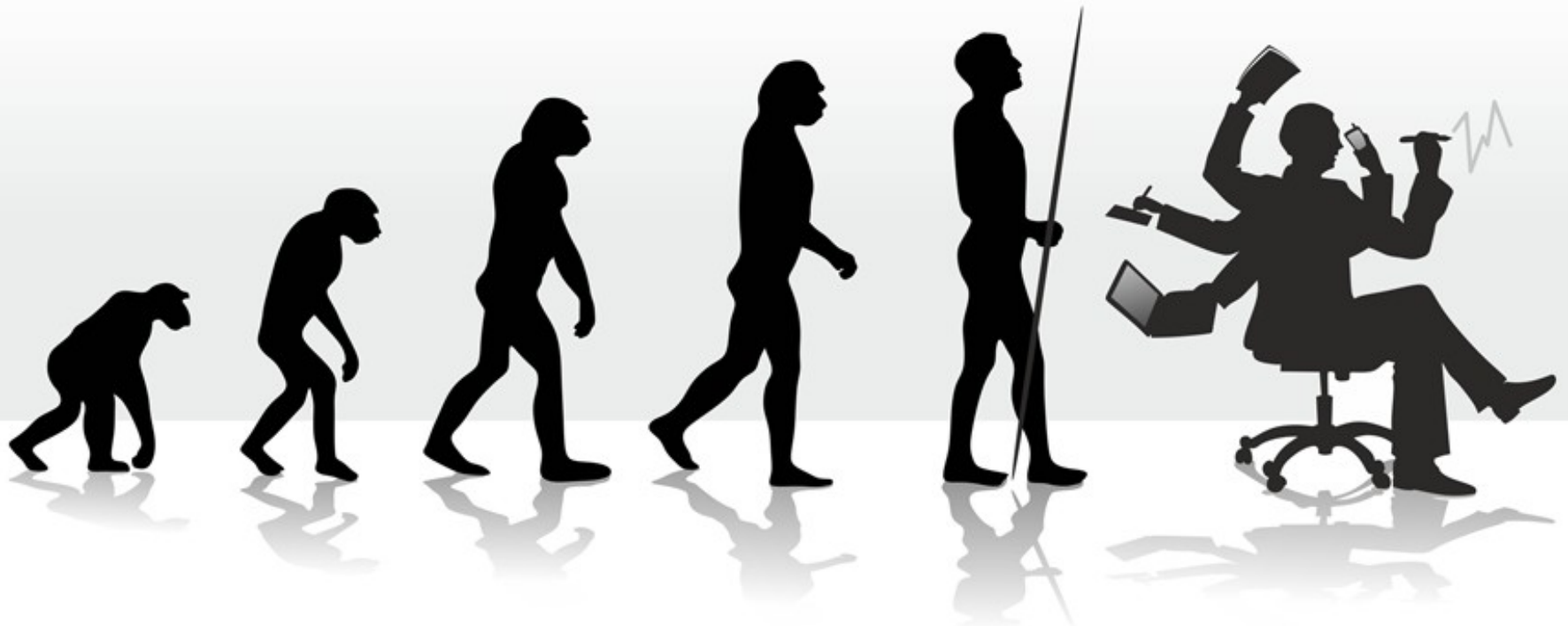


Ewolucja sieci mobilnych





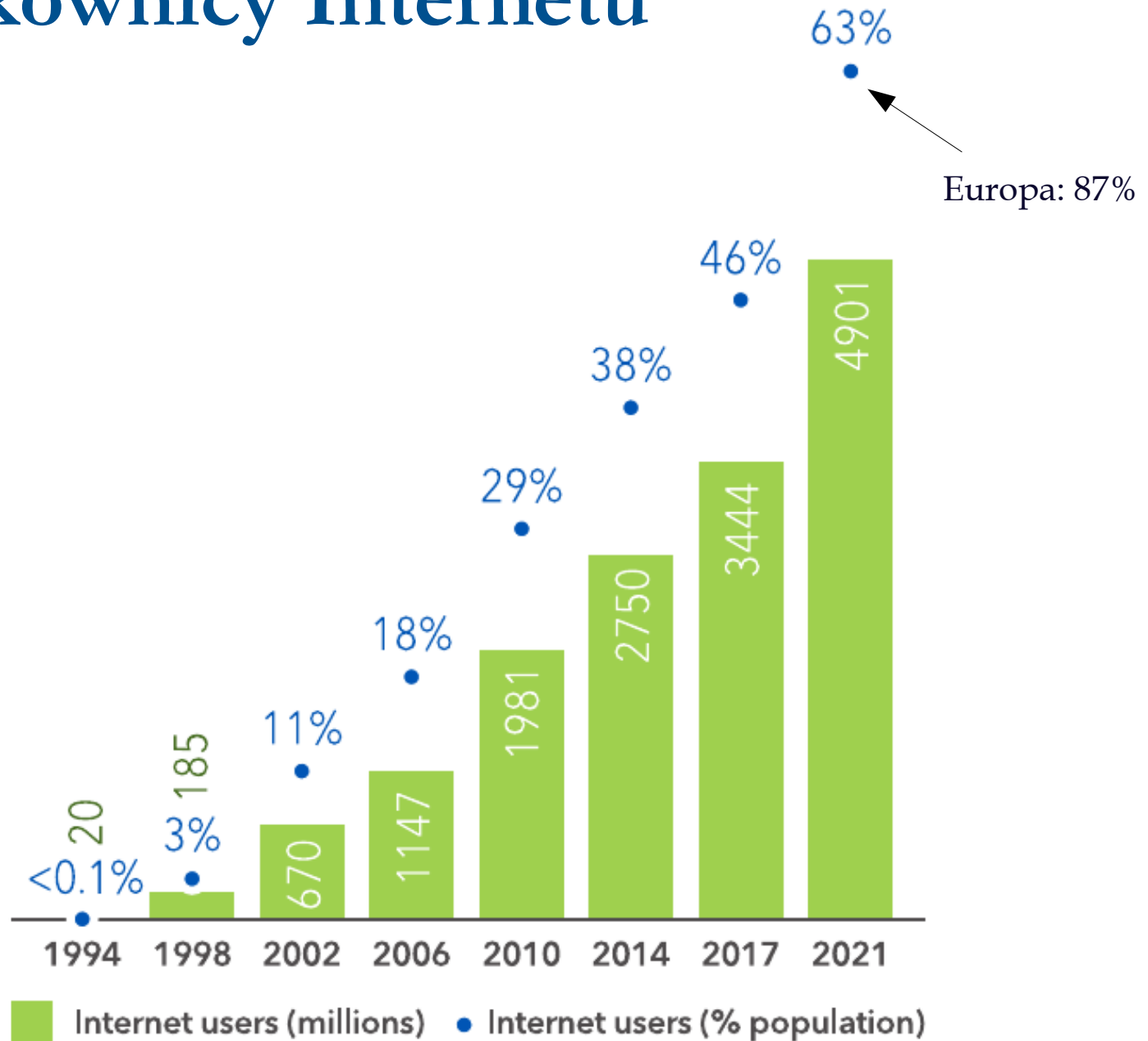
Dzisiejszy wykład:

1. Stan obecny (dane), trendy, przewidywania
2. Koncepcje rozwoju: 3/4G → 5G... → 6G?

Dane

1. ITU: Global Connectivity Report 2022,
Facts and Figures 2023
2. Cisco Visual Networking Index
→ Cisco Annual Internet Report
3. IEEEExplore

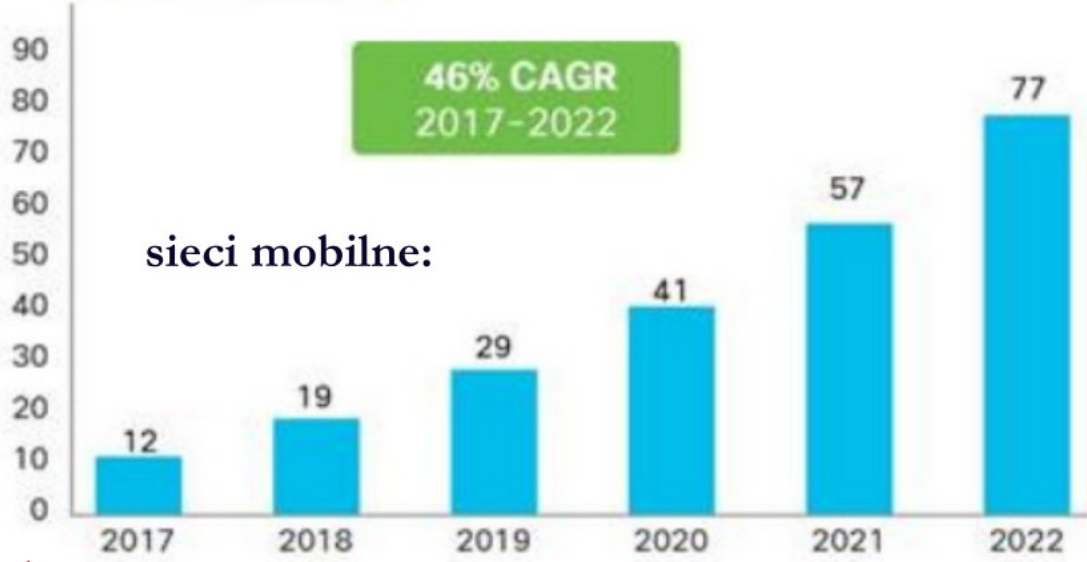
Użytkownicy Internetu



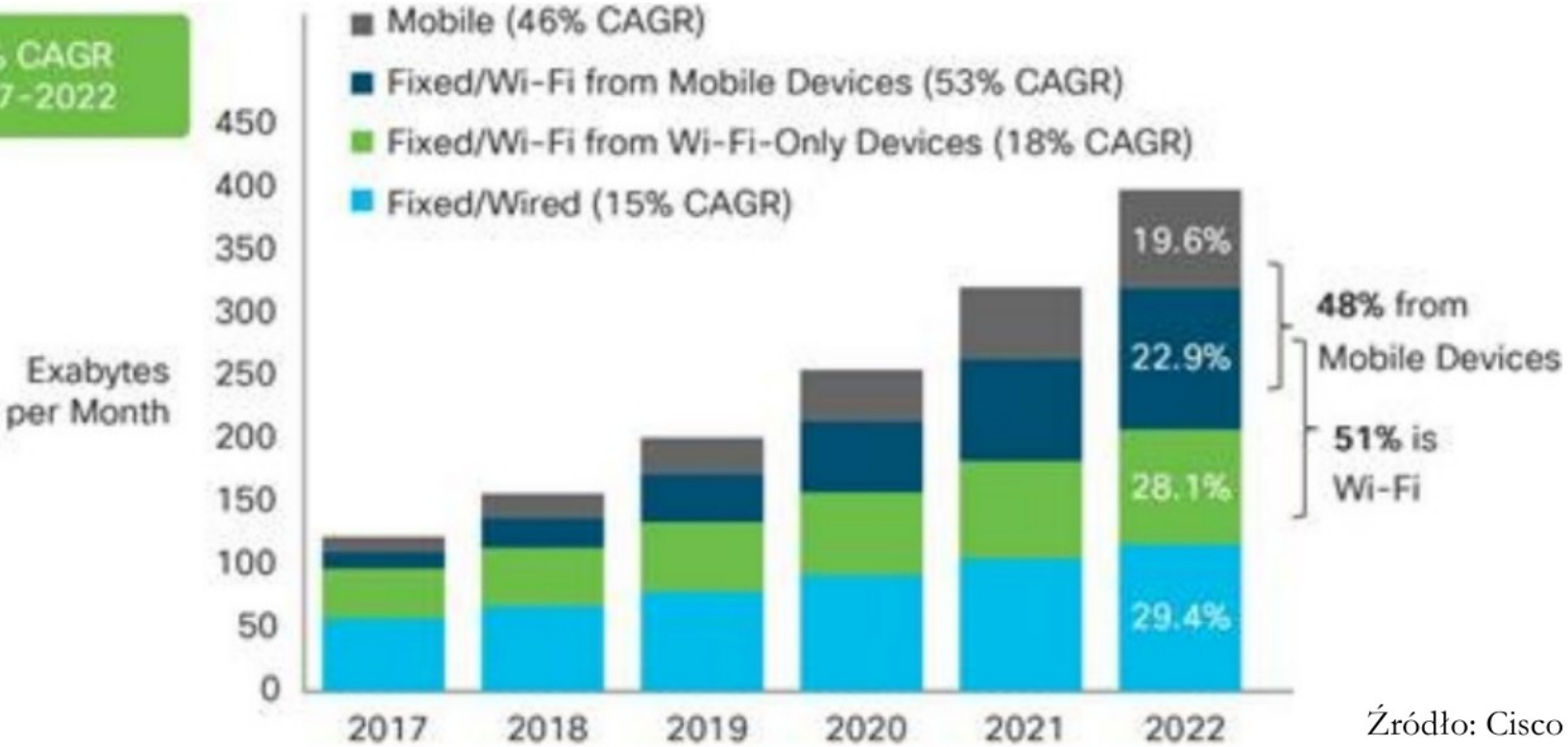
Globalny transfer danych

(CAGR = roczna stopa wzrostu)

