

Tory Radiowe

Instalacja i dobór anteny

WLAN standardy - przypomnienie

802.11a – standard na pasmo 5 GHz, przepływności do 54 Mbit/s; 5,150 – 5,350 GHz i 5,470 – 5,725 GHz

802.11b – standard na pasmo 2,4 GHz, przepływności do 11 Mbit/s; 2,4 – 2,483 GHz

802.11g – standard na pasmo 2,4 GHz, przepływności do 54 Mbit/s; 2,4 – 2,483 GHz

Jednak w zakresie tej techniki można się spotkać również ze standardami:

802.11f – IAPP – Inter Access Point Protocol – współpraca między punktami dostępowymi

802.11i – standard definiujący nowe metody zabezpieczeń sieci bezprzewodowej

802.11n – standard do transmisji multimediiów w domach. 300 Mbit/s, wykorzystuje techniki MIMO

802.11e – standard definiujący QoS - wsparcie dla jakości usług

802.16 - WiMax standard dla sieci szkieletowych wysokich przepływności

Zasięg sieci bezprzewodowej

Zasięg sieci zależy do:

1. Czynniki związanych z zastosowanymi urządzeniami:

moc wyjściowa urządzenia (podaje producent urządzenia),

tłumienie kabli (podaje producent kabla),

zysk anten (podaje producent anteny),

czułość urządzenia (podaje producent urządzenia),

2. Od czynników zewnętrznych:

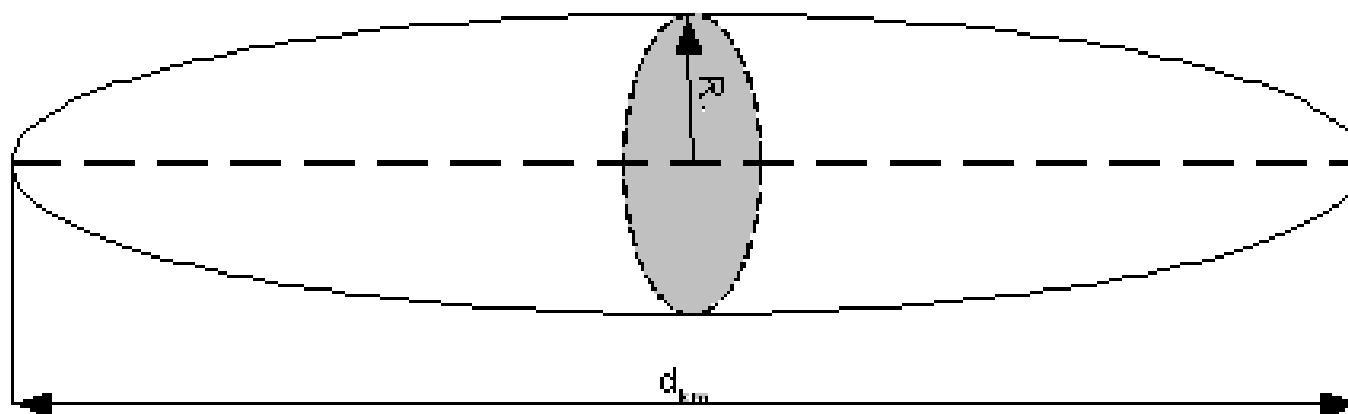
tłumienie między antenami (można oszacować na podstawie modelu FSL);

zakłócenia od innych urządzeń (nie da się ich przewidzieć – należy uwzględnić pewien zapas mocy kompensujący te zakłócenia).

wpływu ewentualnych przeszkód (ścian, stropów, drzew itp.)

Propagacja fal radiowych

Strefa Fresnela (czyt. frenela) to jedno z najważniejszych pojęć pojawiające się w tematyce radiowej z którym koniecznie trzeba się zapoznać. Jest nią obszar aktywnie uczestniczący w przenoszeniu energii sygnału radiowego. Kształt tego obszaru w przekroju wzdłużnym jest elipsą, a w przekroju poprzecznym jest okręgiem. Promień tego okręgu zmienia się na długości całego łącza radiowego i przyjmuje wartość maksymalną w połowie odległości między antenami. Największe znaczenie ma pierwsza strefa Fresnela, gdyż to właśnie w niej przenoszona jest prawie cała energia sygnału radiowego.

