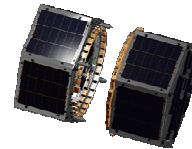


# Systemy satelitarne

© Paweł Kułakowski

## Kwestie organizacyjne



Prowadzący wykłady: Paweł Kułakowski

D5 pokój 122, telefon: 617 39 67

e-mail: [kulakowski@kt.agh.edu.pl](mailto:kulakowski@kt.agh.edu.pl)

Wykłady: czwartki godz. 12:30 - 14:00

Laboratorium (7 grup) prowadzą: Krzysztof Łoziak i Marek Sikora

Materiały do wykładu: <http://www.kt.agh.edu.pl/~brus/satelitey>

Proszę robić notatki !

Kurs kończy się egzaminem ustnym,  
do przystąpienia wymagane zaliczenie z laboratorium.

## Tematyka kursu - telekomunikacja satelitarna



### Systemy **GEOSTACJONARNE**

- dobrze znana, ustandaryzowana i popularna technika telewizji satelitarnej DVB-S
- transmisja danych – VSAT, Inmarsat

### Systemy **NISKOORBITOWE**

- kłapa systemów telefonii i transmisji danych opartych o orbity LEO
- nawigacja satelitarna

## Tematyka kursu - dekada łączności bezprzewodowej

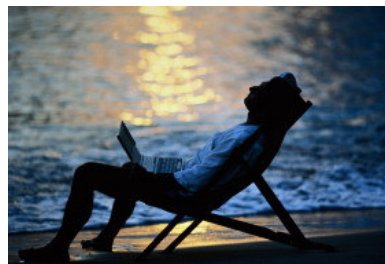


### **Gwałtowny rozwój sieci bezprzewodowych w ostatniej dekadzie:**

- popyt na usługi łączności radiowej
- rozwój technologii VLSI
- sukces telefonii komórkowej i bezprzewodowego dostępu do internetu

### **Ograniczenia:**

- zaniki sygnału radiowego
- niskie przepustowości

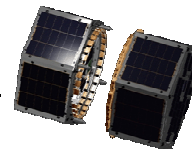


## Wykłady



1. Wprowadzenie.  
Podstawy radiokomunikacji i techniki antenowej.
2. Satelita na orbicie okołoziemskiej.
3. Bilans SNR łącza satelitarnego.
4. Budowa i zadania satelity telekomunikacyjnego.
5. Podstawy propagacji fal radiowych.  
Atmosfera ziemska.
6. Architektury i przykłady systemów satelitarnych.  
Satelitarne sieci TCP/IP.
7. Nawigacja satelitarna.

## Wykłady



8. Przegląd systemów radiokomunikacyjnych.  
Wyzwania stojące przed łącznością bezprzewodową.
9. Propagacja wielodrogowa.  
Zaniki sygnału radiowego.  
Interferencje międzysymbolowe.  
Techniki *diversity*.
10. Wielodostęp do kanału radiowego.  
OFDM.
11. Modele kanałów radiowych.  
Bilans SIR i SINR.
12. Dalekosiężna łączność naziemna.

## Literatura

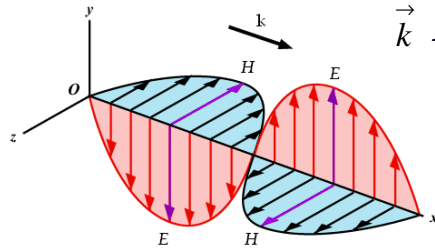


- A. Molisch, *Wireless Communications*, 2005.
- D. Tse and P. Viswanath, *Fundamentals of Wireless Communication*, 2005.
- J. Seybold, *Introduction to RF Propagation*, 2005.
- J. Kraus and R. Marhefka, *Antennas for all applications*, 2001.
- C. Balanis, *Antenna theory: Analysis and design*, 2005.
- B. Evans, *Satellite communication systems*, 1999.
- G. Maral and M. Bousquet, *Satellite communications systems*, 2002.
- R. Prasad and M. Ruggieri, *Applied satellite navigation using GPS, GALILEO and augmentation systems*, 2005.
- K. Wesołowski, *Systemy radiokomunikacji ruchomej*, 1999.
- J. Szóstka, *Fale i anteny*, 2000.

