

12. Radiokomunikacja

12.1. Podział częstotliwości

Krajowa Tablica Przeznaczeń Częstotliwości.

Zakresy częstotliwości przydzielone dla potrzeb radiodifuzji:

fale długie 148.5 – 283.5 kHz,

fale średnie 526.5 – 1606.5 kHz,

fale krótkie

 pasmo 75 m 3.95 – 4.00 MHz,

 pasmo 49 m 5.95 – 6.20 MHz,

 pasmo 41 m 7.10 – 7.35 MHz,

 pasmo 31 m 9.40 – 9.90 MHz,

 pasmo 25 m 11.60 – 12.10 MHz,

 pasmo 21 m 13.57 – 14.00 MHz,

 pasmo 19 m 15.10 – 15.80 MHz,

 pasmo 16 m 17.48 – 17.90 MHz,

 pasmo 15 m 18.90 – 19.02 MHz,

 pasmo 13 m 21.45 – 21.85 MHz,

 pasmo 11 m 25.67 – 26.10 MHz,

fale ultrakrótkie UKF

 65.78 – 74.8 MHz,

 87.50 – 108 MHz,

 174 – 230 MHz,

 470 – 862 MHz,

 1452 – 1467 MHz,

radiodifuzja satelitarna

 11.7 – 12.5 GHz,

 21.1 – 22.0 GHz,

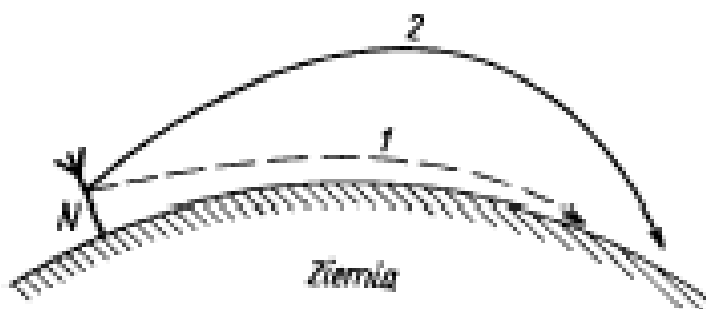
 40.5 – 42.5 GHz,

 84.0 – 86.0 GHz.

12.2. Propagacja fal

12.2.1 Propagacja fal długich

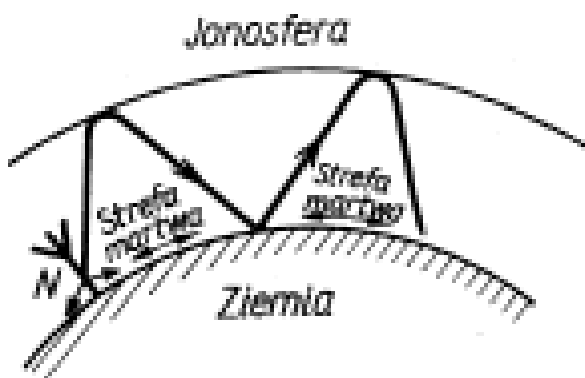
Fale długie rozchodzą się w wszystkich kierunkach. Odbijają się od dolnych warstw jonosfery praktycznie nie wnikając w nią. O zasięgu fal długich decydują fale powierzchniowe i fale troposferyczne.



1. fala powierzchniowa
2. fala troposferyczna

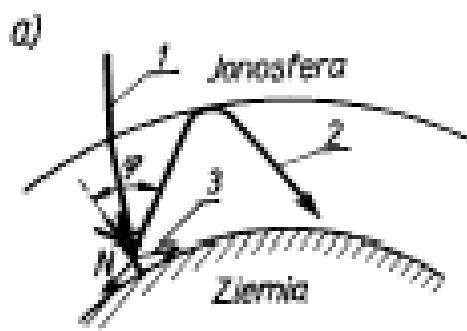
12.2.2. Propagacja fal średnich

O zasięgu fal średnich w ciągu dnia decyduje fala powierzchniowa, ponieważ fala średnia wnikająca w jonosferę ulega absorpcji. Z nastaniem zmroku tłumienie fali jonosferycznej maleje i o na w zasadzie decyduje o zasięgu fal średnich. Na rys. 5 przedstawiono sposób rozchodzenia się fal średnich. Zasięg słyszalności fal średnich wynosi kilkaset kilometrów i powiększa się znacznie w porze nocnej.