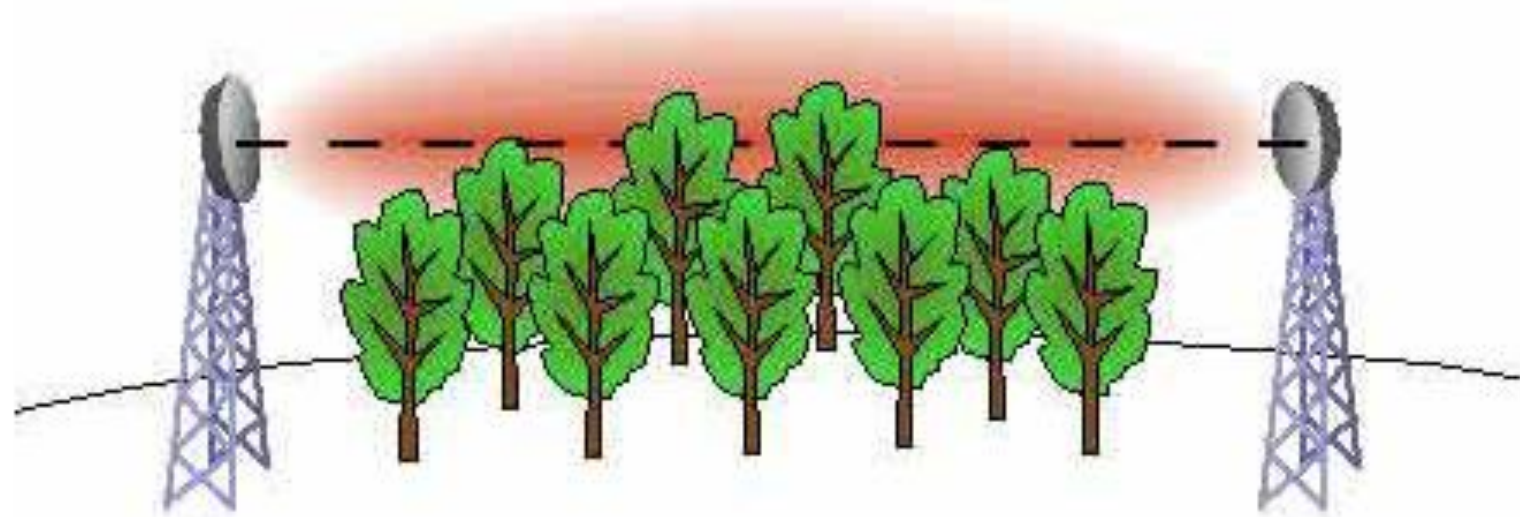


Kształt strefy Fresnela. R_1 jest to promień I strefy.

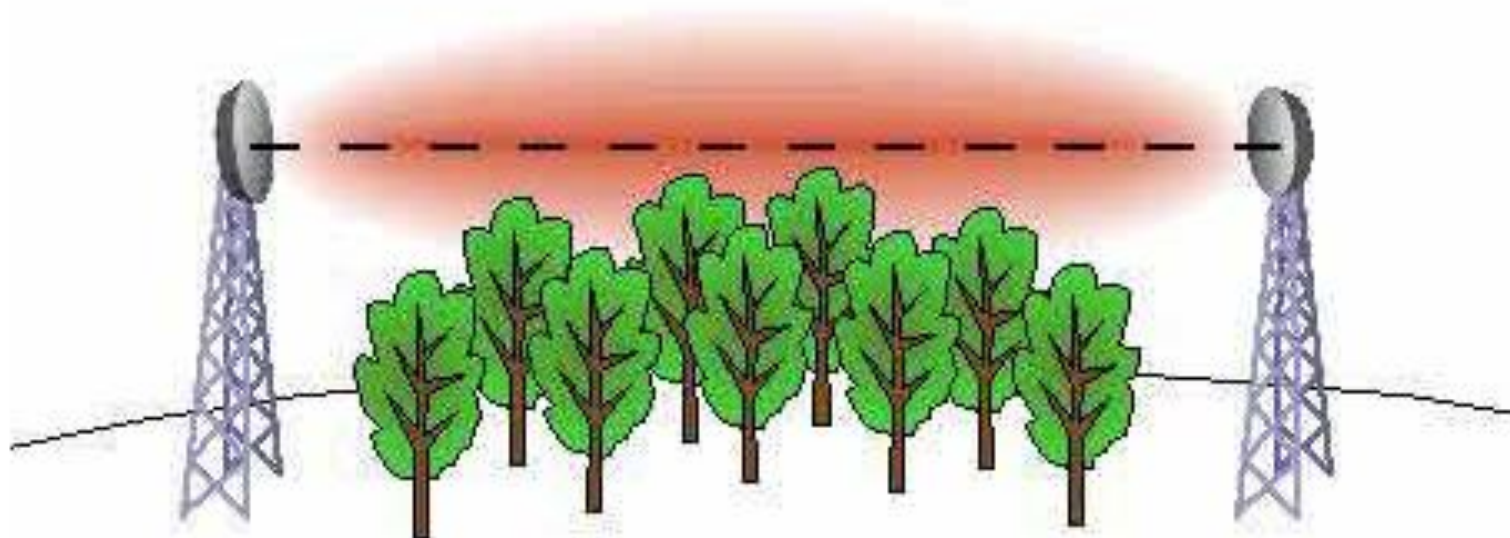
$$R_1 = 17,3 \sqrt{\frac{d_{1km} d_{2km}}{d_{km} f_{GHz}}} \quad [\text{m}] \text{ gdzie:}$$

- $d_{km} = d_{1km} + d_{2km}$, jest to odległość między masztami
- d_{1km} – odległość od pierwszej anteny w km
- d_{2km} – odległość od drugiej anteny w km

