

Techniki Bezprzewodowe

© Paweł Kułakowski



Wykładowca

- pracuję w Instytucie Telekomunikacji AGH, w Krakowie
- prowadzę badania dot. sieci bezprzewodowych od 20 lat, głównie w temacie sieci sensorowych i nano-sieci, ale też lokalizacji i AI dla 5G
- 2 i 1/2 roku pracowałem na uczelniach w Hiszpanii i Portugalii → Cartagena, Girona, Sewilla, Albacete, Lizbona
- biorę udział w europejskich projektach badawczych typu COST od 15 lat, ostatnie projekty: IRACON i INTERACT to tematyka 5/6G
- pracowałem też ponad 2 lata jako kierownik B+R projektu w firmie Blare Tech (projektowanie i planowanie sieci 5G)



Paweł Kulakowski

Tematyka kursu: "Wireless Everywhere"



Dominacja sieci bezprzewodowych w ostatnich latach:

- **rozwój urządzeń** (smartfony, tablety, laptopy) i **aplikacji**
- smartfony: jesteśmy non-stop on-line
- **sukces sieci:** komórkowych (mobilnych), WiFi (IEEE 802.11) i Internetu Rzeczy

Ograniczenia/wyzwania:

- **zapotrzebowanie na większe przepustowości**
- wielodostęp
- mobilność użytkowników
- zaniki sygnału radiowego

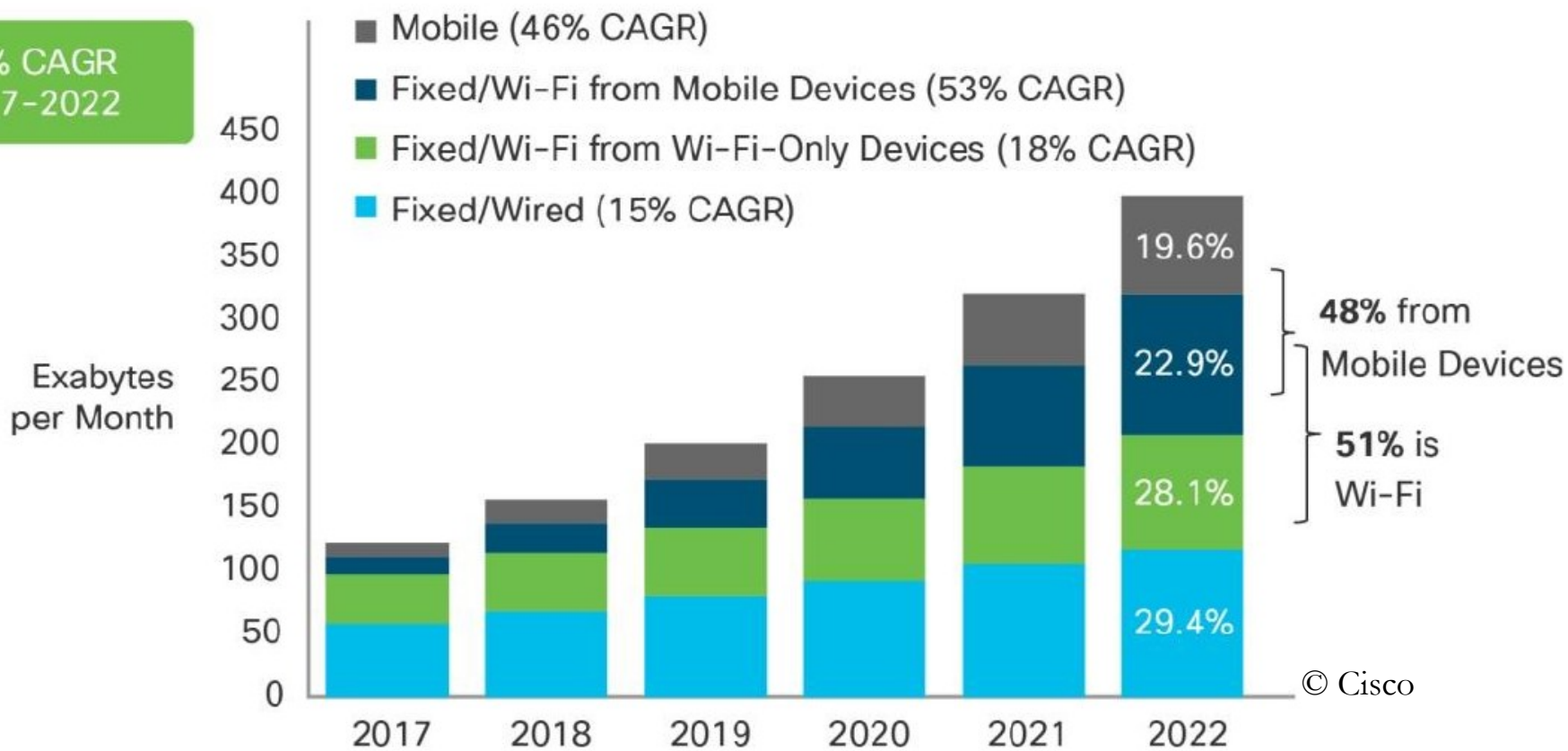


Dane/prognozy Cisco



Ruch sieciowy z urządzeń użytkowników:

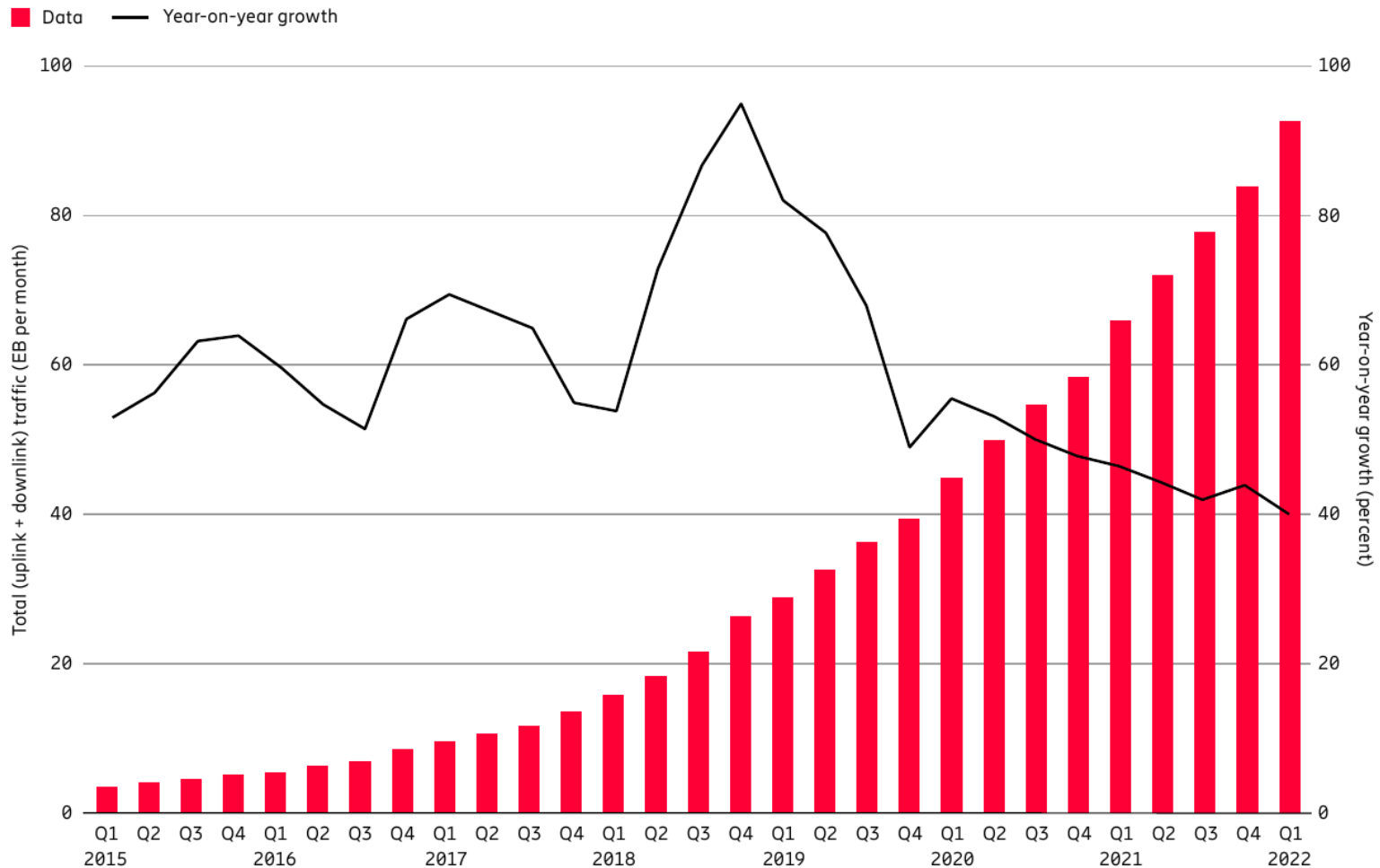
26% CAGR
2017-2022



CAGR = roczna stopa wzrostu



Ruch w sieciach mobilnych (EB na miesiąc):



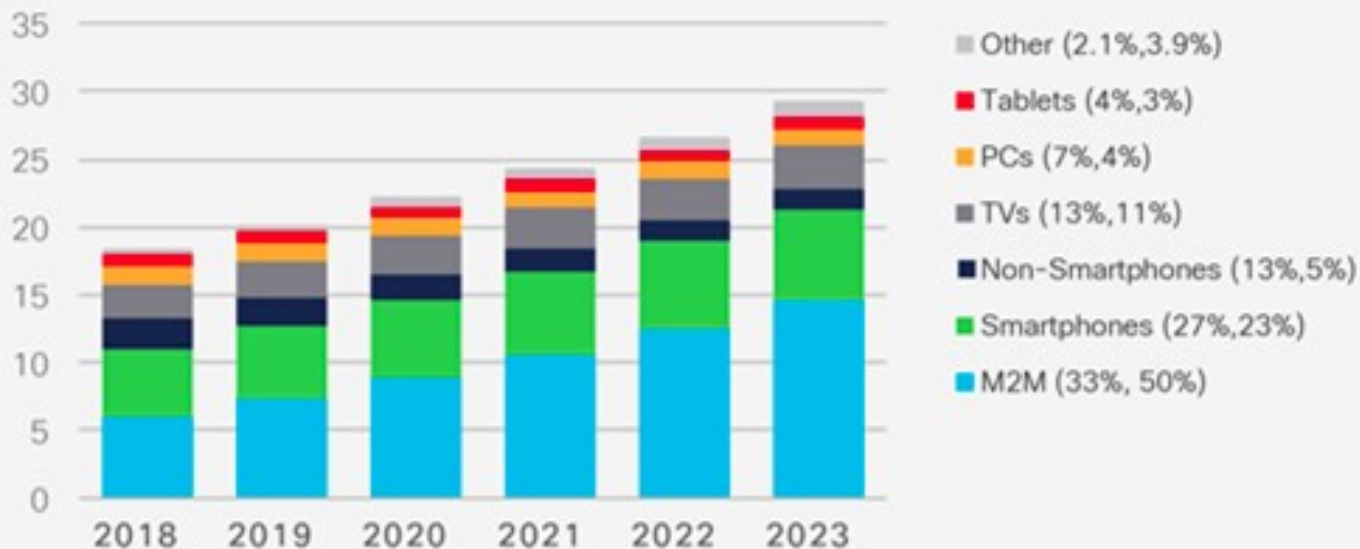
Dane/prognozy Cisco



Sieciowe urządzenia końcowe (w miliardach):

10% CAGR
2018-2023

Billions of
Devices



* Figures (n) refer to 2018, 2023 device share

CAGR = roczna stopa wzrostu

© Cisco

Sieci mobilne xG (komórkowe)

Stacje bazowe:



komórki **MACRO**



komórki **MICRO**



komórki **PICO**

Sieci WiFi (IEEE 802.11)



**Punkt dostępowy
(Access Point):**

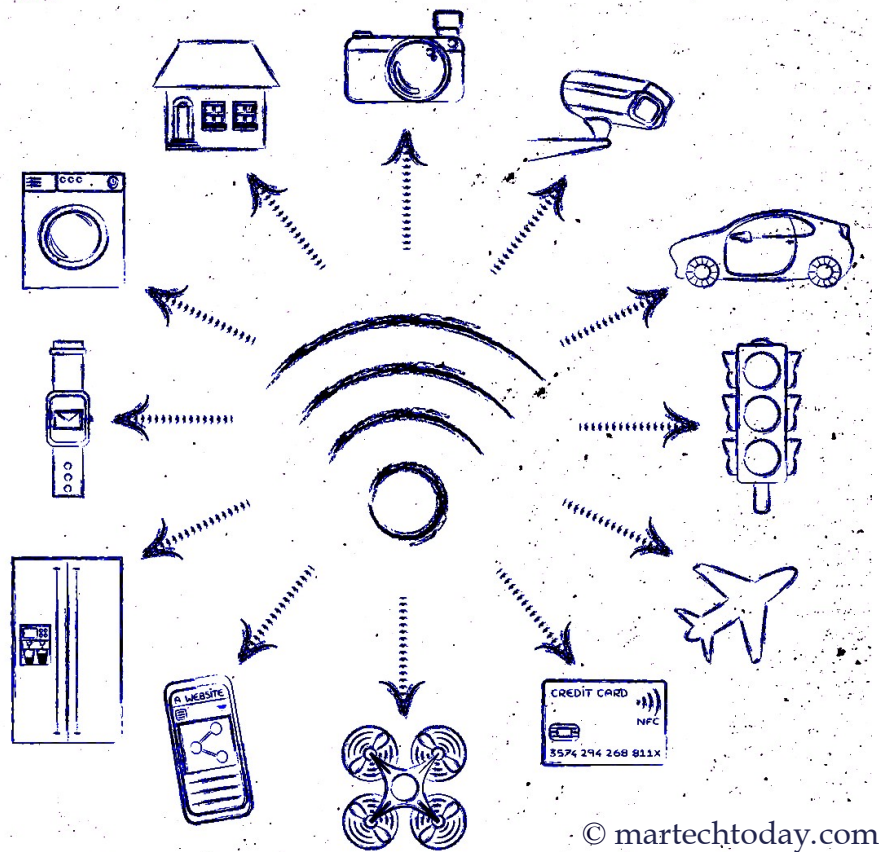


Internet Rzeczy (IoT)