Od 2015 r.:
offloading > transfer w sieciach komórkowych

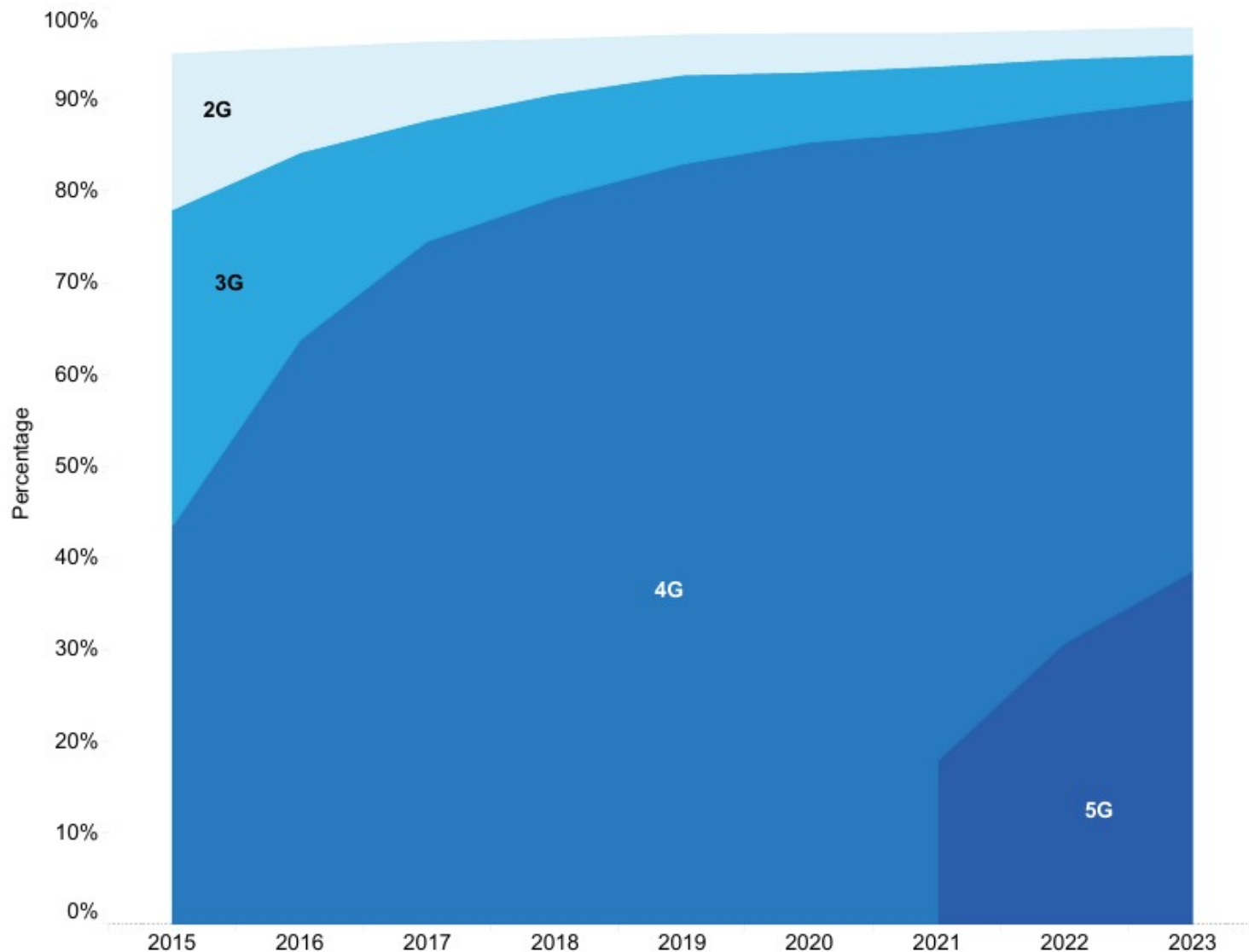


26% CAGR 2017-2022



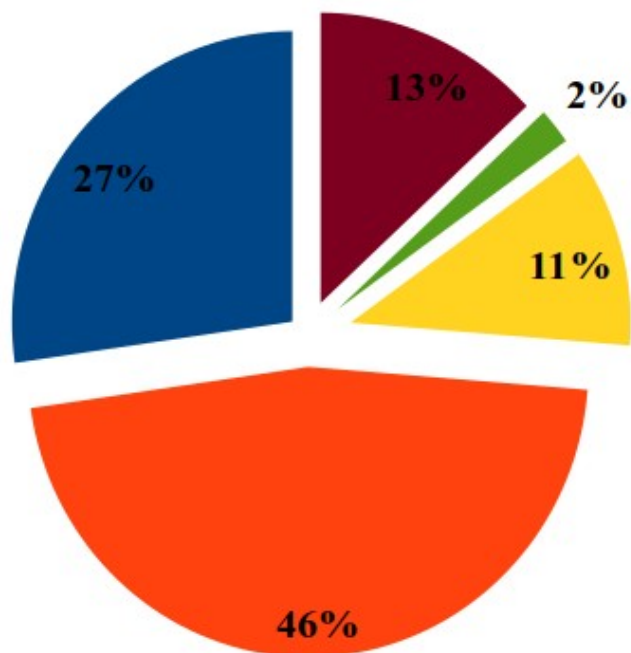
Zasięg sieci mobilnych

Population coverage by type of mobile network (2015-2023)



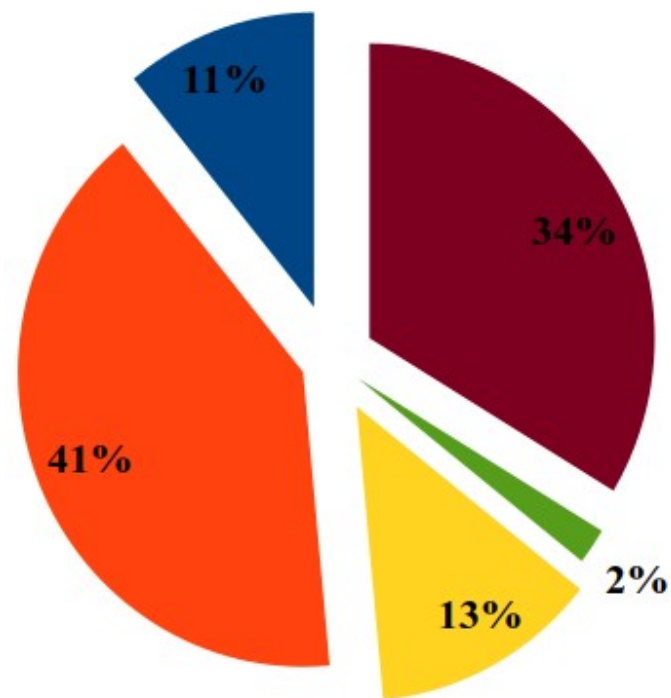
Typy urządzeń w sieciach mobilnych

2018



- t. klasyczne
- smartfony
- tablety, fablety
- PC-ty
- M2M

2023



Koncepcje rozwoju sieci mobilnych

Cisco

Bell Labs

IEEE, ITU

Arraycom, Ofcom, Qualcomm

3G/UMTS, 4G/LTE → 5G NR (New Radio)