PRZYKŁADY ŹLE WYKONANYCH POŁĄCZEŃ

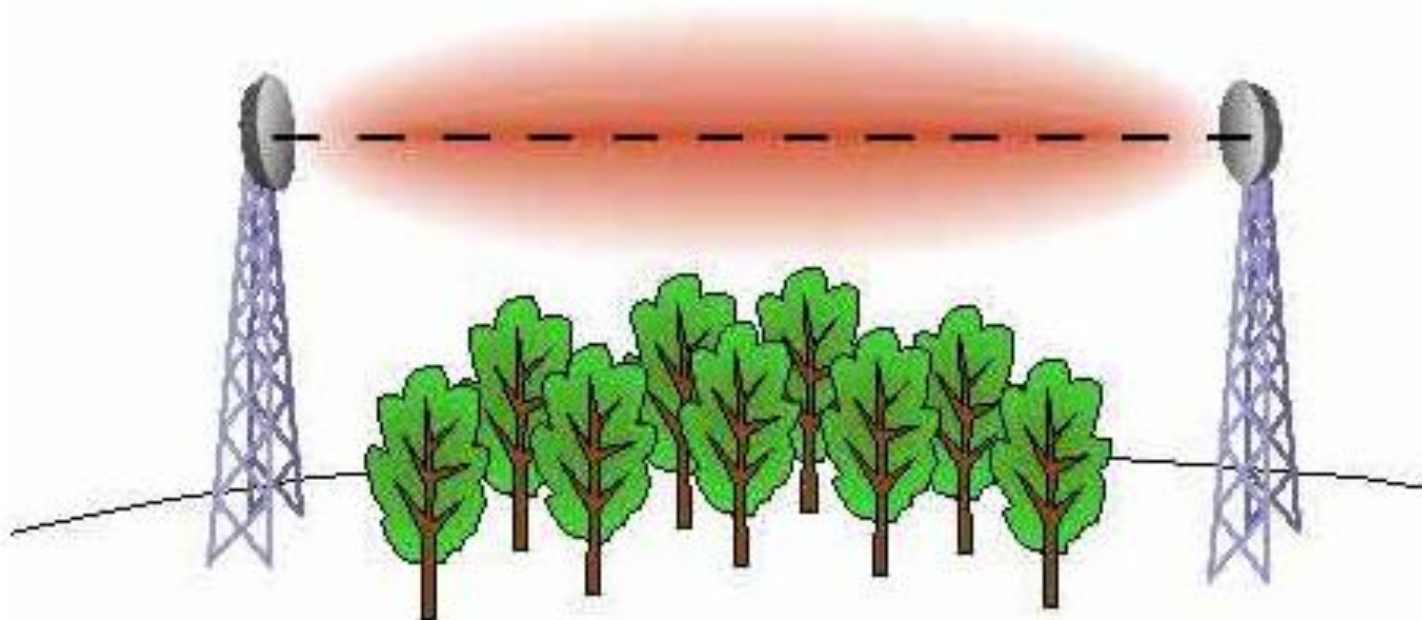


Źle wykonana instalacja. Instalator nie zapewnił widoczności radiowej anten. Łącze nie działa.



Kolejny przykład źle wykonanej instalacji. Obecność przeszkód w pierwszej strefie Fresnela powoduje, że łącze radiowe nadal nie działa.

A POPRAWNIE WYGLĄDA TO TAK...



Instalacja wykonana poprawnie. Widoczność anten i brak przeszkód w pierwszej strefie Fresnela. Łącze zostało zestawione.

UWAGA!!!

**W praktyce zapewnienie czystości 60% I strefy
Fresnela gwarantuje minimalne starty mocy.**

Zależność promienia I strefy Fresnela w funkcji długości łącza radiowego dla systemów działających na częstotliwości 2,4GHz oraz 5GHz.

Długość łącza radiowego [km]	60% promienia I strefy Fresnela [m]	
	2,4GHz	5GHz
0,1	1,1	0,7
0,2	1,5	1,0
0,5	2,4	1,6
1	3,4	2,3
2	4,7	3,3
3	5,8	4,0
4	6,7	4,6
5	7,5	5,2
6	8,2	5,7
7	8,9	6,1
8	9,5	6,6
9	10,1	7,0
10	10,6	7,3

Krzywizna ziemi

W przypadku dystansów wynoszących parę kilometrów i więcej, należy uwzględniać krzywiznę ziemi. Dla dystansu 5 km wysokość przeszkód w środku łącza wzrasta o 1 m, a dla dystansu 10km już o 4 m.

Anteny powinna być zawieszona na wysokości, spełniającej warunek:

$\text{zawieszenie anteny} = \text{wysokość najwyższej przeszkody na torze} + 0,6 R1 + \text{krzywizna ziemi}$

Przy dużych odległościach należy stosować bardziej dokładne metody wyznaczania wysokości zawieszenia anten, bazujące na profilu hipsometrycznym terenu oraz metodach uwzględniających refrakcję wiązki radiowej.

Tłumienie w deszczu i w gazie

Zjawiska te powszechnie uznawane za niekorzystne dla działania systemów radiowych, w praktyce dla systemów WLAN 2,4GHz oraz 5GHz są nieszkodliwe.

Model FSL i tłumienie w wolnej przestrzeni

Największy problem sprawia oszacowanie tłumienia między nadajnikiem a odbiornikiem. Gdy projektujemy łącze zewnętrzne możemy skorzystać z modelu FSL, aby oszacować to tłumienie.

Model FSL to model propagacji w wolnej przestrzeni, który zakłada że:

- między nadajnikiem a odbiornikiem nie ma przeszkód,*
- do odbiornika nie dochodzą fale odbite,*
- nie jest przysłonięta 1 strefa Fresnela,*
- model nie uwzględnia wpływu zaników ani zakłóceń zewnętrznych,*

Tłumienie wolnej przestrzeni jest definiowane jako strata sygnału na skutek sferycznego rozpraszania fal radiowych w przestrzeni.

FSL dla częstotliwości 2,4 GHz dane jest wzorem:

$L_p \text{ (dB)} = 100 + 20\log_{10} D$, gdzie D – odległość

FSL dla częstotliwości 5,4 GHz dane jest wzorem:

$L_p \text{ (dB)} = 106 + 20\log_{10} D$, gdzie D – odległość

Tłumienie w wolnej przestrzeni i reguła 6dB

Sygnał radiowy propagując w przestrzeni ulega osłabieniu, w miarę jak oddala się od anteny nadawczej. Wyznaczenie poziomu tłumienia sygnału radiowego jest kolejnym krokiem w projektowaniu łączy radiowych.