## Podstawy radiokomunikacji i techniki antenowej - przypomnienie



# Fale elektromagnetyczne



$\vec{k}$  -> wektor falowy  
- określa kierunek propagacji fali

Dla ośrodków liniowych:

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

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

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

$\vec{D}$  - indukcja elektryczna [C/m<sup>2</sup>]

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

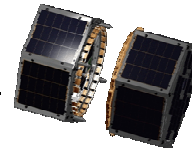
$\vec{B}$  - indukcja magnetyczna [Wb/m<sup>2</sup>]

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

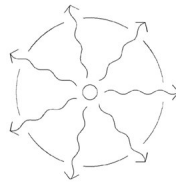
Z -> impedancja właściwa ośrodka  
- dla próżni: 120π [Ω]

EM Wave

# Fale elektromagnetyczne



źródło fali EM:



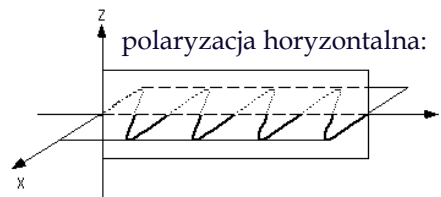
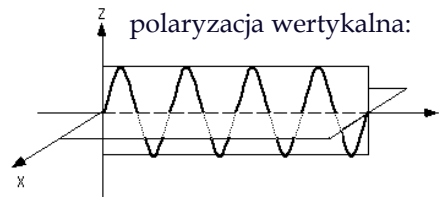
natężenie pola elektrycznego:

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

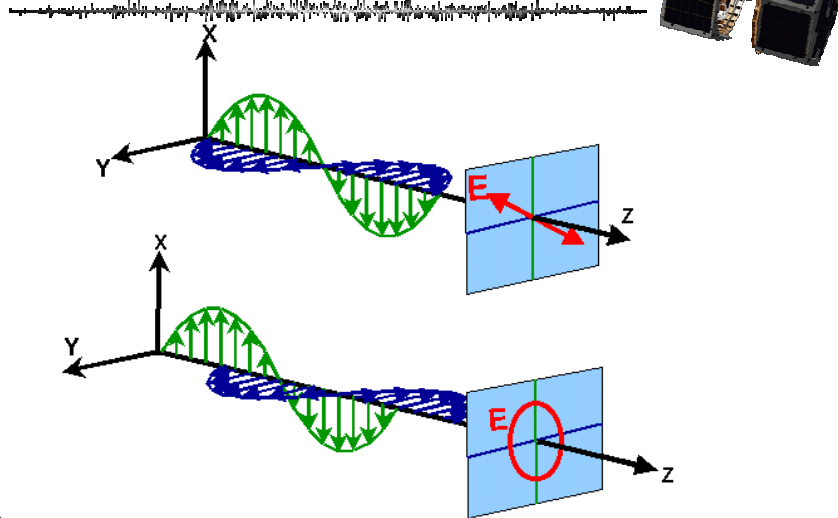
A - amplituda,

$\varphi$  - faza,

f - częstotliwość fali EM.



## Fale elektromagnetyczne



KAŻDA fala EM jest sumą (złożeniem, superpozycją) fal elementarnych o określonych  $A$ ,  $\varphi$  oraz  $f$ .

## Powierzchniowa gęstość mocy



$P_T$  - moc sygnału nadawanego przez antenę

w hipotetycznym przypadku, gdy antena promieniuje **równomiernie** we wszystkich kierunkach, gęstość powierzchniowa mocy w odległości  $r$  wynosi:

$$S = \frac{P_T}{4\pi \cdot r^2}$$

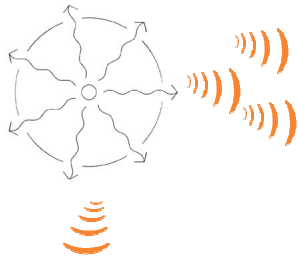
w ogólnym przypadku:

$$\vec{E} = \frac{\vec{A}}{r} \cdot e^{j \cdot 2\pi \cdot f \cdot \left(t - \frac{r}{c}\right) + j\varphi}$$