Oczekiwania względem sieci 5G:

1. Integracja,
heterogeniczność

2. Obsługa b. dużej liczby
urządzeń końcowych
IoT/M2M

3. Przepustowość: x 100
kanał DL: 1 Gbit/s i więcej

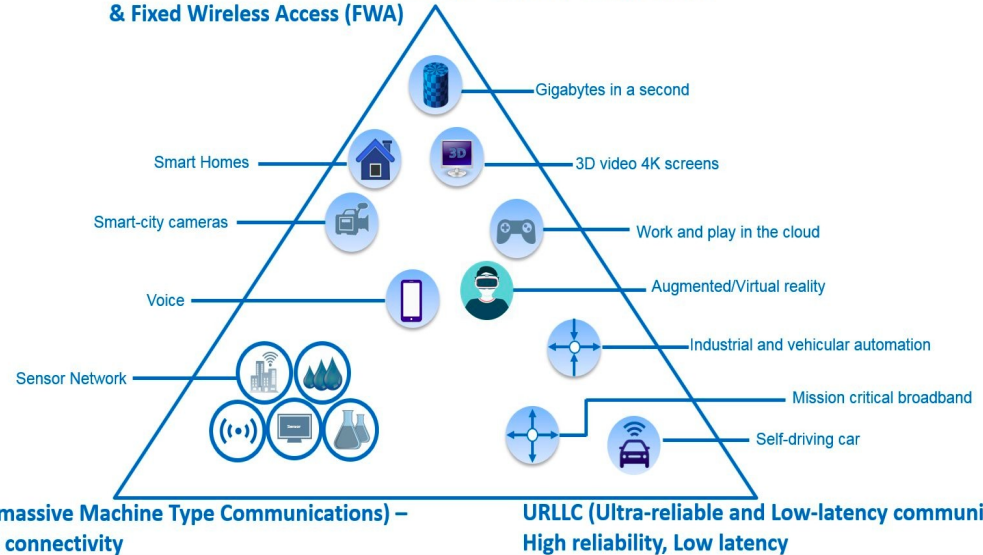
4. Opóźnienia: 15ms (4G) → 1ms (5G)

V2V comm., tactile internet, AR/VR, industrial applications

5G (IMT-2020) Requirements

ITU-R IMT-2020 requirements

eMBB (enhanced Mobile Broadband) – Capacity Enhancement & Fixed Wireless Access (FWA)



©3G4G

© ITU

3G4G

5. Energooszczędność

Trendy i wyzwania

Trendy:

- **wykładniczy** wzrost ruchu w sieciach komórkowych
- zużycie energii w sieciach telekomunikacyjnych już obecnie sięga **1-2%** energii dostępnej na rynku



Prognoza miesięcznego transferu danych w sieciach mobilnych [EB]

Wyzwania:

- **100-krotny** wzrost pojemności sieci, oraz:
- **100-krotne** obniżenie energetycznych kosztów transmisji

Motywacja: 1950-2000

Wzrost pojemności sieci:

- **15-krotny** - poszerzenie dostępnego pasma:
z 150 MHz do prawie 3 GHz
- **5-krotny** – poprawa technik
kodowania głosu
- **5-krotny** – lepsze techniki modulacji
i dostęp MAC
- **2700-krotny** – mniejsze komórki

Razem: wzrost x **1 000 000**



© www.rfcafe.com

Czy to się da powtórzyć?

Prace badawcze i standaryzacja sieci 5G

Publikacje naukowe:

Bazy IEEExplore, Elsevier, Springer, Wiley

Standardy:

Organizacja **3GPP**

(3rd Generation Partnership Project): www.3gpp.org

→ Technical Reports/Specifications (TR/TS)

Releases 15, 16, 17

Późniejsza standaryzacja w Europie: ETSI

(European Telecommunications Standards Institute)

Technologie dla 5G

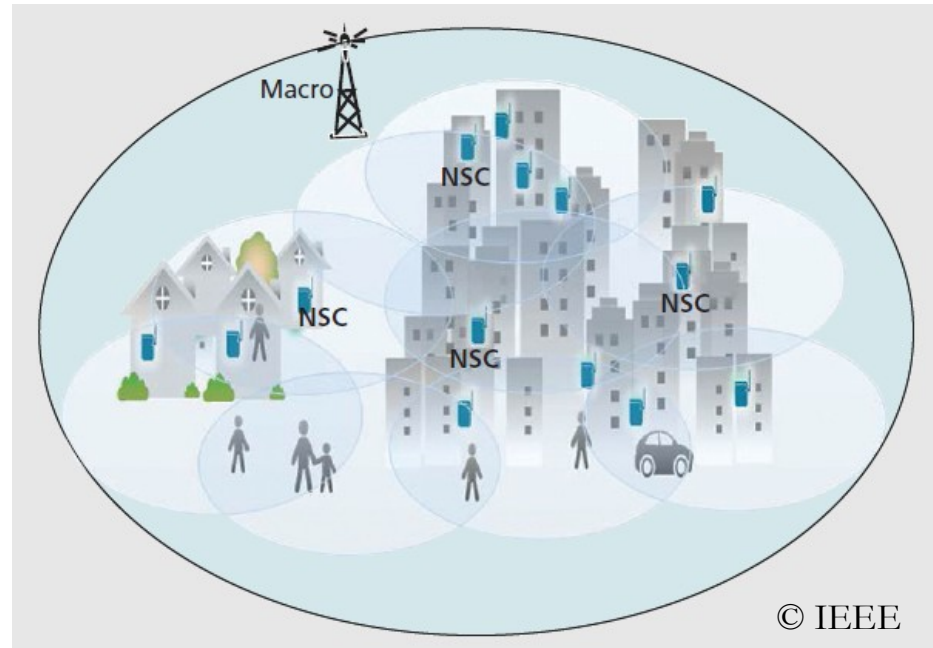
5G enablers

1. Zagęszczanie sieci
2. Przenoszenie ruchu na sieci WiFi (*offloading*)
3. Massive MIMO / beamforming
4. Fale milimetrowe (*mmWave*)
5. w warstwie sieci (poza zakresem tego wykładu):
 - **Cloud/Virtual Radio Access Networks**
 - **Network Slicing**
 - **Software Defined Networks**

Zagęszczanie sieci: *femto cells* dla 3/4/5G

Założenia:

- urządzenia montowane przez użytkowników (plug&play), bez żadnego planowania radiowego
- podłączenie do sieci kablowej
- **pojemność sieci rośnie liniowo (!)**
aż do granicy 1 urządzenie/komórkę,
potem wzrost: $C = B \log_2(1 + \text{SNR})$



NSC: Neighbourhood Small Cell

Koszty:

- w większości przerzucone na użytkownika końcowego
- zużycie energii \ll w porównaniu z klasycznymi komórkami