Reguła 6dB mówi, że **dwukrotny przyrost odległości** powoduje **wzrost tłumienia** sygnału o **6dB**, a **dwukrotny spadek odległości** powoduje **spadek tłumienia** sygnału o **6dB**. Prostota tej reguły pozwala na szybkie zapamiętanie zależności tłumienia sygnału radiowego w funkcji odległości.

Wystarczy zapamiętać, że na dystansie 1km w paśmie 2,4GHz tłumienie wynosi 100dB

odległość [km]	tłumienie [dB]	
	2,4GHz	5GHz
0,1	80,4	86,4
0,2	86,4	92,4
0,5	94,4	100,4
1	100,4	106,4
2	106,4	112,4
3	109,9	116,0
4	112,4	118,5
5	114,4	120,4
6	116,0	122,0
7	117,3	123,3
8	118,5	124,5
9	119,5	125,5
10	120,4	126,4

Tłumienie w wolnej przestrzeni i reguła 6dB

Czyli po zastosowaniu reguły 6dB dla 2, 4, 8km otrzymuje się wartości tłumienia: 106, 112, 118dB. Dla odległości 500m, 250m, 125m tłumienie wyniesie: 94, 88, 82dB. Reguła 6dB także stosuje się do pasma 5GHz i innych, przy czym tłumienie w paśmie 5GHz dla odległości 1km wynosi 106dB, czyli widzimy, że reguła 6dB przekłada się także na częstotliwości.

Inne modele propagacyjne

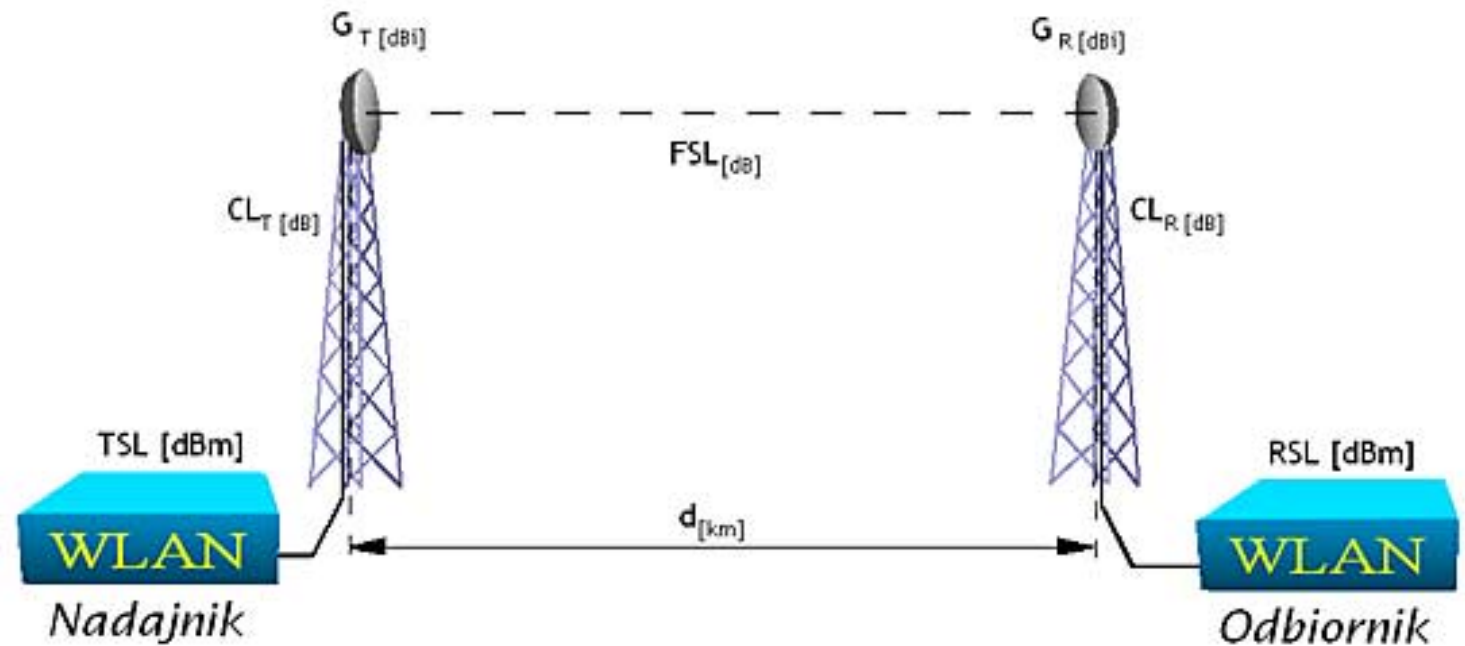
W zastosowaniach profesjonalnych inżynierowie używają bardzo rozbudowanych modeli często opracowywanych do własnych potrzeb:

- model propagacyjny z przesłoniętą strefą Fresnela
- model propagacyjny uwzględniający tłumienie ścian w budynku

Nie jest możliwe wykorzystywanie takich modeli w amatorskich obliczeniach.