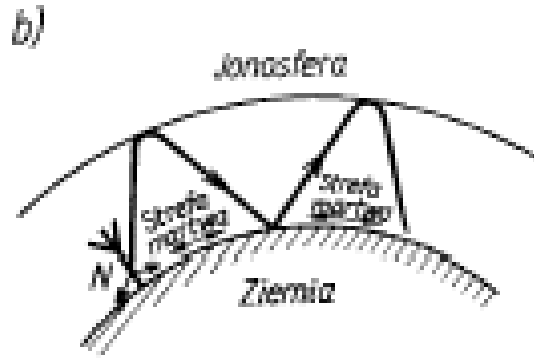


12.2.3. Propagacja fal krótkich

Fale krótkie w postaci fal powierzchniowych rozchodzą się na niewielkie odległości ze względu na znaczne tłumienie powierzchniowych warstw Ziemi. Zasięg ich wynosi od kilku do kilkudziesięciu kilometrów. Fale krótkie rozchodzą się dobrze w postaci fal jonosferycznych jednokrotnie lub wielokrotnie odbitych od jonosfery.



a) odbicie jednokrotne



b) odbicie wielokrotne

Łączność w zakresie fal krótkich zależy od stanu jonosfery, toteż dla zapewnienia łączności między dwoma punktami w określonym przedziale czasu częstotliwości fali radiowej ustala się zależnie od pory dnia w jednym z podzakresów:

- fale dzienne (10 do 25 m),
- fale przejściowe (25 do 35 m), wykorzystywane do łączności w okresie zmierzchu i świtu,
- fale nocne (35 do 100 m).

12.2.4. Propagacja fal ultrakrótkich

Fale UKF rozchodzą się jako fale bezpośrednie. Odbiór fal UKF jest możliwy tylko w zasięgu bezpośredniej widoczności. W praktyce zasięg fal UKF jest nieco większy niż wynika to z odległości bezpośredniej widoczności, powodują to zjawiska dyfrakcji i refrakcji. Zasięg fal UKF jest określany przez horyzont radiowy, którego wartość można obliczyć ze wzoru:

$$R_{[km]} = 4.12 \cdot (\sqrt{H_{1[m]}} + \sqrt{H_{2[m]}})$$

gdzie:

R – zasięg w km,

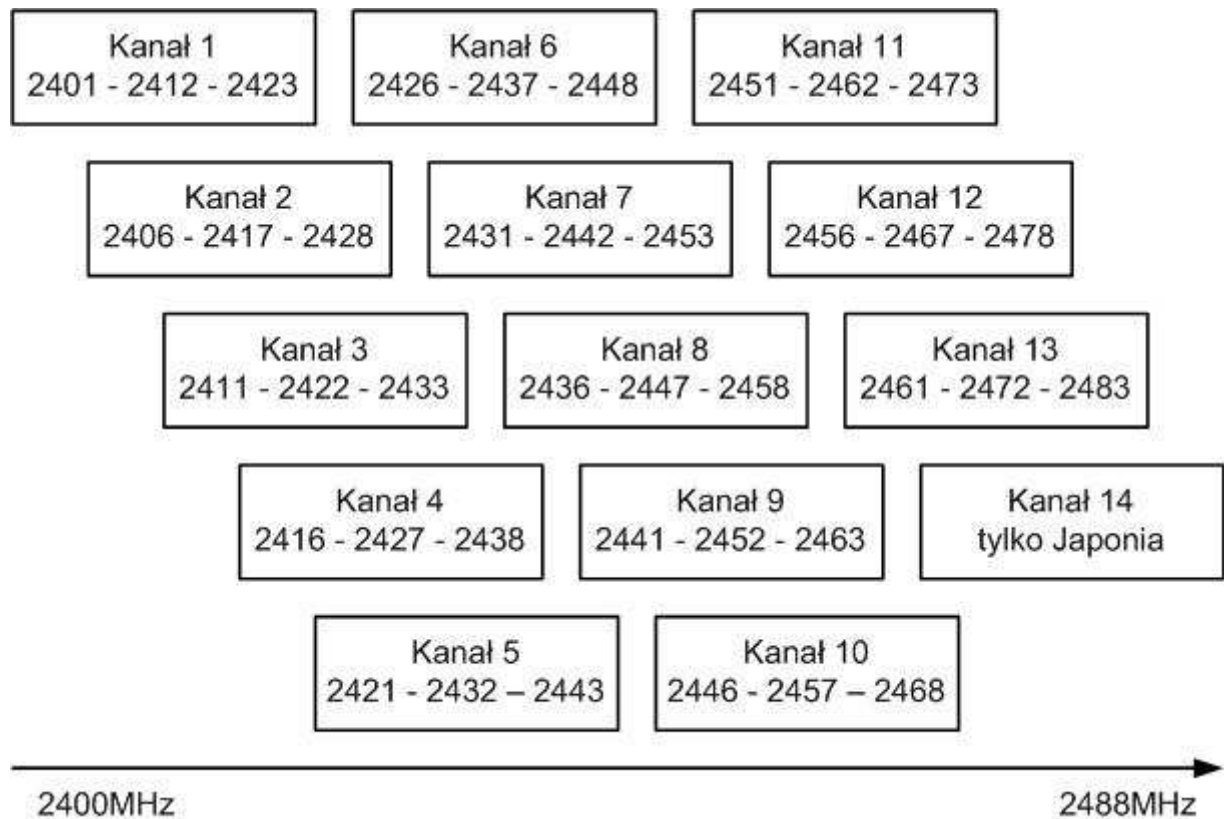
H_1 i H_2 – wysokości umieszczenia anten w metrach

12.2.5. Propagacja mikrofal

Mikrofale, czy fale elektromagnetyczne o długościach centymetrowych, rozchodzą się po liniach prostych. Oznacza to, że przykładowo pokonanie przeszkody w postaci ściany o grubości 10cm, ale pod kątem 30° należy traktować jak pokonanie przeszkodę o dwukrotnie większej grubości.

12.3. Standard WiFi – 802.11b/g

12.3.1. Kanały w paśmie 2.4 GHz



Warto tu zauważyć, że z 13 kanałów można utworzyć tylko 3 wzajemnie rozłączne częstotliwościowo sieci np. kanały 1, 6, 11 albo 2, 7, 12, albo 1,7,13 itp..

12.4. Zasięg sprzętu WiFi

12.4.1. Tłumienie fal elektromagnetycznych w wolnej przestrzeni

Tłumienie fal elektromagnetycznych w wolnej przestrzeni opisane jest zależnością

$$L = \frac{R^2 \cdot (4 \cdot \pi)^2}{\lambda^2}$$

Dla sprzętu WiFi pracującego w paśmie 2.4GHz (802.11b/g) można stosować przybliżony wzór na tłumienie w wolnej przestrzeni

$$L_{[dB]} = 40 + 20 \cdot \log(R_{[m]})$$

gdzie:

L – tłumienie w dB

R – odległość między nadajnikiem i odbiornikiem w m

12.4.2. Tłumienie dodatkowe i rozpraszanie

Zwykle nie mamy do czynienia z transmisją w wolnej przestrzeni, ale w przestrzeni, w której znajdują się dodatkowe przeszkody takie jak: drzewa, budynki, meble itp.

Transmisja w przestrzeni zawierającej przeszkody powoduje dodatkowe zjawiska pogarszające jakość transmisji takie jak odbicia, rozpraszanie i nakładanie się fal z różnymi fazami i opóźnieniami co w efekcie powoduje znacznie silniejsze tłumienie niż wynikałoby z teorii. Wszystkie te zjawiska można opisać równaniem:

$$L = \frac{R^n \cdot (4 \cdot \pi)^2}{\lambda^2} + L_d$$

albo w wersji dla częstotliwości 2.45 GHz i w dB

$$L_{[dB]} = 40 + 10 \cdot n \cdot \log(R_{[m]}) + L_{d[dB]}$$

Tabela pokazuje typowe tłumienie dodatkowe różnych przeszkód:

Przeszkoda	Tłumienie	Opis
drzewa	10-20 dB	W zależności od wielkości i gęstości ułożenia drzew
ściany	10-15 dB	W zależności od grubości i konstrukcji ściany. Uwaga na kąt przenikania.
stropy	12-27 dB	Od 12 dB dla drewnianych do 27 dB dla żelbetu.