Szacunki : zaledwie 10+ milionów komórek femto na świecie

Ale, porównując z Wi-Fi (2023):

liczba samych ruterów typu hot-spot: 628 milionów



Rodzaje stacji bazowych 5G

Standard 3GPP TS 38.104:

Stacje Wide Area:

- komórki **MACRO**
- moc: bez ograniczeń
w praktyce max. 43-48 dBm
(20-64 W)



Stacje Medium Range:

- komórki **MICRO**
- moc ≤ 38 dBm (6.4 W)



Stacje Local Area:

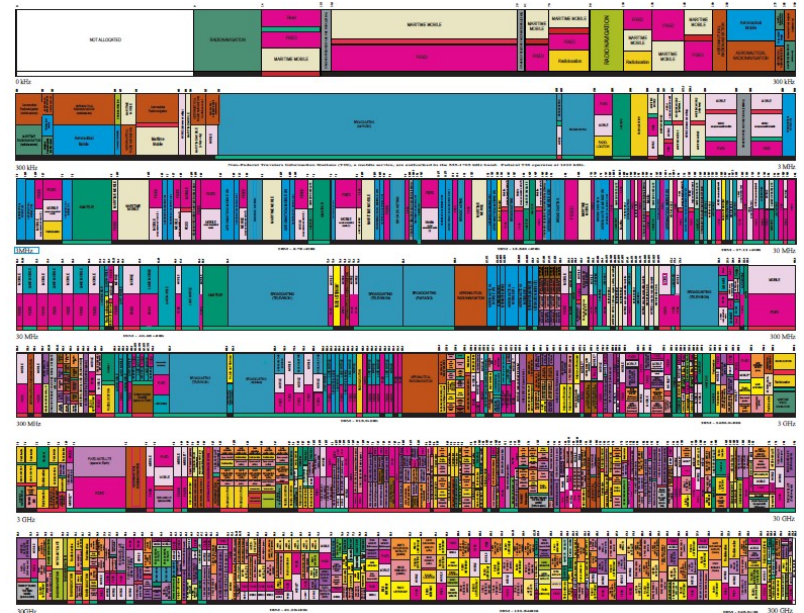
- komórki **PICO**
- moc ≤ 24 dBm (0.25 W)



Poszerzenie dostępnego widma

$$C = B \log_2(1 + \text{SNR})$$

- widmo < 300 GHz
licencjonowane i obsadzone
- możliwość wykorzystania pasma
zwolnionego przez telewizję analogową
- nowe pasma: < 1 GHz, ok. 3.5 GHz
oraz 26+ GHz (mmWaves)

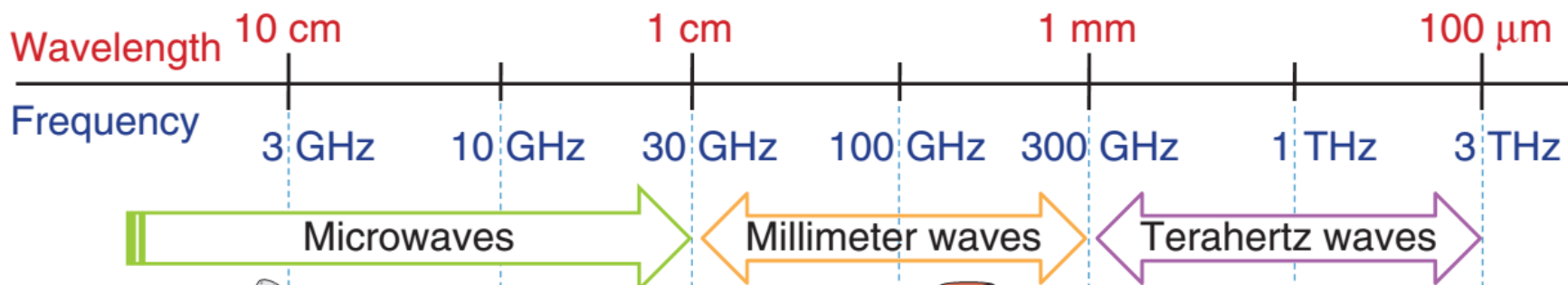


© www.ntia.doc.gov, USA 2016

Wysokie częstotliwości:

- duże tłumienie sygnału, konieczność LoS
- moc rośnie proporcjonalnie do wykorzystywanego pasma
- ograniczony zasięg

Poszerzenie dostępnego widma



Przykładowo,

przy przejściu 3 GHz → 30 GHz:

- tłumienie rośnie o mniej więcej 20 dB (dla modelu Free Space Loss)
- wraz z częstotliwością rośnie tłumienie suchego powietrza, deszczu...
- ... oraz przeszkód: ścian i roślinności



Zastosowanie: małe komórki / pico

5G downlink

24-39 GHz:

PDSCH 500 Mbps

Data rate (Mbps)	500.0
Tx power (W)	4
Tx power (dBm)	36.0
Subcarrier spacing (kHz)	120
Total PRBs	100
Used PRBs	100
Downlink share	80 %
Antenna gain (dBi)	26
Interference margin (dB)	0
Noise figure (dB)	7
SNR (dB)	11.0
Sensitivity (dBm)	-74.4
Max path loss (dB)	110.4
Max path loss with beams (dB)	136.4

Poprawa wydajności widmowej



n użytkowników

- potencjał technik przetwarzania sygnałów uważa się raczej za wyeksploatowany

- dodatkowe anteny – koncepcje:

- **Network MIMO**
- **Massive MIMO**
- **Beamforming**

Massive/Network MIMO:

- nawet 100 anten na stacji bazowej
- możliwość jednoczesnego dekodowania wielu strumieni danych
- niwelowanie interferencji od użytkownika, które dane zostały już zdekodowane
→ **Successive Interference Cancellation**