Obliczenia RSL

Podstawą do obliczenia zasięgu jest zrobienie bilansu łącza radiowego i obliczenie poziomu odbieranego sygnału RSL:



Składniki bilansu energetycznego

- TSL_{dBm} - poziom sygnału na zaciskach nadajnika (moc nadajnika)
- RSL_{dBm} - poziom sygnału na wejściu odbiornika
- FSL_{dB} - straty sygnału w wolnej przestrzeni
- GT_{dBi} - zysk anteny nadawczej
- GR_{dBi} - zysk anteny odbiorczej
- CL_T - straty sygnału w przewodzie i w złączach
- CL_R - straty sygnału w przewodzie i w złączach

Obliczenia RSL

Nadajnik wysyła sygnał wielkiej częstotliwości do przyłączonego kabla z mocą $TSLdBm$. Sygnał po przejściu do zacisków anteny nadawczej ulega stłumieniu o wartość CLT . Następnie antena wypromieniowuje sygnał i jednocześnie ogniskuje go w kącie połowy mocy, uzyskując w ten sposób efekt wzmocnienia. Po przebyciu odległości d km fala radiowa ulega osłabieniu o $FSLdB$. Antena odbiorcza zamieniając falę elektromagnetyczną na sygnał w.cz. zwiększa jego poziom o $GRdBi$. Sygnał po przejściu przez kabel do odbiornika pojawia się na jego zaciskach przyjmując wartość $RSLdBm$.

$$RSLdBm = TSL - CLT + GTdB - FSL + GRdB - CLR$$

Aby uodpornić się na zjawisko chwilowego spadku mocy sygnału wprowadza się do obliczeń parametr e , tj. margines na zanik. Typowa jego wartość wynosi 10dB.

$$FM = RSL - RSLFM$$

$RSLFM$ jest to poziom odbieranego sygnału w zaniku. Jeżeli chcemy aby $RSLFM = -80dBm$ to wymaga się aby projekt łącza radiowego był wykonany na $RSL = -70dBm$

Naszym celem jest dobranie takich anten, aby uzyskać przez większość czasu wymagany poziom sygnału - 80dBm. Większość urządzeń bezprzewodowych WLAN pracuje wtedy z największą prędkością.

Dobór sprzętu, przykład

Anteny na pasmo 2,4GHz charakteryzują się zyskiem z przedziału od 7dBi do 24dBi. Powszechnie dotychczas stosowanym typem kabla na to pasmo jest H-155 E1170 o tłumienności 49,6dB/100m oraz H-1000 E1192 o tłumienności 21,5dB/100m.

moc nadajnika [dBm]	rodzaj kabla	długość kabla [m]	Zasięg łącza radiowego [km]								
			0,5	1	2	3	4	6	8	10	15
16	H-155	3	11,38	17,38	23,38	26,88	29,38	32,98	35,48	37,38	40,88
		7	15,34	21,34	27,34	30,84	33,34	36,94	39,44	41,34	44,84
		15	23,28	29,28	35,28	38,78	41,28	44,88	47,38	49,28	52,78
	H-1000	3	9,79	15,79	21,79	25,29	27,79	31,39	33,89	35,79	39,29
		7	11,65	17,65	23,65	27,15	29,65	33,25	35,75	37,65	41,15
		15	15,36	21,36	27,36	30,86	33,36	36,96	39,46	41,36	44,86
18	H-155	3	9,38	15,38	21,38	24,88	27,38	30,98	33,48	35,38	38,88
		7	13,34	19,34	25,34	28,84	31,34	34,94	37,44	39,34	42,84
		15	21,28	27,28	33,28	36,78	39,28	42,88	45,38	47,28	50,78
	H-1000	3	7,79	13,79	19,79	23,29	25,79	29,39	31,89	33,79	37,29
		7	9,65	15,65	21,65	25,15	27,65	31,25	33,75	35,65	39,15
		15	13,36	19,36	25,36	28,86	31,36	34,96	37,46	39,36	42,86
20	H-155	3	7,38	13,38	19,38	22,88	25,38	28,98	31,48	33,38	36,88
		7	11,34	17,34	23,34	26,84	29,34	32,94	35,44	37,34	40,84
		15	19,28	25,28	31,28	34,78	37,28	40,88	43,38	45,28	48,78
	H-1000	3	5,79	11,79	17,79	21,29	23,79	27,39	29,89	31,79	35,29
		7	7,65	13,65	19,65	23,15	25,65	29,25	31,75	33,65	37,15
		15	11,36	17,36	23,36	26,86	29,36	32,96	35,46	37,36	40,86

Tabela doboru zysków anten, gdy dana jest długość łącza, parametr nadajnika oraz typ i długość kabli

Dobór sprzętu do wartości EIRP

Czy stosując antenę o dowolnym zysku energetycznym nie łamiemy prawa? Należy podkreślić, że przepisy nie podają informacji o istnieniu granicznej wartości zysku, której przekroczenie jest niedozwolone.

Dlaczego więc jedna osoba może mieć antenę o zysku 15 dBi, podczas gdy inna po instalacji anteny o zysku 10 dBi już łamie prawo?

Dlaczego, niektóre firmy podają w świadectwach zgodności antenę o zysku 15dBi, podczas gdy inne anteny o zysku 10 dBi?

Odpowiedź na to pytanie wynika wprost z jednego z paragrafów rozporządzenia Ministra Infrastruktury, dotyczącego maksymalnej dopuszczalnej wartości promieniowanej mocy EIRP. Bez pozwolenia radiowego można używać instalacji radiowych nieprzekraczających wartości EIRP 100mW, czyli 20dBm dla pasma 2,4 GHz, 200mW dla pasma 5,150-5,250GHz oraz 1 W (30 dBm) dla pasma 5,47 – 5,725 GHz.

Dobór sprzętu do wartości EIRP

Tę samą moc EIRP można uzyskać na wiele sposobów:

$EIRP[dB] = \text{Moc nadajnika dBm} - (\text{tłumienie złączy dB} + \text{tłumienie kabla dB}) + \text{zysk anteny dBi}$
 $\leq 20dBm$ (dla 2,4 GHz)

$EIRP[dB] = \text{Moc nadajnika dBm} - (\text{tłumienie złączy dB} + \text{tłumienie kabla dB}) + \text{zysk anteny dBi}$
 $\leq 30dBm$ (dla 5 GHz)

Aby nie przekroczyć granicznej wartości EIRP, należy dobrać stosowne parametry:

- moc nadajnika,
- rodzaj kabla, jego długości
- zysk anten.