(Bluetooth, IEEE 802.15.4, LoRaWAN, NarrowBand-IoT, LTE-M)

Koncepcja obejmująca szereg rozwiązań:

- sieci bezprzewodowych czujników/sensorów
- inteligentne domy/miasta (Smart Home/City),



Szacunki Ericsson dla 2022 r.: ok. 14 miliardów połączeń (urządzeń)

Dwaj prowadzący



Paweł Kułakowski

6 pierwszych tygodni
(wykłady + laby)



Marek Sikora

Ten ważniejszy, wystawia zaliczenia :-)

9 kolejnych tygodni
(wykłady + laby + **kolokwium**)

Wykłady (Paweł Kułakowski)



1. Informacje organizacyjne.
Fale EM, pasma częstotliwości, moce w transmisji bezprzewodowej.
2. Propagacja fal radiowych. Modelowanie kanału radiowego.
Optyka geometryczna. Ray tracing.
3. Propagacja wielodrogowa. Zaniki sygnału radiowego.
Interferencje międzysymbolowe.
4. Anteny i ich parametry. Diversity, MIMO, beamforming.
5. Techniki lokalizacji bezprzewodowej i nawigacja satelitarna.
6. Transmisja w różnych pasmach częstotliwości.
Systemy Ultra Wideband. Komunikacja mmWave i w paśmie THz.

Laboratoria (Paweł Kułakowski)



1. Rozgrzewka z Matlabem: transmisja radiowa.
2. Propagacja wielodrogowa wewnątrz budynków.
3. Zaniki sygnału w komunikacji mobilnej.
4. Anteny: koncepcja beamforming.
5. Techniki lokalizacji bezprzewodowej.
6. Lokalizacja pasywna.

Wykłady i laby (Marek Sikora)



7. Transmisja cyfrowa, modulacje.
8. Podstawowe pojęcia w transmisji bezprzewodowej.
9. Bilans łącza bezprzewodowego.
10. Zaniki sygnału.
11. Korekcja kanałowa.
12. Transmisja z widmem rozproszonym.
13. Technika OFDM
14. Pojemność systemów bezprzewodowych
15. Kolokwium końcowe

Kwestie organizacyjne



Kontakt z prowadzącym: Paweł Kułakowski
budynek B9, pokój 312, telefon: 617 39 67
e-mail: kulakowski@agh.edu.pl

Wykłady → czwartki godz. 11:20, 201/D6

Materiały do wykładu:

tele.agh.edu.pl/~kulakowski/bezprzewodowe

Proszę robić **notatki!**

Laboratorium (Paweł Kułakowski)



1. Laby w sali 103/B9, 2 grupy w czwartek: **13:00** i **14:40**

i 4 grupy w piątek: **9:40**, **11:20**, **13:00** oraz **14:40**

Zajęcia trwają 90 minut.

2. Zajęcia laboratoryjne są **obowiązkowe**

Na zajęciach proszę korzystać z ogólnodostępnych zasobów sieci,
ale obowiązuje zakaz logowania się na swoją pocztę, dysk itp. (-3 punkty)

3. Zasady oceniania pierwszych sześciu spotkań:

- 10 pkt. do zdobycia na rozmowie pod koniec każdego zajęcia (max. 60 pkt)
- sumę punktów przekażę do drugiego prowadzącego,
liczy się do końcowej punktacji z wagą 40%

Intro

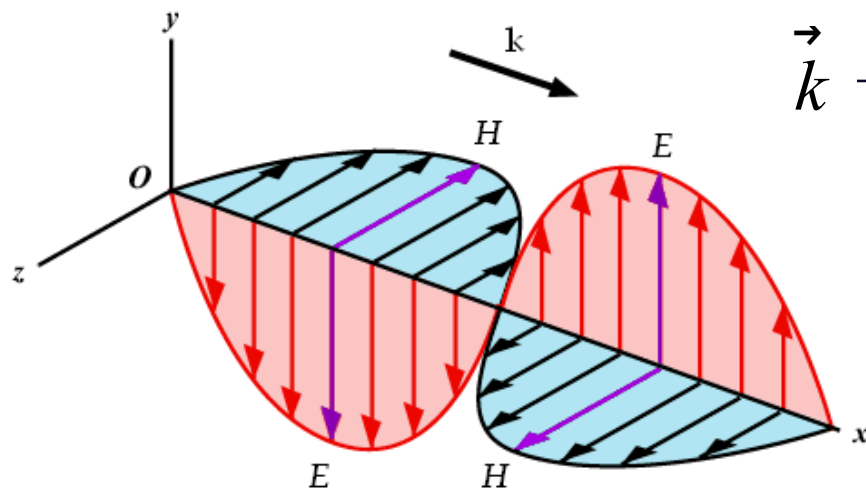


Plan na dzisiaj:



1. Nośnik informacji: fale EM
2. Pasma częstotliwości
3. Transmisja i moce sygnałów

Fale elektromagnetyczne



\vec{k} → wektor falowy,
określa kierunek propagacji fali

Dla ośrodków liniowych:

$$\vec{D} = \epsilon \vec{E} \qquad \vec{B} = \mu \vec{H}$$

$$\epsilon = \epsilon_0 \cdot \epsilon_r \qquad \mu = \mu_0 \cdot \mu_r$$

\vec{E} - natężenie pola elektrycznego [V/m]

\vec{D} - indukcja elektryczna [C/m²]

\vec{H} - natężenie pola magnetycznego [A/m]

\vec{B} - indukcja magnetyczna [Wb/m²]

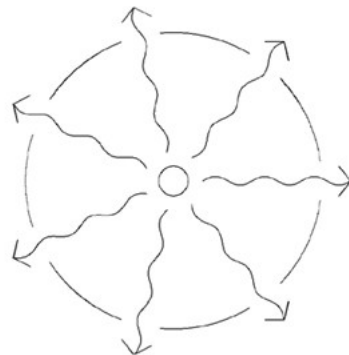
$$\vec{H} = \frac{\vec{k} \times \vec{E}}{Z}$$

Z → impedancja właściwa ośrodka
- dla próżni: 120π [Ω]

Fale elektromagnetyczne



źródło fali EM:



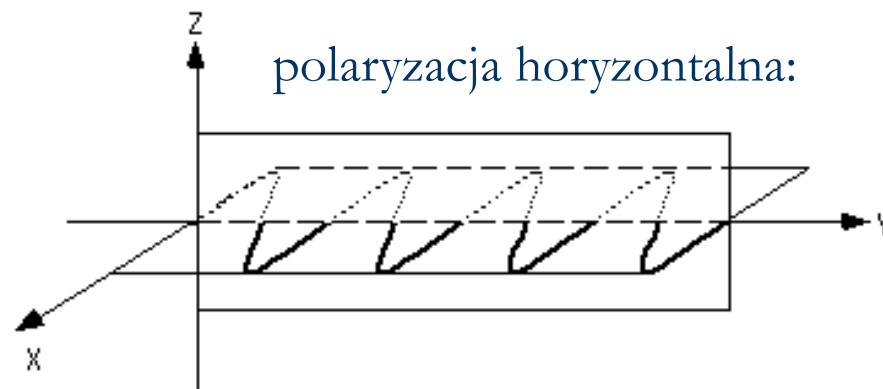
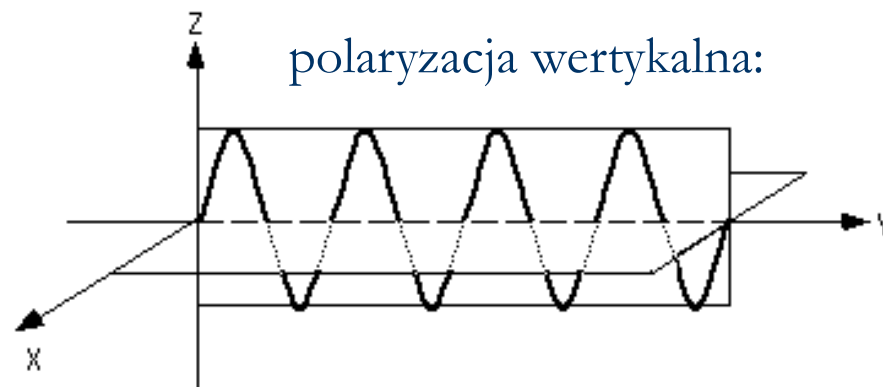
natężenie pola elektrycznego:

$$E = A \cdot e^{j(2\pi f t + \varphi)}$$

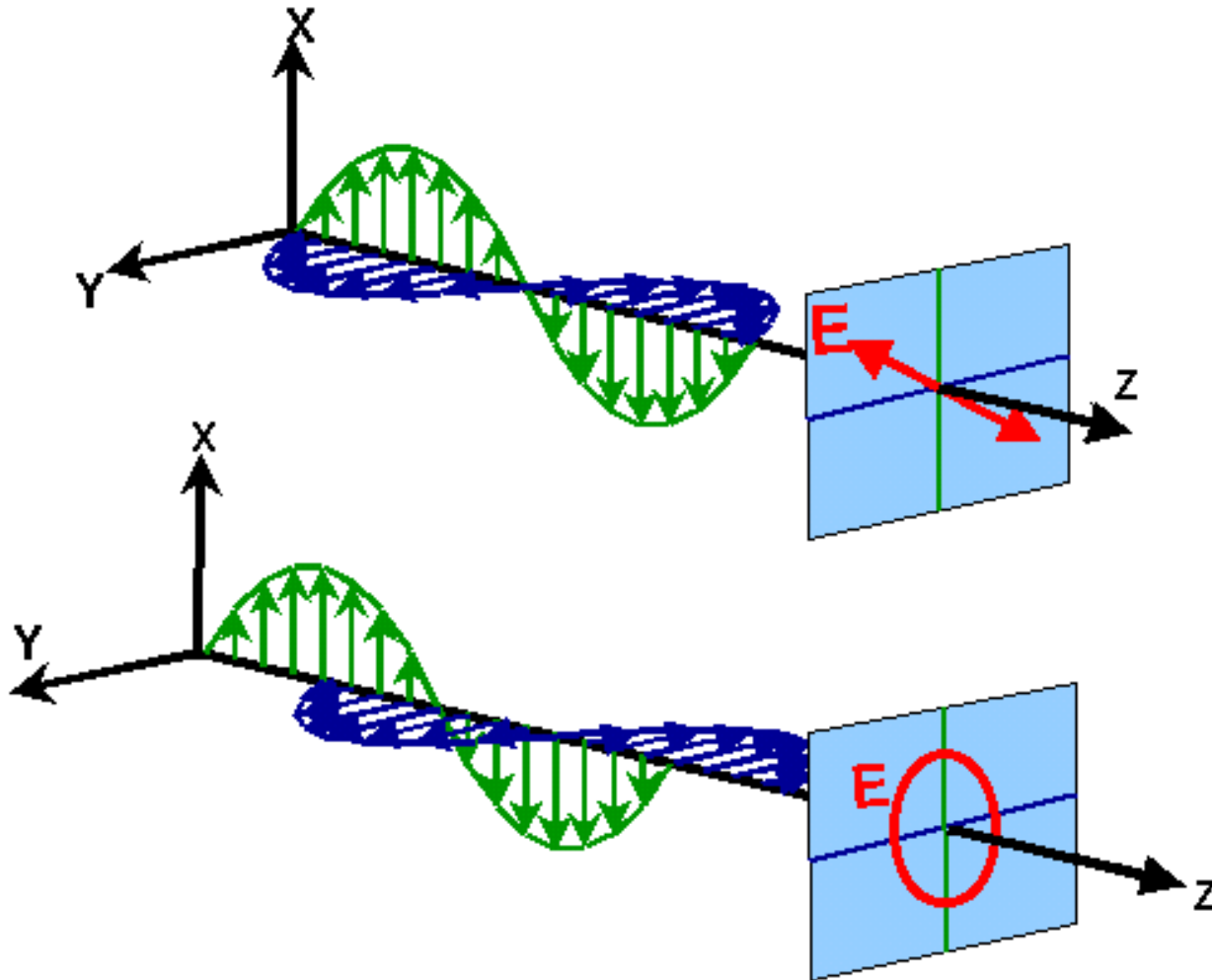
A – amplituda,

φ - faza,

f – częstotliwość fali EM.

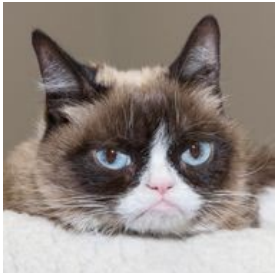


Fale elektromagnetyczne



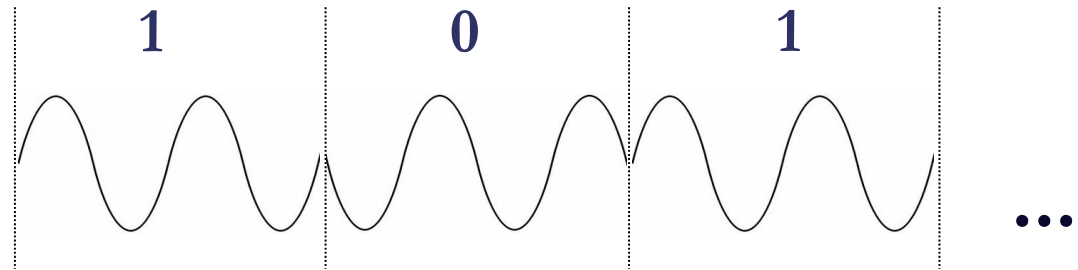
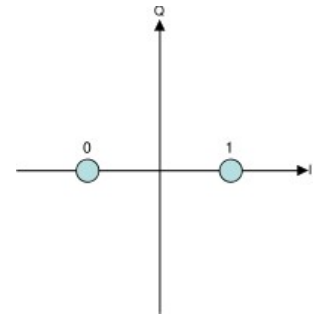
KAŻDA fala EM jest sumą (złożeniem, superpozycją) fal elementarnych o określonych \mathbf{A} , φ , f oraz polaryzacjach.