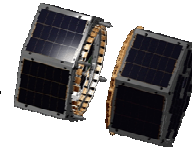
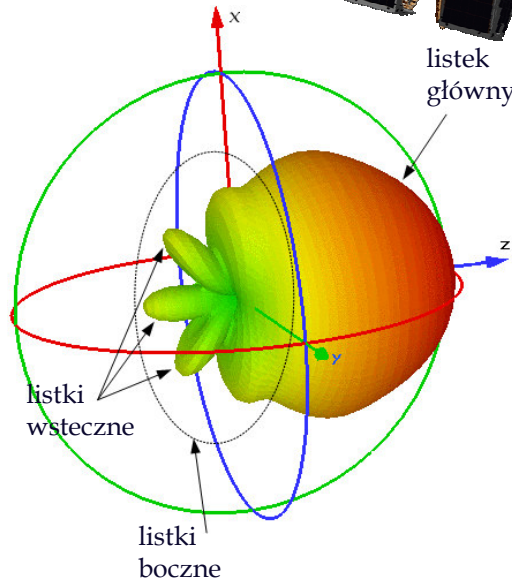
$$S = E \cdot H$$

## Anteny i diagramy kierunkowe

źródło fali EM:



Anteny izotropowe oraz anteny promieniujące tylko w jednym, wybranym kierunku NIE ISTNIEJĄ.



## Parametry anten

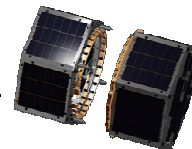
**Zysk kierunkowy  $D$  [dBi]** – stosunek gęstości mocy promieniowanej na danym kierunku do średniej gęstości mocy, w uproszczeniu: wzmocnienie sygnału na danym kierunku w porównaniu z anteną izotropową

**Zysk energetyczny  $G$  [dBi]** – iloczyn zysku kierunkowego i sprawności energetycznej anteny:

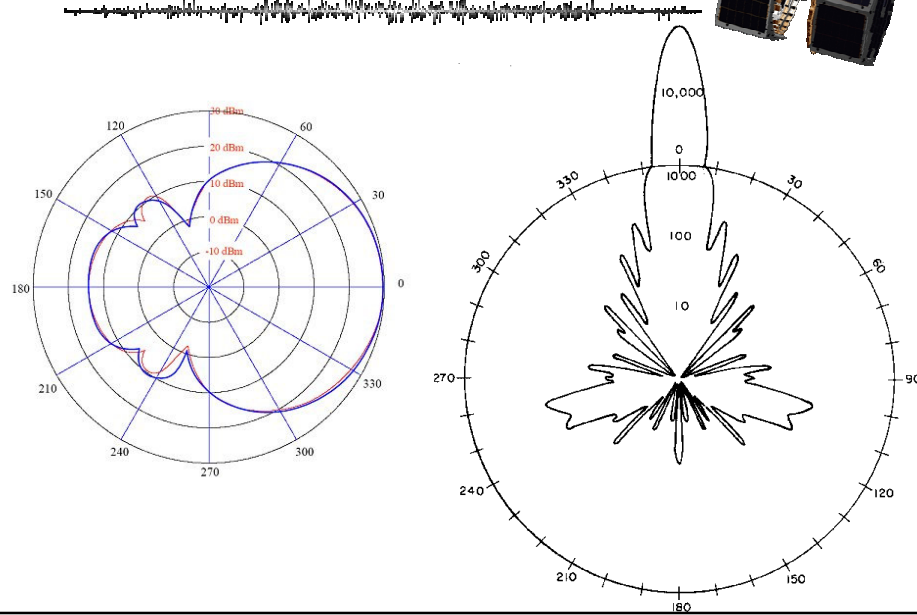
$$G = \eta_A \cdot D$$
$$\eta_A \approx 95\% - 98\%$$