UWAGA

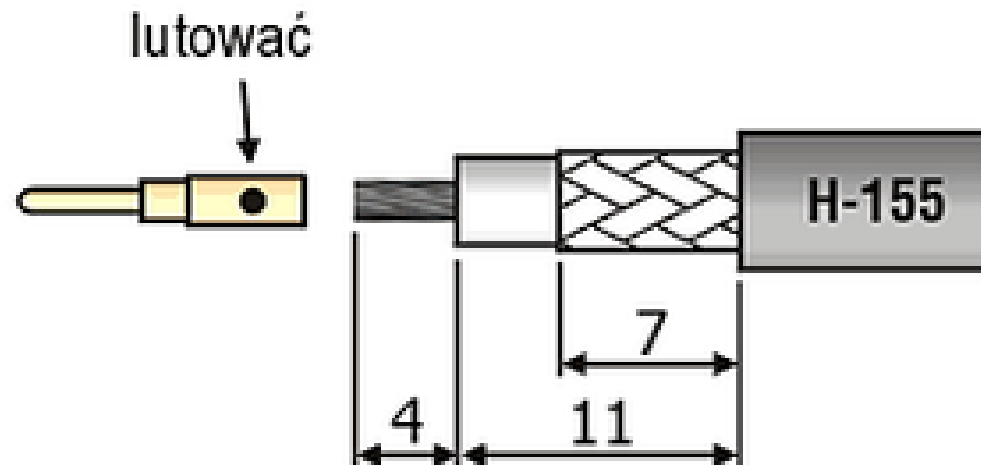
Trzeba zauważyć, że znacznie korzystniejsze jest użycie nadajnika o mniejszej mocy z anteną o większym zysku niż nadajnika o dużej mocy i anteny o małym zysku. Dlaczego ? Otóż z punktu widzenia bilansu łączy w dowolny sposób można uzyskać żądany poziom mocy promieniowanej, ale stacja bazowa jest nie tylko nadajnikiem, ale również odbiornikiem, a wówczas, gdy odbiera sygnał od klienta, nie ma znaczenia jaką ma moc, tylko liczy się jej czułość oraz zysk anteny. Tak więc zysk anteny “liczy się” zarówno podczas nadawania jak i odbioru, a moc nadajnika tylko podczas nadawania.

Osobną kwestią jest wykorzystywana moc promieniowana. Zwykle wydaje się, że im większa tym lepsza. A tymczasem, wcale nie jest to prawdą. Zawsze należy nadawać z mocą optymalną, dostosowaną do rozmieszczenia klientów. Zbyt duża moc nadawana to niepotrzebne wysyłanie swojego sygnału poza obszar naszej działalności. Przez to możemy zakłócać sieci, które działają w dalszej odległości. Będziemy też narażać się na ataki na naszą sieć przez osoby znajdujące się w oddali, trudne wówczas do zlokalizowania.

Zyski anten klienckich również powinny być dobrane optymalnie. Klient, który posiada bardzo mocną antenę, a stację bazową ma blisko, oczywiście będzie miał mocny sygnał ze swojej anteny, ale jednocześnie podczas nadawania może zakłócać inne sieci, nawet w dużej odległości, ale poza tym będzie on “widzieć” te sieci, co za tym idzie będzie widział je jako dodatkowy szum (większy szum to większa liczba błędów i mniejsza prędkość transmisji) lub też będzie współdzielił z nimi medium transmisyjne – co zaowocuje mniejszą prędkością. Stacje, z mniejszymi antenami, będą widziały tylko swoją stację i nie będą miały takich problemów.