Gdy chcemy coś ściągnąć/przesłać...



➔ 10100111000110101

Modulacje, np. BPSK:



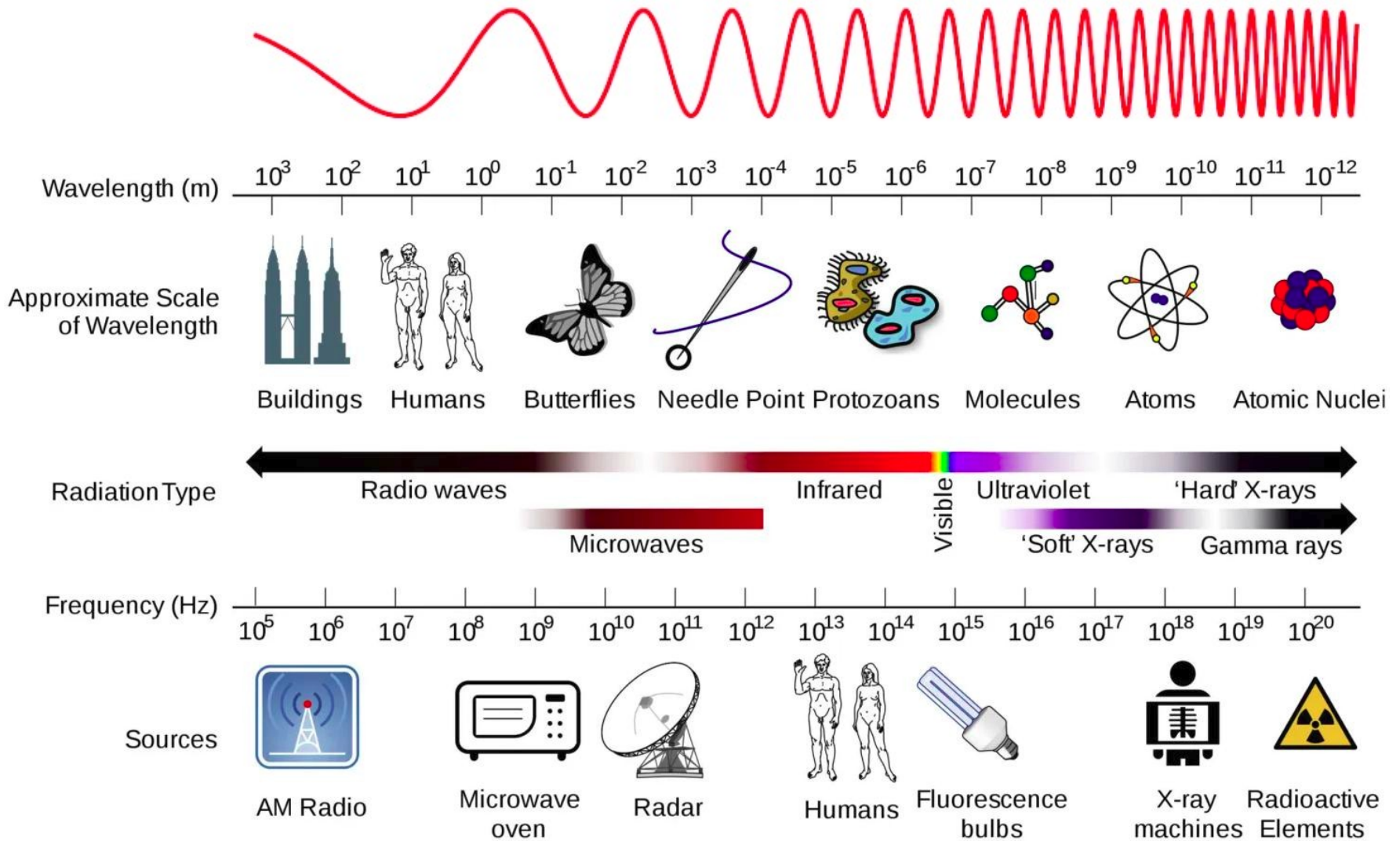
Sygnal zajmuje pewne **pasmo** (przedział częstotliwości)

Pasma częstotliwości

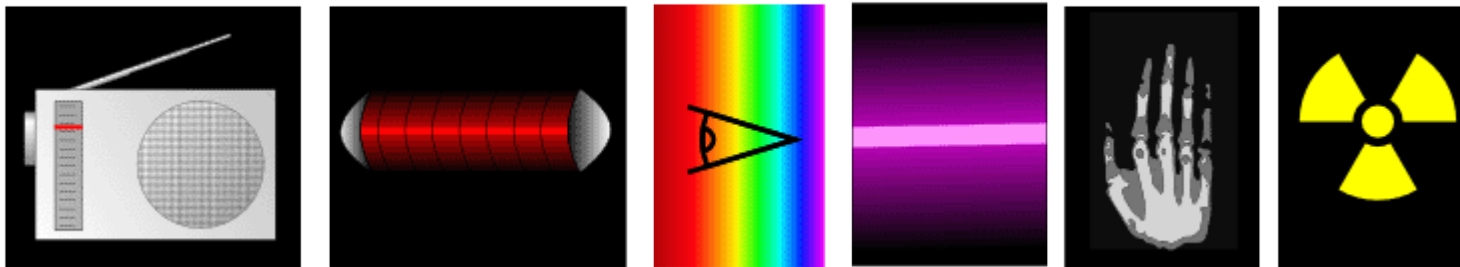


© Dan Page, IEEE Spectrum, October 2010 :-)

Częstotliwości fal EM



Częstotliwości fal EM



- fale radiowe: **do $6 \cdot 10^{11}$ Hz (600 GHz)**
- promieniowanie podczerwone: $6 \cdot 10^{11} - 3.75 \cdot 10^{14}$ Hz
- światło widzialne: $3.75 \cdot 10^{14} - 7.5 \cdot 10^{14}$ Hz
- promieniowanie ultrafioletowe UV: $7.5 \cdot 10^{14} - 3 \cdot 10^{17}$ Hz
- promienie Roentgena X: $3 \cdot 10^{17} - 5 \cdot 10^{19}$ Hz
- promienie gamma γ : powyżej $5 \cdot 10^{19}$ Hz

Częstotliwości systemów bezprzewodowych



- poniżej 100 MHz: CB radio, radionawigacja i łączność morską
- 50 – 1000 MHz: telewizja i radiofonia, część pasm wolnych po telewizji analogowej (wchodzi WiFi IEEE 802.11 ah), Internet Rzeczy
- 400 – 500 MHz, 800 – 1000 MHz, 1.8 – 2.1 GHz, 3.4 – 3.8 GHz:
sieci komórkowe/mobilne 2-5G
- 2.4 – 2.5 GHz: otwarte pasmo ISM (Industrial, Scientific and Medical)
sieci WiFi, sensorowe, Bluetooth, oraz ... kuchenki mikrofalowe
- 4.8 – 5.8 GHz: sieci WiFi
- 11 – 15 GHz: telewizja satelitarna
- powyżej 30 GHz – fale milimetrowe (wchodzą sieci 802.11 ad/ay oraz 5G)