Wykładnik potęgi n dobiera się z zakresu od 2 do 5 w zależności od środowiska.

Środowisko	Tłumienie dodatkowe L_d	Wykładnik potęgi n	Przykład
Wolna przestrzeń	0 dB	2	
Wolna przestrzeń	0 dB	2.5 dla 200 m, 3 dla 400m, 3.5 powyżej 500m	Jezioro, morze
Przestrzeń z drzewami	10-20 dB	3-4	Park
Na zewnątrz budynków	0 dB	4	Ulica w mieście
Wewnątrz bez przeszkód	0 dB	2.5	Sala konferencyjna
Wewnątrz z przeszkodami	0 dB	3.5	Biuro
Wewnątrz z uwzględnieniem ścian i stropów	12-27 dB stropy, 10-15 dB ściany	4-5	Mieszkanie

12.4.3. Teoretyczny zasięg transmisji

Aby możliwa była transmisja moc docierająca do odbiornika musi być większa od jego czułości, zatem:

$$RSL_{[dBm]} \leq P_{TX[dBm]} + G_{TX[dBi]} + G_{RX[dBi]} - L_{[dB]}$$

gdzie:

RSL – czułość odbiornika

Ptx – moc nadajnika

Gtx – zysk energetyczny anteny nadawczej

Grx – zysk energetyczny anteny odbiorczej

L – tłumienie pomiędzy antenami

Przykładowe parametry techniczne bezprzewodowego punktu dostępowego WAP-4000.

Produkt	Bezprzewodowy punkt dostępowy 54 Mbps.		
Antena	1		
Bezpieczeństwo danych	Szyfrowanie 64 / 128 bitowe WEP Wi-Fi Protected Access (WPA) Funkcja SSID Broadcast Disable IEEE 802.1x (MD5 i TLS).		
Częstotliwość	2,4 - 2,4835 GHz		
Czułość	802.11b: 11Mbps(CCK): -72dBm 5,5Mbps(QPSK): -86dBm 1,2Mbps(BPSK): -90dBm 802.11g: 54/48Mbps: -72dBm 36/24Mbps: -76dBm 18Mbps: -82dBm 12Mbps: -86dBm 9Mbps: -89dBm 6Mbps: -90dBm		
Kanały	13 kanałów (Europa)		
Materiał obudowy	Plastik		
Moc wyjściowa	16 - 18 dBm		
Model	WAP-4000		
Modulacja	QPSK / BPSK / CCK		
Porty	1 RJ-45 10/100 Base-TX		
Standardy	IEEE 802.11g - Wireless 54 Mbps IEEE 802.11b - Wireless 11 Mbps IEEE 802.3 - 10 Base-T		
Szybkość transmisji	IEEE 802.11g: 6 / 9 / 12 / 18 / 24 / 36 / 48 / 54 Mbps IEEE 802.11b: 1 / 2 / 5,5 / 11 Mbps .		
Tryby pracy	AP, AP klient, Point to Point, Point to Multipoint, Repeater.		
Typ sygnału	DSSS - (z sekwencyjnym rozpraszaniem widma)		
Warunki pracy	Temperatura: 0 do 55 st.C, Wilgotność: 5 - 65 % bez kondensacji		
Wskaźniki wizualne	Diody LED: Power, Wireless x 2, Wire LNK		
Wymiary	140 x 90 x 40 mm (Sz x Gł x Wys)		
Wzmocnienie anteny	2 dBi		
Zasilanie	Zewnętrzny zasilacz AC 230V / DC 5V 2,4A		
Złącze anteny	SMA męskie (Reversed Polarity SMA)		

Przykład:

Dla danych z powyższej tabeli wyznacz teoretyczny zasięg połączenia w wolnej przestrzeni dla szybkości 54Mbps i 1Mbps. Porównaj zasięgi dla wolnej przestrzeni, dla pomieszczeń biurowych ($n=3.5$) i dla mieszkania z 1 ścianką działową ($n=4.5$, $L_d=10\text{dB}$).