Złącza

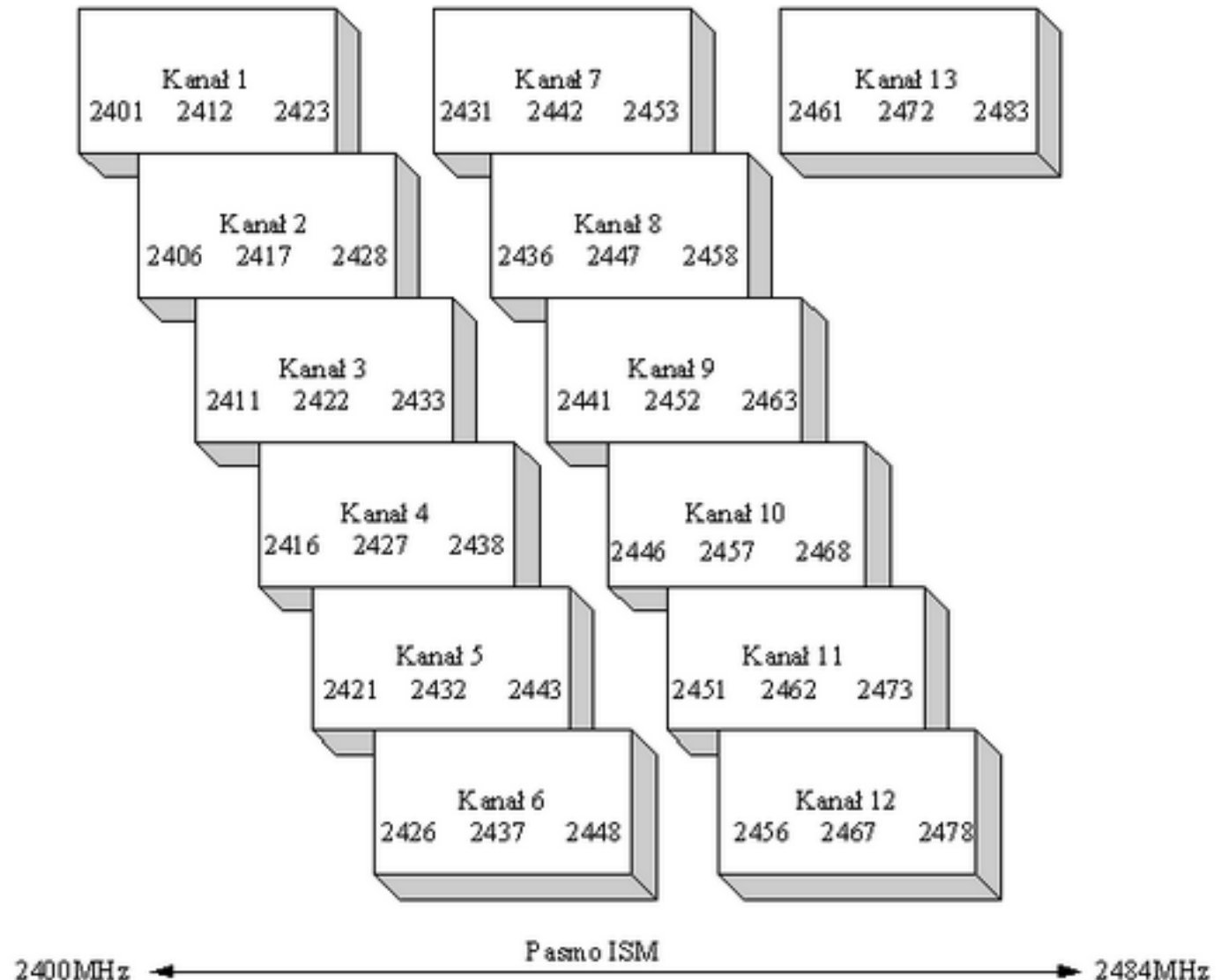
Większość urządzeń WLAN wyposażana jest w złącze SMA/RP, podczas gdy anteny zewnętrzne mają złącza N. Stosując kabel H-155 z jednej strony należy go zakończyć wtykiem SMA/RP a z drugiej strony odpowiednim wtykiem męskim lub żeńskim w zależności od anteny. Jeżeli nie posiadamy zaciskacza, powinniśmy wybrać wtyk zakręcany. Preferowane są jednak złącza zaciskane ze względu na ich solidność.



Sposoby zarabiania kabli można znaleźć [tutaj](#). Po przygotowaniu kabla należy pocynować wewnętrzną żyłę, a następnie nałożyć końcówkę, grzejąc ją lutownicą w czasie nakładania.

Dobór kanału radiowego

Pasmo 2,4 GHz składa się z 13 kanałów, z czego tylko 3 kanały są niezależne od siebie. Oznacza to, że w danym miejscu mogą pracować co najwyżej tylko trzy sieci WLAN.



Rozmieszczenie kanałów paśmie 2,4GHz. Z 13 kanałów tylko trzy kanały się nie nakładają: np.: 1,7,13; 1,6,11; 1,6,12, 1,6,13

Dobór polaryzacji

Istnieją dwie popularne odmiany polaryzacji: kołowa i liniowa. Polaryzacja kołowa oznacza, że koniec wektora natężenia pola elektrycznego zakreśla w przestrzeni koło. Polaryzacja kołowa może być albo prawoskrętna, albo lewoskrętna. Systemy radiowe o polaryzacji prawoskrętnej nie oddziałują na systemy o polaryzacji lewoskrętnej.

Polaryzacje kołowe: prawoskrętna i lewoskrętna

W przypadku polaryzacji liniowej wektor natężenia pola elektrycznego drga tylko w jednej płaszczyźnie. Jest to płaszczyzna albo pozioma, albo pionowa.

Systemy radiowe o polaryzacji poziomej nie oddziałują na systemy o polaryzacji pionowej. Są to bowiem polaryzacje ortogonalne. Cecha ta pozwala podwoić ilości systemów radiowych występujących w jednym miejscu.

Uwaga

Nie wolno używać anten o polaryzacjach ortogonalnych w zestawianym łączy radiowym, tzn. nie wolno, aby po jednej stronie łączy instalator użył anteny o polaryzacji poziomej, a po drugiej stronie łączy anteny o polaryzacji pionowej.

Jeśli chodzi o możliwość współpracy anten o polaryzacji kołowej z antenami o polaryzacji liniowej, to jest to możliwe ale traci się wtedy 3dB na mocy sygnału.

Szumy

Szumy są niepożądanymi sygnałami radiowymi, których nasilenie może prowadzić do pogorszenia pracy łącza radiowego, a nawet do jego całkowitego unieruchomienia.

Nawet dobrze zbilansowane łącze radiowe może okazać się bezużyteczne na skutek obecności wysokiego poziomu szumów. Na wartość poziomu szumów projektant nie ma wpływu.

Czy można więc się bronić przed szumami?

Najprostszym sposobem obrony przed szumami jest zestawienie połączenie na innym kanale radiowym. Innym sposobem jest dobranie anten o większym zysku, aby poprawić stosunek sygnału do szumu (SNR – signal noise ratio).

