



Zakresy fal radiowych

Zakres częstotliwości	Zakres długości fal	Nazwa zakresu
3 – 30 kHz	10 – 100 km	myriametrowe VLF
30 – 300 kHz	1 – 10 km	kilometrowe LF
300 – 3000 kHz	100 – 1000 m	hektometrowe MF
3 – 30 MHz	10 – 100 m	dekametrowe HF
30 – 300 MHz	1 – 10 m	metrowe VHF
300 – 3000 MHz	10 – 100 cm	decymetrowe UHF
3 – 30 GHz	1 – 10 cm	centymetrowe SHF
30 – 300 GHz	1 – 10 mm	milimetrowe EHF

Propagacja fal radiowych $f < 100 \text{ MHz}$

- $f < 100 \text{ MHz} \Rightarrow \lambda > 3 \text{ m}$
- wąskie pasma częstotliwości, niskie szybkości transmisji
- znikomy wpływ przeszkód terenowych
- wpływ efektów troposferycznych i jonosferycznych

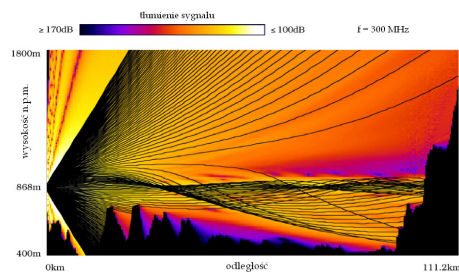
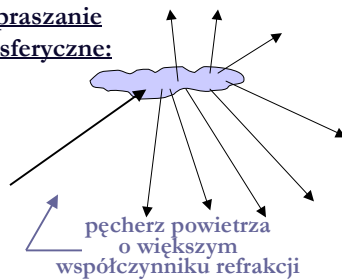
Propagacja troposferyczna

- refrakcja
- odbicie
- dyfrakcja
- interferencja
- rozproszenie

W typowym przypadku, współczynnik refrakcji spada z wysokością:



Rozpraszanie troposferyczne:



Dukty troposferyczne:

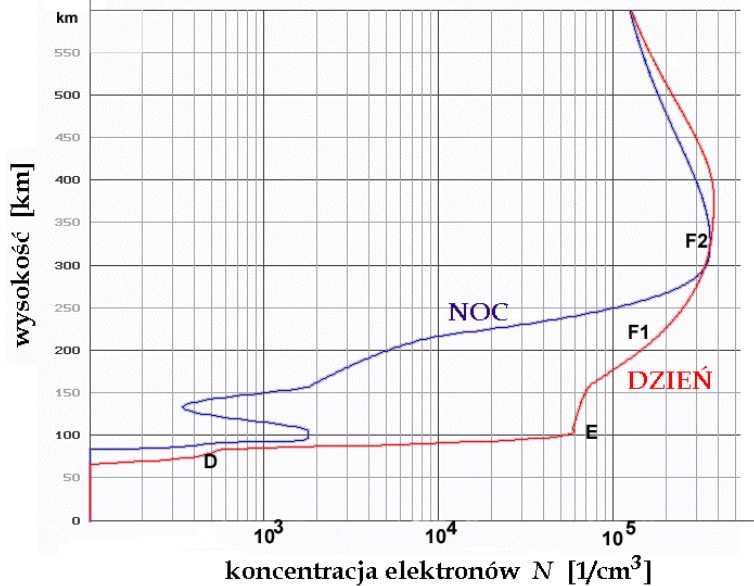
- dukt uniesiony:



- dukt przyziemny:



Propagacja jonosferyczna



Propagacja jonosferyczna

Częstotliwość plazmowa f_p charakteryzująca jonosferę o danej koncentracji wolnych elektronów:

$$f_p = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{N \cdot q_e^2}{\epsilon_0 \cdot m_e}} \approx 9\sqrt{N}$$

N -> koncentracja wolnych elektronów

q_e i m_e -> ładunek i masa elektronu

Współczynnik załamania:

$$n^2 = 1 - \left(\frac{f_p}{f}\right)^2$$

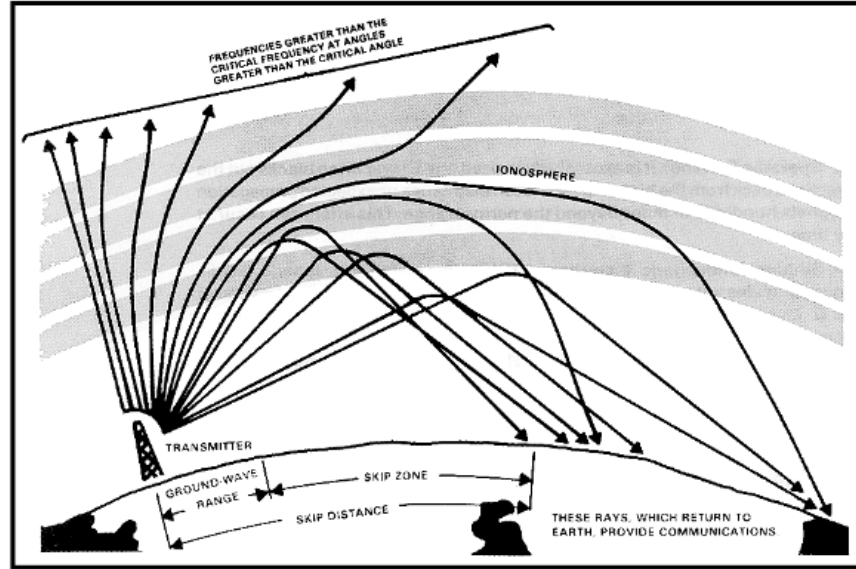
Maksymalna częstotliwość, przy której fala zostanie odbita w kierunku Ziemi:

$$f_{\max} = \frac{f_p}{\sin \theta}$$

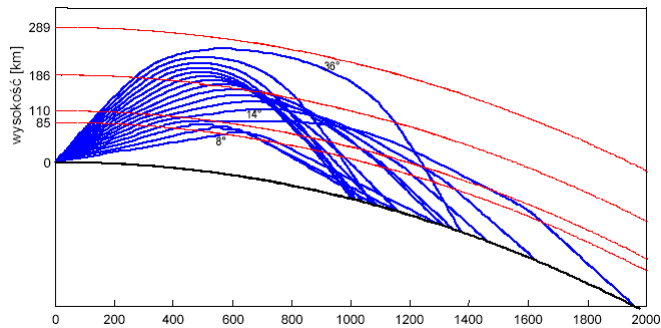
Łączność radiowa jonosferyczna:

- odbicie fal radiowych od warstw E lub F, FAI (*Field Aligned Irregularities*), obłoków sporadycznych E_s, śladów meteorowych (*Meteor Scatter*)

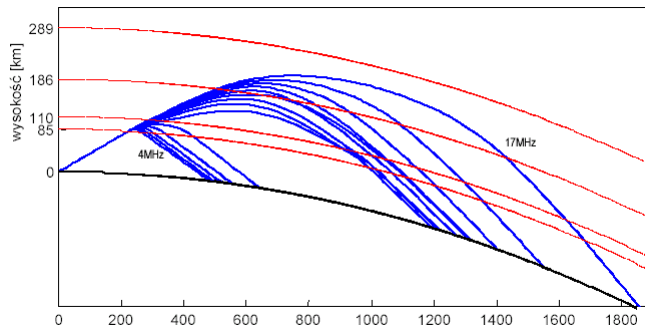
Propagacja jonosferyczna



$f = \text{const} \rightarrow$



$\theta = \text{const} \rightarrow$



© J. Młynarczyk

Pozahoryzontowe linie radiowe *Over-The-Horizon (OTH)*



- brak widoczności między antenami (NLOS),
- wykorzystywane zjawiska: dyfrakcja na przeszkodzie terenowej, rozproszenie w troposferze (*troposcatter*, *backscatter*), m.in. radary,
- częstotliwości nawet do 10 GHz,
- przęsła o długości do 1000 km, średnice anten: 2 – 40 metrów.



Łączność meteorowa *Meteor Burst Communication, Meteor Scatter*



Zjawisko spadających meteorów
- obiekty sporadyczne i roje meteorów

Średnie liczby w ciągu doby:

- 10^5 meteorów o masie 1 g lub większej,
- 10^{12} (bilion) meteorów o masie 10^{-7} g lub większej

Ślad meteorowy – zjonizowana kolumna powietrza

Gęstości elektronów: kilka rzędów wielkości wyższe niż w typowej jonosferze

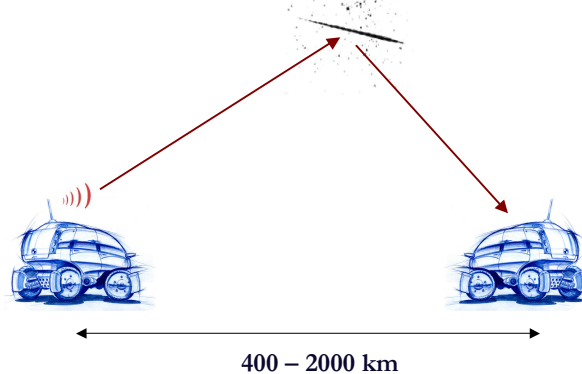


Łączność meteorowa *Meteor Burst Communication, Meteor Scatter*

- Moce nadajników: 100 W – 10 kW
- Anteny Uda-Yagi (G=13-24 dBi)
- Optymalne częstotliwości pracy systemu: 40-60 MHz

Wysokość śladu:
80-120 km

Czas życia: 0.2-5 s



Łączność meteorowa *Meteor Burst Communication, Meteor Scatter*

Zalety:

- Niski koszt systemu
- Łączność na duże odległości – do 2000 km
- Niewrażliwość na zmienność warunków atmosferycznych
- Ograniczony zasięg odbioru sygnału

Przepustowość systemu:

- 2 – 16 kbit/s, np. 16 kbit/s
- przykładowy czas transmisji : 0.1 s
- średni czas pomiędzy śladami : 90 s

$$\left(16000 \text{ bit/s} * 0.1 \text{ s} \right) / 90 \text{ s} \approx 17 \text{ bit/s}$$

Transmisja e-maila (5 kb) \Rightarrow ok. 5 minut

Łączność meteorowa

Meteor Burst Communication, Meteor Scatter



Przykłady zastosowań:

- wojsko – od ponad 30 lat,
- Snotel – system pomiaru opadów śniegu i poziomu wód w rzekach,
- raporty o natężeniu ruchu na drogach,
- MeteorComm – śledzenie ruchu pojazdów, krótkie wiadomości tekstowe.



Stacja Snotel

Digital Radio Mondiale



- standard ETSI radia cyfrowego, zatwierdzony przez ITU, dla częstotliwości poniżej 120 MHz,
- europejski zasięg stacji nadawczych,
- transmisja na wielu nośnych – OFDM,
- nowoczesne techniki kodowania dźwięku – MPEG 4 AAC, CELP, HVXC
- jakość dźwięku porównywalna z radiem FM.



Dziękuję za uwagę