Szczegółowych przydziałów dokonują: International Telecommunication Union, konferencja CEPT (Europa), Federal Communication Commission (USA) i organy państwowe, w Polsce: UKE (Urząd Komunikacji Elektronicznej)

Pasma częstotliwości (przykład z USA)



UNITED STATES FREQUENCY ALLOCATIONS THE RADIO SPECTRUM

RADIO SERVICES COLOR LEGEND

- | | | |
|-------------------------------|---------------------------|--|
| AERONAUTICAL MOBILE | INTER-SATELLITE | RADIO ASTRONOMY |
| AERONAUTICAL MOBILE SATELLITE | LAND MOBILE | RADIO DETERMINATION SATELLITE |
| AERONAUTICAL RADIO NAVIGATION | LAND MOBILE SATELLITE | RADIO LOGGING |
| AMATEUR | MARITIME MOBILE | RADIOLOCATION SATELLITE |
| AMATEUR SATELLITE | MARITIME MOBILE SATELLITE | RADIONAVIGATION |
| BROADCASTING | MARITIME RADIO NAVIGATION | RADIONAVIGATION SATELLITE |
| BROADCASTING SATELLITE | METEOROLOGICAL AID | SPACE OPERATION |
| EARTH ORBITATION SATELLITE | METEOROLOGICAL SATELLITE | SPACE RESEARCH |
| FIXED | MOBILE | STANDARD FREQUENCY AND TIME SIGNAL |
| FIXED SATELLITE | MOBILE SATELLITE | STANDARD FREQUENCY AND TIME SIGNAL SATELLITE |

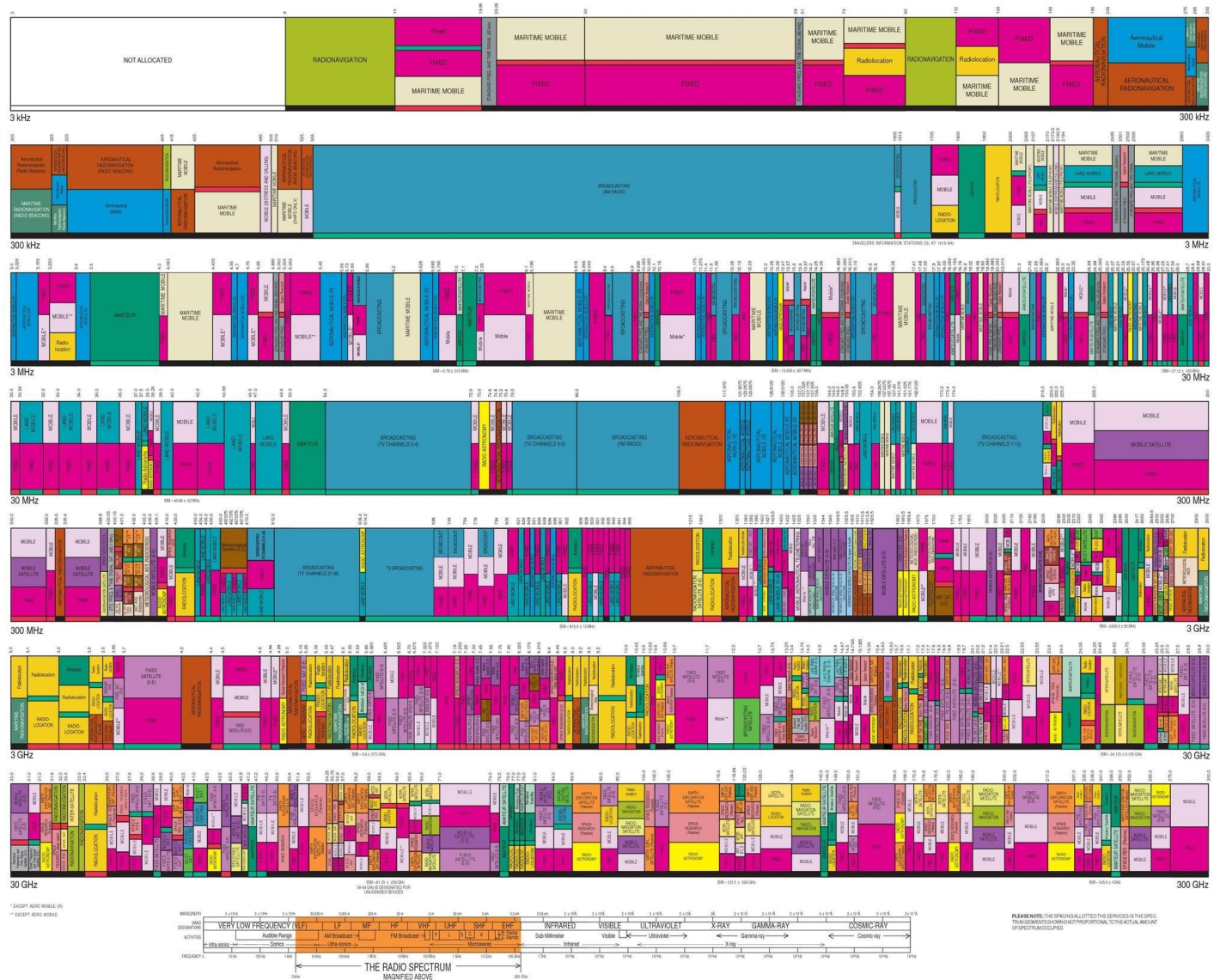
ACTIVITY CODE

- | | |
|--------------------------|----------------------------------|
| GOVERNMENT EXCLUSIVE | GOVERNMENT/NON-GOVERNMENT SHARED |
| NON-GOVERNMENT EXCLUSIVE | |

ALLOCATION USAGE DESIGNATION

SERVICE	EXAMPLE	DESCRIPTION
Primary	FIXED	Capital Letters
Secondary	MOBILE	1st Capital with lower case letters

This chart is a graphic, single-point-in-time portrayal of the Table of Frequency Allocations used by the FCC and NRTA. As such, it does not completely reflect all services, its frequency and power allocations made to the Table of Frequency Allocations. Therefore, for complete information, users should consult the Table to determine the current status of U.S. allocations.