Dane:

a) 54Mbps

RSL = -72 dBm

b) 1 Mbps

RSL = -90 dBm

Dane wspólne:

$P_{tx} = 17 \text{ dBm}$

$G_{tx} = G_{rx} = 2 \text{ dBi}$

$n=2$ (wolna przestrzeń)

a) 54 Mbps – wolna przestrzeń

$$-72 = 17 + 2 + 2 - (40 + 20\log(R))$$

$$-53 = -20\log(R)$$

$$R = 10^{2.65} = \mathbf{450 \text{ m}}$$

b) 1 Mbps – wolna przestrzeń

$$-90 = 17 + 2 + 2 - (40 + 20\log(R))$$

$$-71 = -20\log(R)$$

$$R = 10^{3.55} = \mathbf{3550 \text{ m}}$$

c) 54 Mbps – biuro

$$-72 = 17 + 2 + 2 - (40 + 35\log(R))$$

$$-53 = -35\log(R)$$

$$R = 10^{1.51} = \mathbf{32 \text{ m}}$$

d) 1 Mbps – biuro

$$-90 = 17 + 2 + 2 - (40 + 35\log(R))$$

$$-71 = -35\log(R)$$

$$R = 10^{2.03} = \mathbf{107\ m}$$

e) 54 Mbps – mieszkanie 1 ścianka działowa

$$-72 = 17 + 2 + 2 - (40 + 45\log(R) + 10)$$

$$-43 = -45\log(R)$$

$$R = 10^{0.96} = \mathbf{9\ m}$$

f) 1 Mbps – mieszkanie 1 ścianka działowa

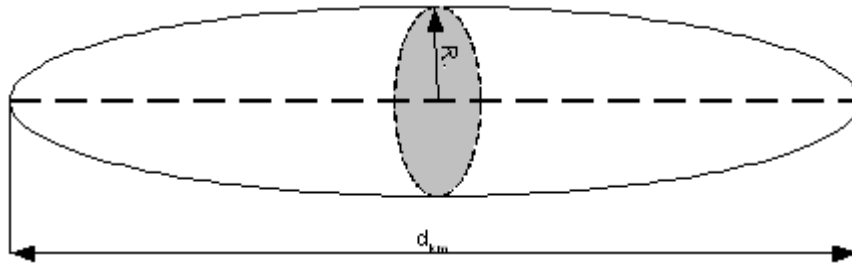
$$-90 = 17 + 2 + 2 - (40 + 45\log(R) + 10)$$

$$-61 = -45\log(R)$$

$$R = 10^{1.36} = \mathbf{23\ m}$$

12.4.4. Strefy Fresnela

Strefa Fresnela (czyt. *frenela*) to obszar aktywnie uczestniczący w przenoszeniu energii sygnału radiowego. Kształt tego obszaru w przekroju wzdłużnym jest elipsą, a w przekroju poprzecznym jest okręgiem. Największe znaczenie ma pierwsza strefa Fresnela, gdyż to właśnie w niej przenoszona jest prawie cała energia sygnału radiowego.



Maksymalną wartość promienia pierwszej strefy Fresnela można obliczyć ze wzoru:

$$R_{F1[m]} = 8.66 \cdot \sqrt{\frac{R_{[m]}}{F_{[MHz]}}}$$

gdzie: R_{F1} promień pierwszej strefy Fresnela w metrach
R odległość anten w metrach
F częstotliwość w MHz

Przykład:

Połączenie między dwoma budynkami odległymi o 100m.

$$R_{F1[m]} = 8.66 \cdot \sqrt{\frac{100_{[m]}}{2450_{[MHz]}}} = 1.75_{[m]}$$

Wynik ten oznacza konieczność zapewnienia braku przeszkód pomiędzy antenami w walcu o średnicy 3,5m oraz umieszczenia anten prawie 2 m nad dachami itd.

12.4.5. Efektywna prędkość transmisji w funkcji odległości