Na kierunku maksymalnego promieniowania:  $D_{max}$  i  $G_{max}$

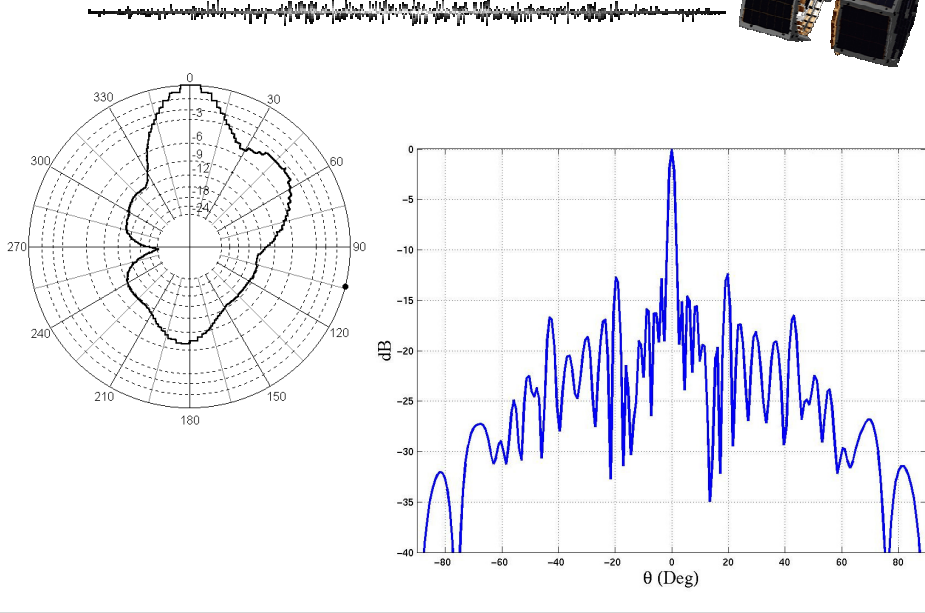
**Kąt połowy mocy  $2\theta_{3dB}$  [°]** – kąt poza którym moc sygnału spada o 3dB poniżej mocy maksymalnej



## Przykłady diagramów kierunkowych

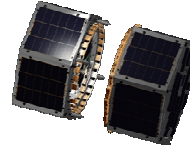


## Przykłady diagramów kierunkowych





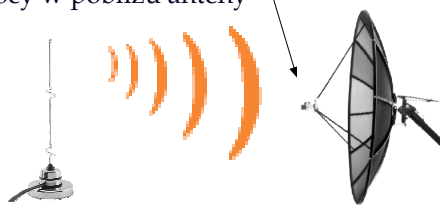
## Parametry anten



Powierzchnia (apertura) skuteczna  $A_S$  [m<sup>2</sup>] – hipotetyczna, efektywna powierzchnia odbioru sygnału radiowego

$S$  – gęstość powierzchniowa mocy w pobliżu anteny

$P_R$  – moc odbierana na zaciskach anteny



$$S = \frac{P_T \cdot G_T}{4\pi \cdot r^2}$$

$$P_R = S \cdot A_S$$

$$P_R = \frac{P_T \cdot G_T}{4\pi \cdot r^2} \cdot A_S$$

## Parametry anten



Dla anten z wyróżnioną powierzchnią  $A$  (ant. paraboliczne, tubowe):

$$A_S = \nu \cdot A$$

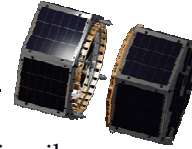
$\nu$  - współczynnik wykorzystania apertury, związany z jej kształtem i dokładnością wykonania  
-> zazwyczaj 50-80 %

Związek pomiędzy maksymalnym zyskiem energetycznym i aperturą skuteczną:

$$G_{\max} = \frac{4\pi}{\lambda^2} \cdot A_S$$

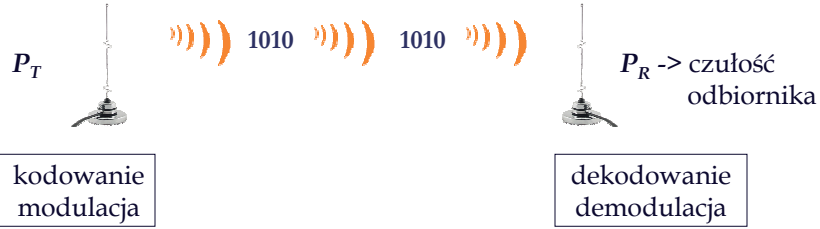
$\lambda$  - długość fali radiowej, równa  $c/f$