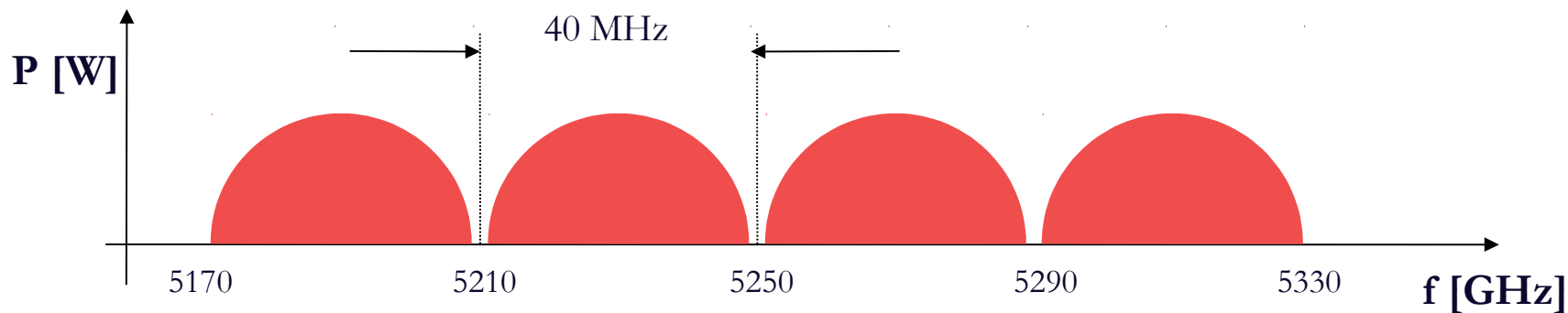
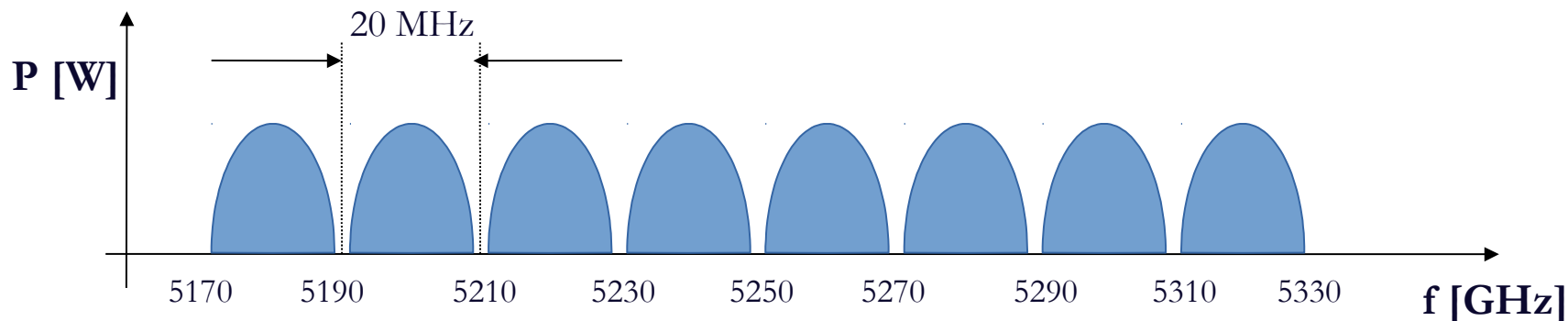


PLEASE NOTE: THE SPACING ALLOTTED THE SERVICES IN THE SPED. TABLES IS FOR INFORMATION PURPOSES ONLY. TO THE ACTUAL AMOUNT OF SPECTRUM ALLOCATED.

Przykład przydziału kanałów WiFi



Możliwe przydziały kanałów w paśmie 5 GHz:

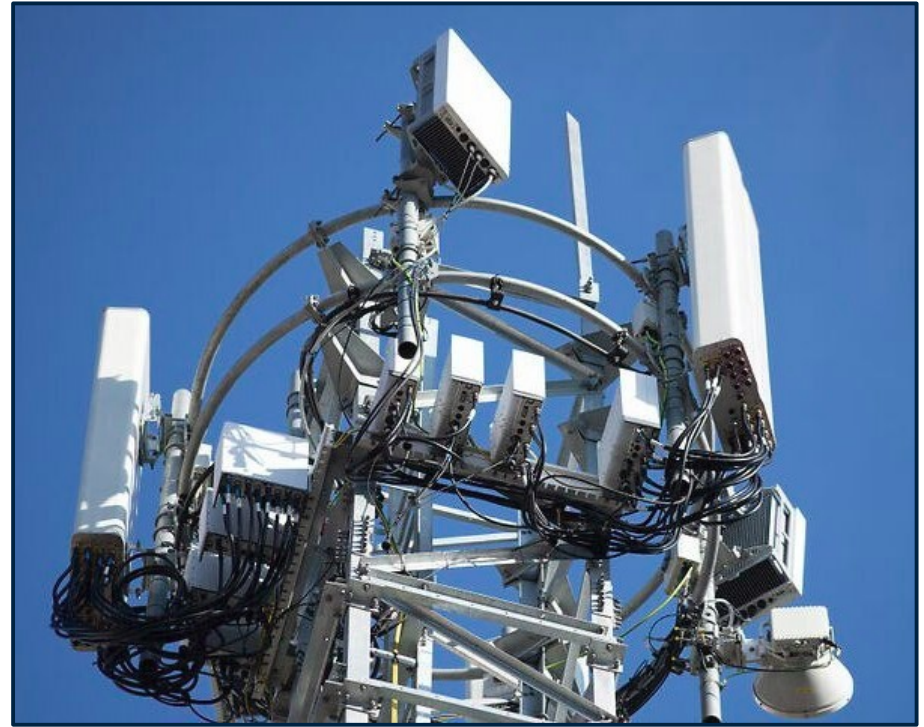


... albo jeszcze szersze kanały (80 i 160 MHz)

Im szersze pasmo, tym szybsza transmisja!

Podstawowo mamy 1 bit/s z każdego Hz pasma (wydajność widmowa), czasem trochę mniej, a często kilkukrotnie więcej.

Transmisja i moce sygnałów



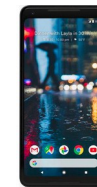
Transmisja w kanale radiowym



Nadajnik

Kanał radiowy

Odbiornik



MOC NADAWCZA
 P_T (Transmitted Power)

**TŁUMIENIE
i ZNIEKSZTAŁCENIA**
 PL (Path Loss)

MOC ODBIORCZA
 P_R (Received Power)
 S (Signal)