stacja bazowa
– K anten

(Orthogonal) beamforming

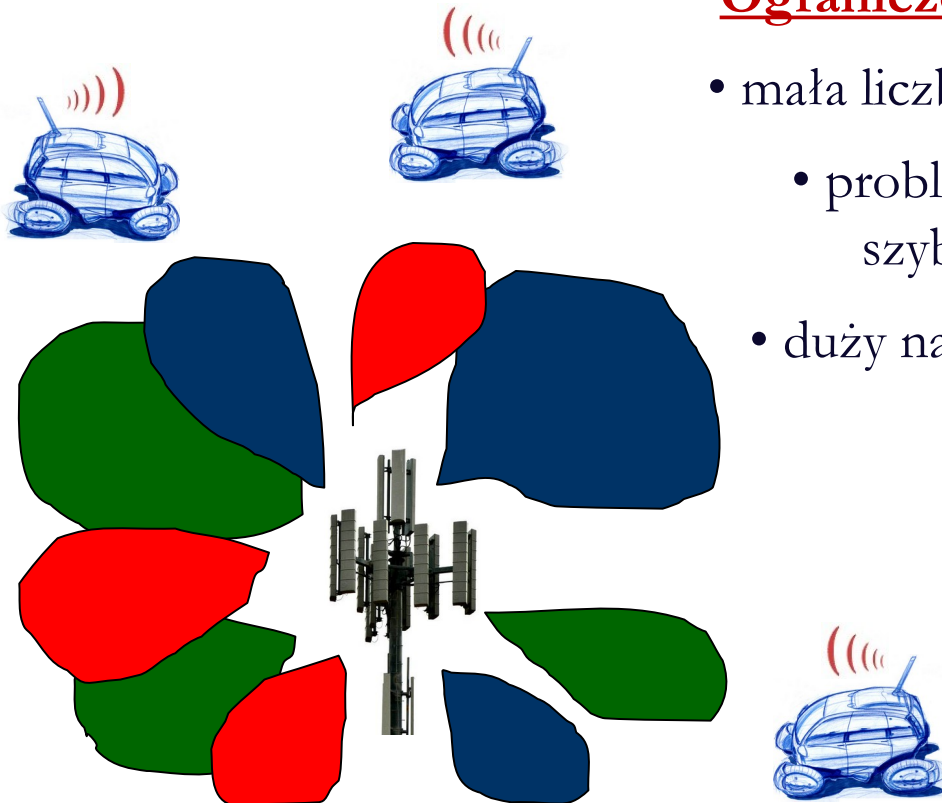
- ortogonalne charakterystyki antenowe
- K anten na stacji bazowej – jednoczesna łączność z K użytkownikami
- warunek: estymacja kanałów UL i DL

Ograniczenia technik MIMO/beamforming:

- mała liczba anten do stronie użytkowników
 - problemy ze śledzeniem szybkozmiennych kanałów radiowych
- duży nadmiar informacji sygnalizacyjnych
 - niska opłacalność przy dużej gęstości stacji bazowych



Zastosowanie:
duże komórki (macro)



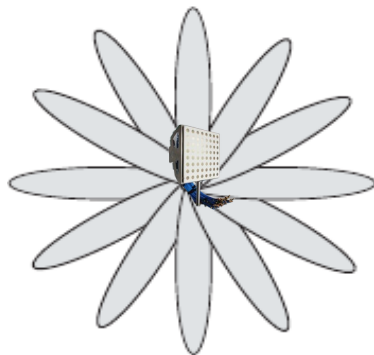
Beamforming w sieciach 5G

- 3GPP nie definiuje algorytmów formowania wiązek antenowych

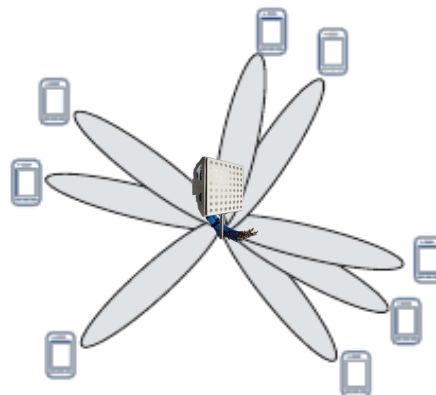
- typowa konfiguracja układu Massive MIMO dla pasma 3.5 GHz:

8 kolumn \times 12 rzędów \times 2 polaryzacje = 192 elementów

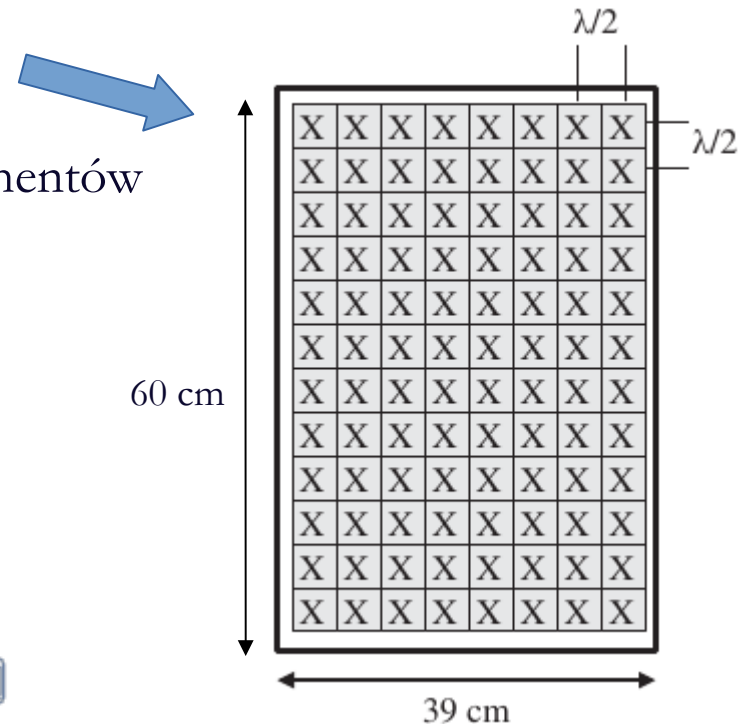
- przykładowe konfiguracje pracy układów anten na stacjach bazowych:



grid of beams



user-specific beams



© H.Holma, A.Toskala, T.Nakamura

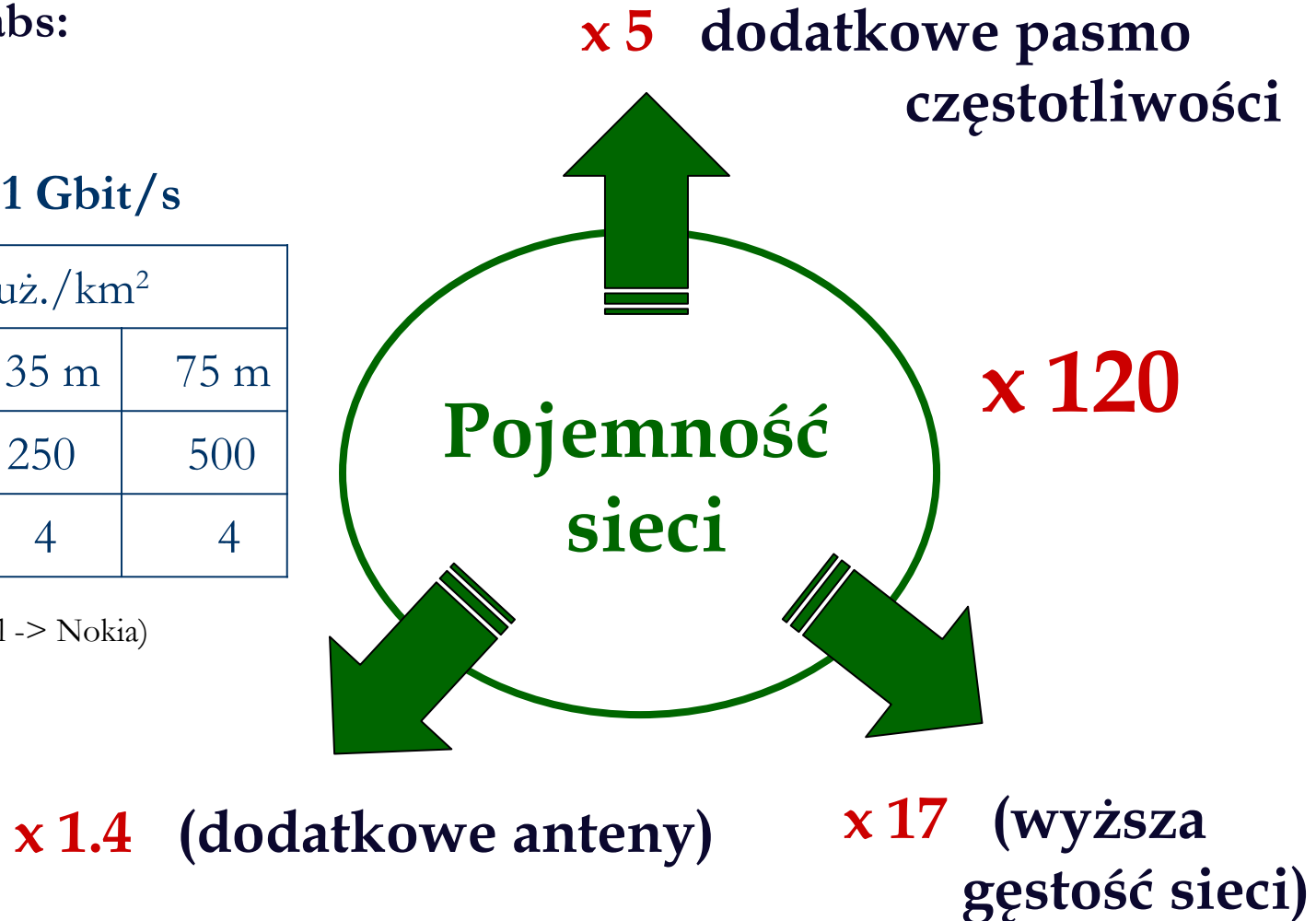
Możliwy wzrost pojemności sieci

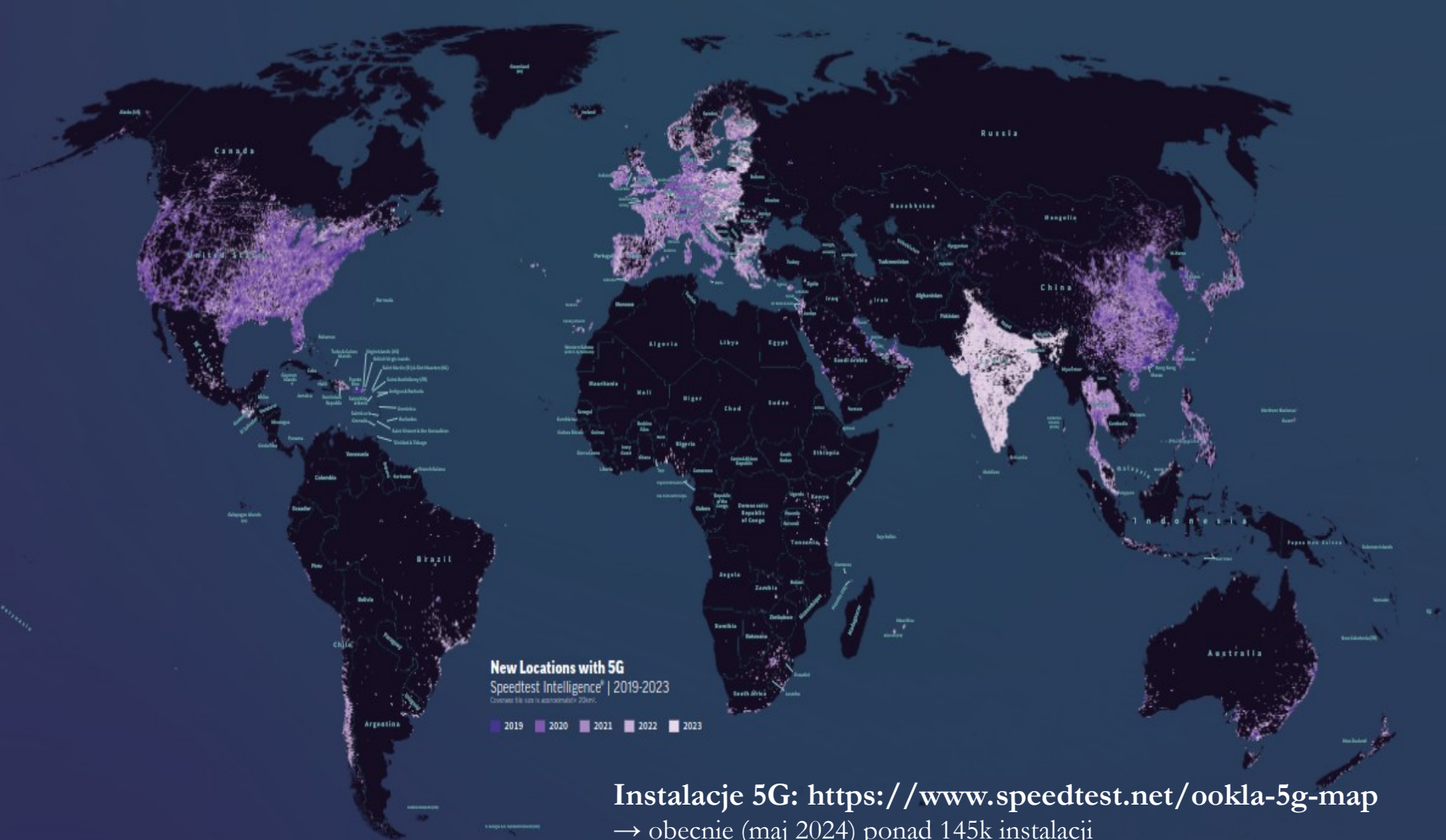
Symulacje Bell Labs:

Konfiguracje dla 1 Gbit/s

gęstość: 300 uz./km ²		
odległość MS-BS	35 m	75 m
pasmo [MHz]	250	500
liczba anten	4	4