# Transmisja w kanale radiowym



$$H(f) = A \cdot e^{j\varphi(f)}$$

$$\frac{S}{N+I} \Rightarrow \text{BER}$$



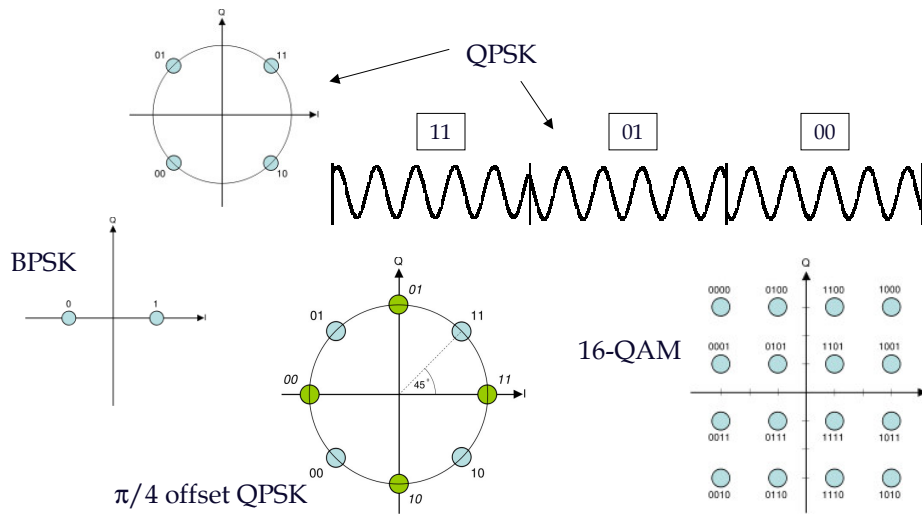
Błędy w transmisji -> kody korekcyjne FEC, retransmisje.

UWAGA: omawiana jest pierwsza warstwa modelu OSI.

# Modulacje



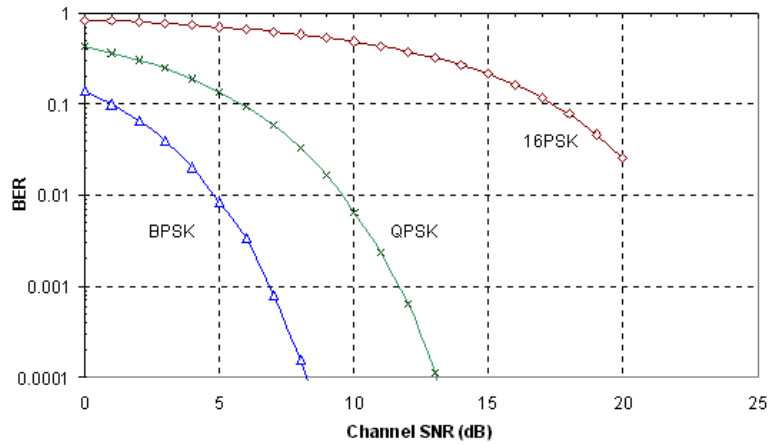
Typowe modulacje: BPSK, QPSK, M-QAM,  $\pi/4$  offset QPSK, GMSK



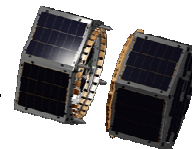
## Modulacje



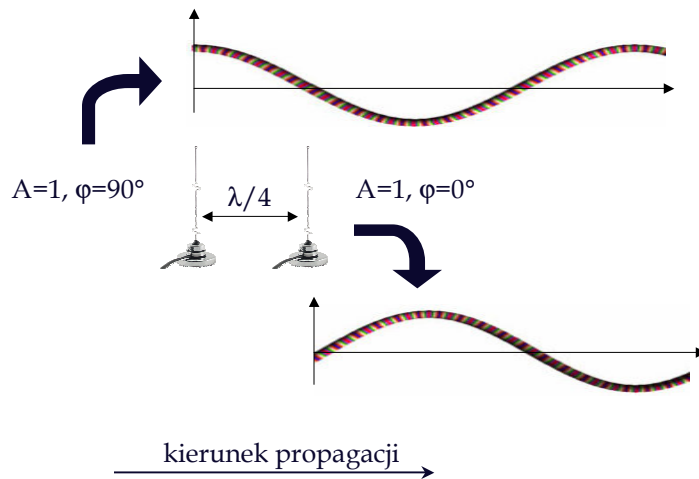
Zależności bitowej stopy błędów BER od stosunku mocy sygnału do mocy szumu SNR dla różnych modulacji