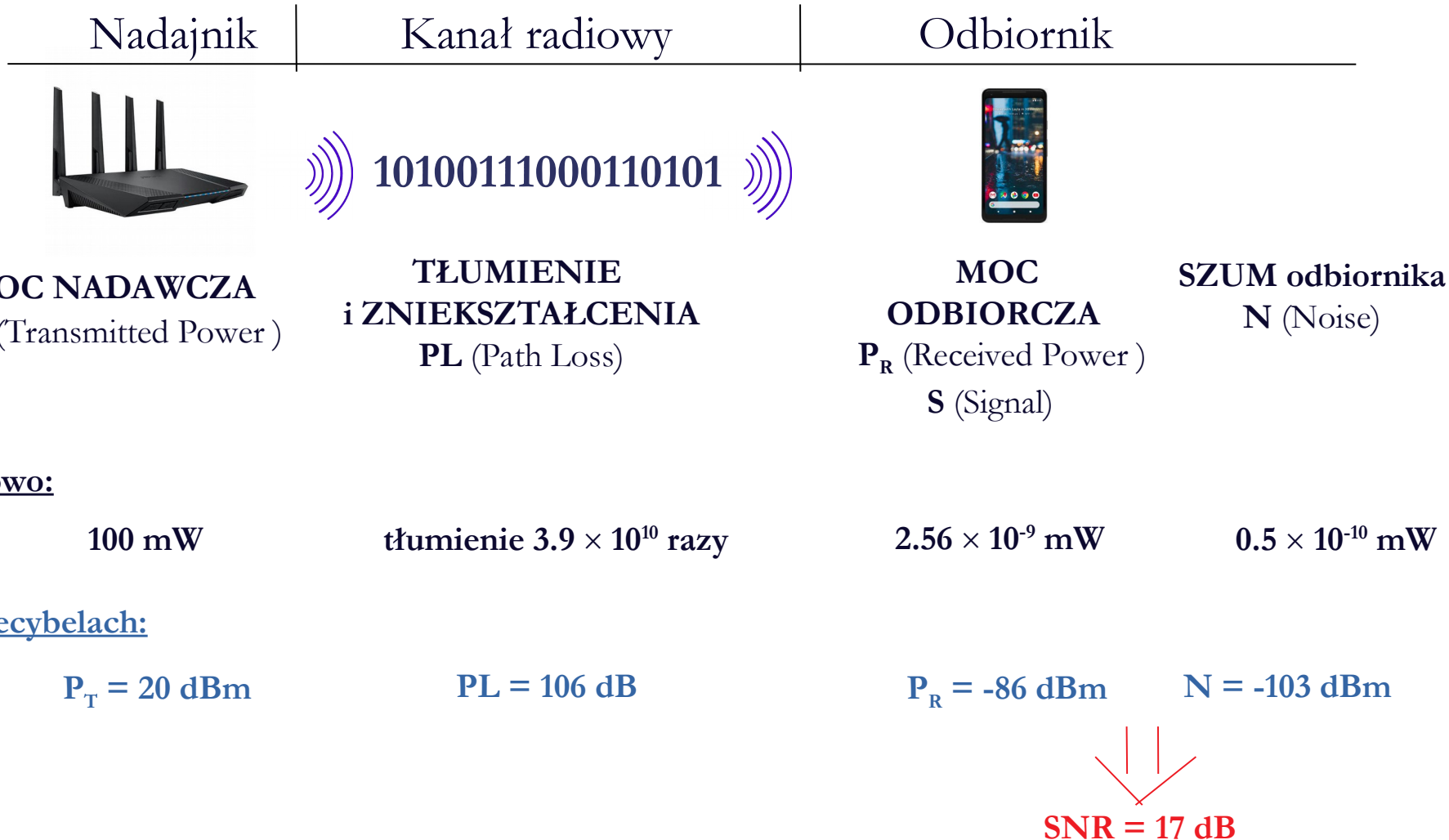
SZUM odbiornika
 N (Noise)

Signal to Interference and Noise Ratio (SINR)

**INTERFERENCJE
od innych transmisji**
 I (Interference)

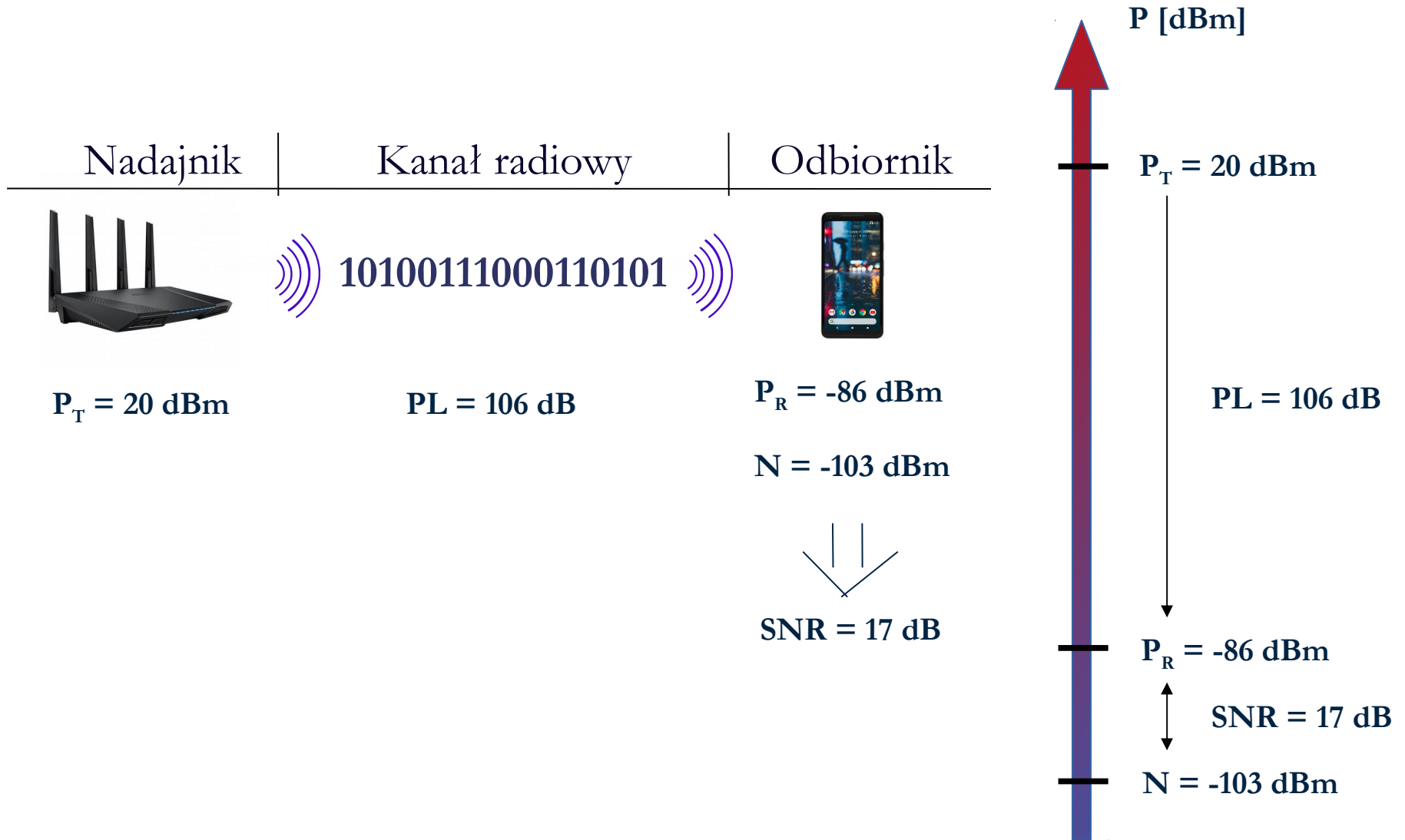
Bit Error Rate (BER)

Jak to policzyć (przykład, dB)



$$\text{tłumienie_dB} = 10 \times \log_{10} (\text{tłumienie_liniowo})$$

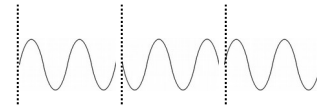
Jeszcze o bilansie w decybelach





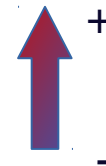
Take-away messages:

1. Dane przesyłamy **falami EM**



2. Transmisja wymaga
przydzielenia **pasma częstotliwości**

3. Bilans mocy i SNR liczymy **w decybelach**



Dziękuję za uwagę

tele.agh.edu.pl/~kulakowski/bezprzewodowe