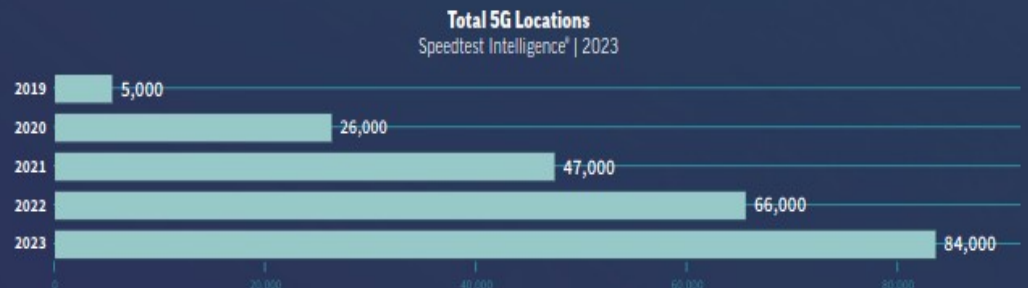
Źródło: Bell Labs (Alcatel -> Nokia)





Instalacje 5G: <https://www.speedtest.net/ookla-5g-map>
→ obecnie (maj 2024) ponad 145k instalacji

📶 5G Download Median	📶 5G Upload Median	🕒 5G Latency Multi-server
207.42 Mbps 2023	19.90 Mbps 2023	44 ms 2023
17% Faster	1% Faster	0%
177.60 Mbps 2022	19.60 Mbps 2022	44 ms 2022



Promieniowanie EM w sieciach 5G

Grudzień 2019:

stukrotne podwyższenie norm PEM w Polsce w paśmie 2-300 GHz:
z 0.1 do 10 W/m²

Ale... ta obecna wartość to norma WHO

Obawy budzą:

- **zagęszczanie sieci** (de facto korzystne)
- **duże zyski kierunkowe anten** (ale one głównie równoważą tłumienie sygnału na wysokich częstotliwościach)

Norma 10 W/m² dotyczy efektów cieplnych: czy to wszystko?

Temat budzi emocje co najmniej od 2000 r.
... i wciąż nie jest rozstrzygnięty.

Koncepcje 6G

- temat konferencji, warsztatów naukowych, call for papers, post-doków
- mocny projekt fiński (University of Oulu, 6Genesis Flagship Project)
- hasła/koncepcje:
 - **UBIQUITOUS WIRELESS INTELLIGENCE**
 - **SUSTAINABLE NETWORKING**

Przewidywane zastosowania:

- AR/VR, metawersa, Digital Twins
- robotyka, drony, autonomiczne pojazdy
- interfejsy człowiek (mózg) ↔ komputer
- blockchain

Technologie (enablers):

- pasmo THz
- Reconfigurable Intelligent Surfaces
- Edge AI
- energia: wireless transfer & harvesting
- joint communication & sensing

Pasmo THz

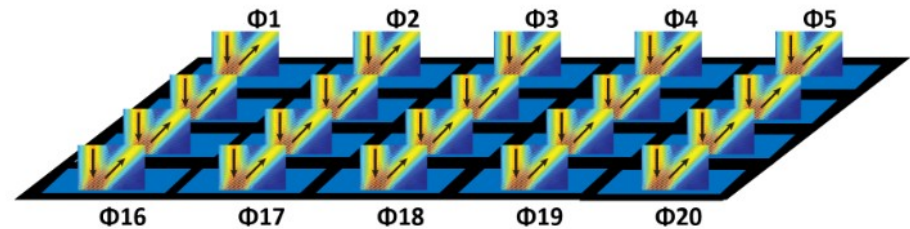
- częstotliwości 0.1 – 10 THz
- głównie propagacja LOS:
 - bardzo duże tłumienia przy odbiciach
 - rozproszenie sygnału na nierównościach powierzchni
- problemy z generatorami sygnału, brak odpowiedniej technologii
- zasięgi (LOS) rzędu 1 m
- przepustowości: ~ 100 Gbit/s
- zastosowanie wewnątrz pojedynczego pomieszczenia



© V. Petrov et al. *

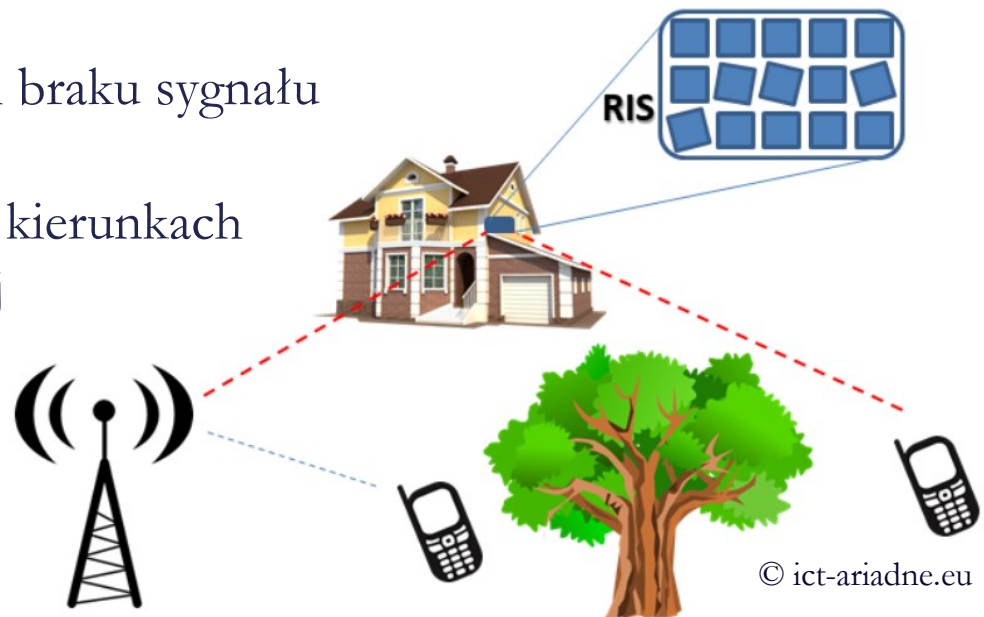
Reconfigurable Intelligent Surfaces

- elementy powierzchni RIS:
 - kontrolowane, każdy z osobna
 - sterowanie kątem odbicia fali i fazą



© E. Basar et al. *

- efekt: możliwość skupienia sygnału w wybranym kierunku
- zastosowania:
 - scenariusze NLoS
 - zapewnianie pokrycia w obszarach braku sygnału
 - kontrola nad propagacją, ograniczenie jej w niepożądanych kierunkach
 - poprawa wydajności energetycznej



© ict-ariadne.eu

6Genesis – wizja 2030 r.

INTELLIGENT PERSONAL EDGE

AUGMENTED PROJECTION INTERFACES
PHYSICAL TO CYBER FUSION
HEALTH ANALYTICS SERVICES

PERSONALIZED AI
PROJECTION INTERFACE
CROSS-SERVICE ARCHITECTURES
WIRELESS MULTI-ACCESS CONNECTIVITY



An aerial night view of a city, likely New York City, with a network of white lines connecting various points across the skyline. The lines form a complex web, suggesting a network or data flow. The city lights are visible, and the overall color palette is dominated by blues and purples. The text "Dziękuję za uwagę!" is centered in the image.

Dziękuję za uwagę!