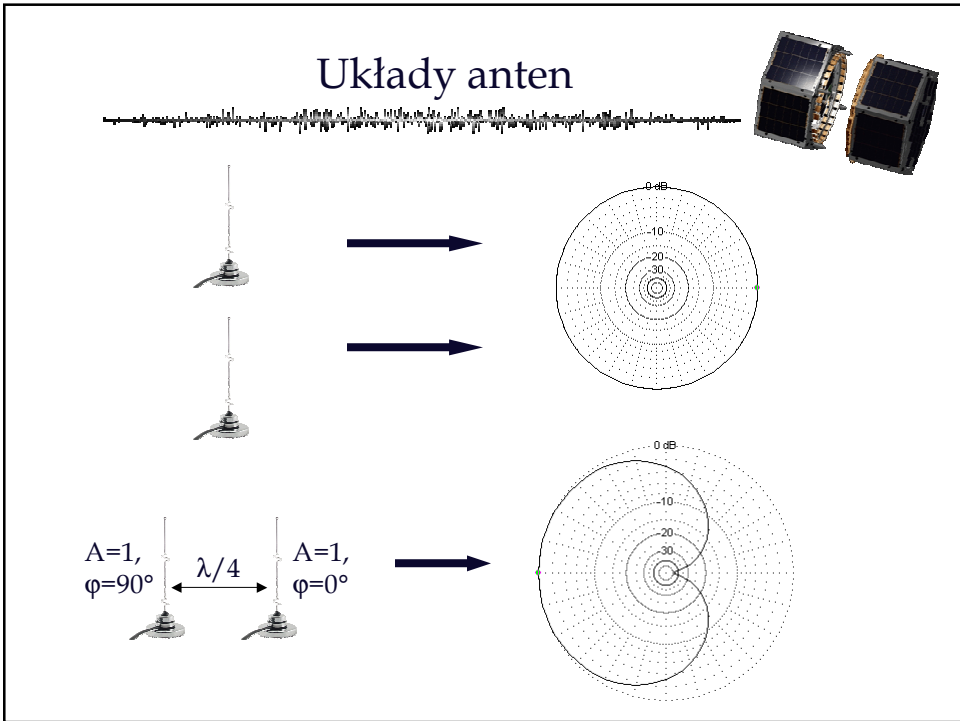
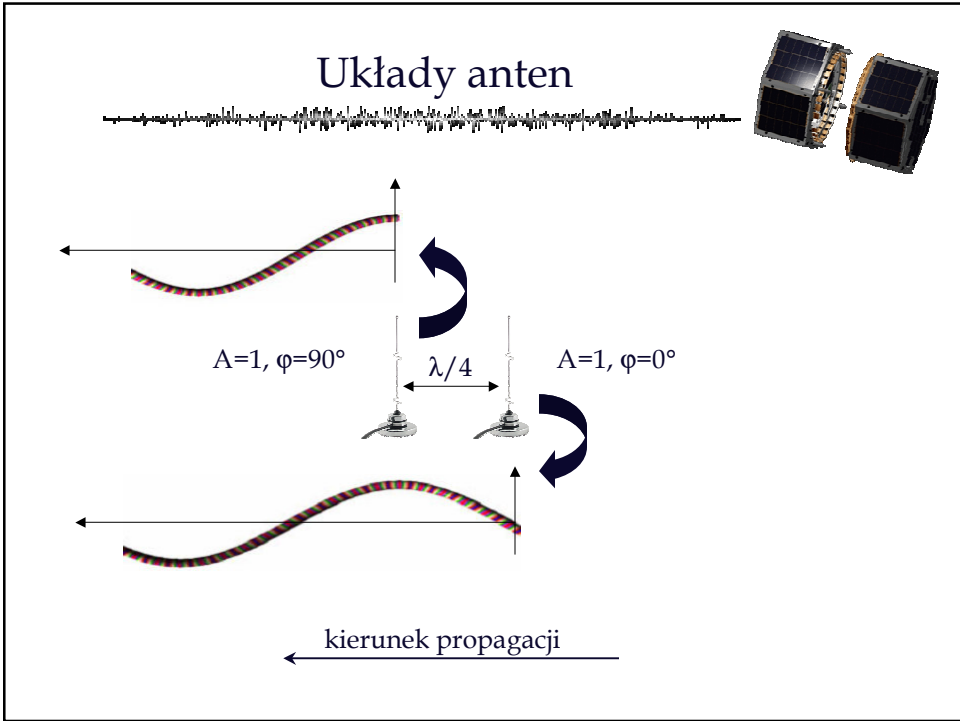


## Układy anten

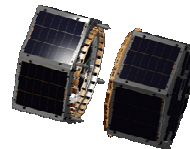


Kształtowanie charakterystyk promieniowania:





## Układy anten



Wybór położenia zer i maksimów charakterystyk

Poprawa maksymalnego zysku kierunkowego

Niwelowanie niepożądanych sygnałów zakłócających

**Anteny inteligentne** -> modyfikacja charakterystyk promieniowania w reakcji na zmiany sygnałów radiowych docierających do anteny i zmiany w kanale radiowym



**Dziękuję za uwagę**