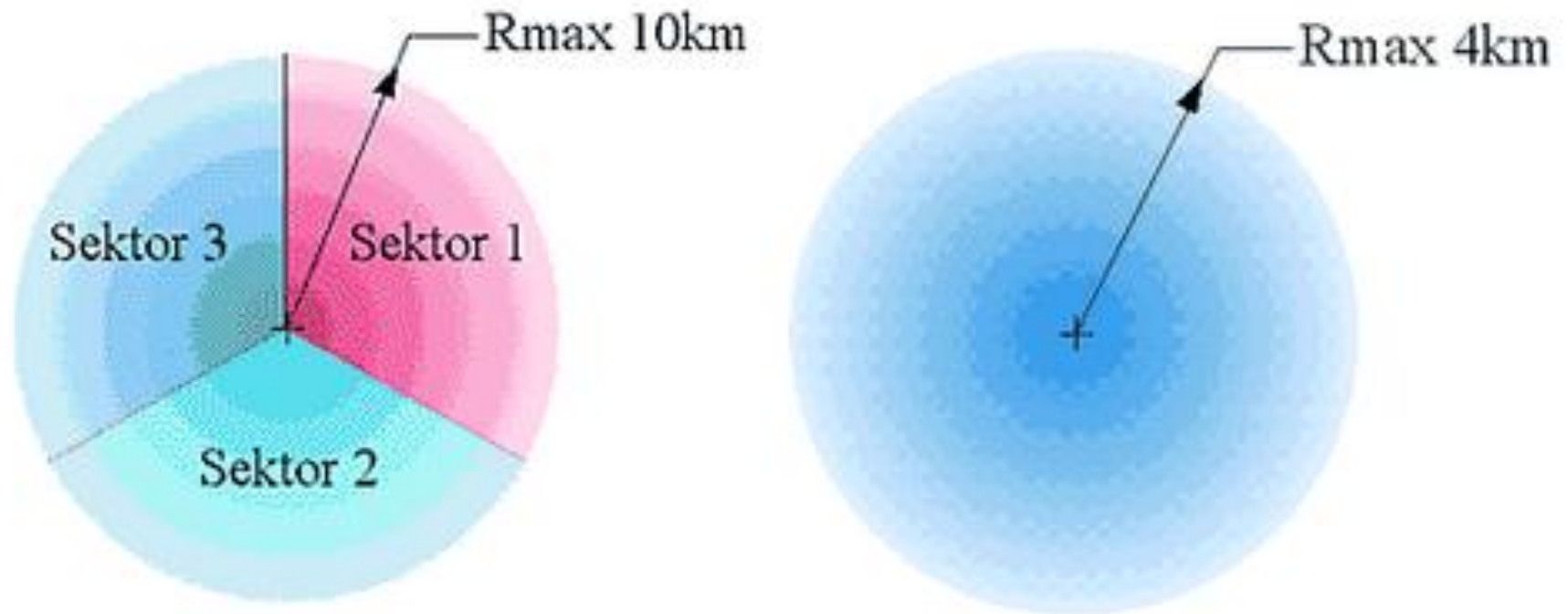
Tryby pracy punktu dostępowego

Punkt dostępowy (access point) może pracować w kilku różnych trybach. Każdy tryb charakteryzuje się obsługą specyficznych urządzeń

Tryb pracy punktu dostępowego	Obsługa sieci LAN (ilość obsługiwany komputerów)	Obsługa klientów wyposażonych w karty radiowe	Współpraca z punktami dostępowymi
Bezprzewodowy most	tak	nie	Bezprzewodowy most
Most wielokrotny	tak	nie	Bezprzewodowy most
Repeater	nie	tak	Punkt dostępowy
Punkt dostępowy	tak	tak	Przełącznik, klient punktu dostępowego
Klient punktu dostępowego	tak	nie	Punkt dostępowy

Budowanie komórek WLAN i świadczenie usług

Istnieje kilka możliwości pokrywania obszaru sygnałem radiowym WLAN. Wszystko zależy od tego jakie chcemy uzyskać zasięgi i pojemności.



Sposoby pokrywania terenu sygnałem radiowym komórka sektorowa i komórka dookólna

W przypadku a) mamy teren pokryty za pomocą trzech AP i trzech anten sektorowych.

Każdy AP używa innej częstotliwości.

W przypadku b) mamy jeden AP z zastosowaną jedną anteną dookólną.

System a) obejmuje 6 razy większy obszar niż obszar b) i 3 razy większą ilość abonentów.

Koszt przyłączenia abonenta w obu systemach będzie zależeć od odległości abonenta od stacji bazowej. Abonenci, którzy znajdują się bliżej stacji bazowej będą wyposażani w anteny o małym zysku, a co za tym idzie o małym koszcie.

Rozmiar komórki powinien zostać tak dobrany, aby dla danej gęstości zaludnienia terenu oraz spodziewanej penetracji rynku w pełni wykorzystać możliwości stacji bazowej.

W praktycznych realizacjach rozmiar komórki jest ograniczony przez ukształtowanie terenu oraz występujące przeszkody np. drzewa, kominy, budynki.

Problemy z sieciami WLAN.

Przyczyny braku łączności		Rozwiązanie
1.	Przeszkody w I strefie Fresnela	Zastosować wyższe maszty, zmienić lokalizację anten
2.	Źle obliczony bilans energetyczny łącza, źle dobrany sprzęt	Użyć przewodów o niższym tłumieniu, np. zamiast H-155 wykorzystać H-1000, zastosować anteny o większym zysku
3.	Zła polaryzacja anten	Dobrać anteny o takiej samej polaryzacji
4.	Źle ustawione anteny	Wykorzystać miernik poziomu sygnału podczas instalowania anten. Ustawić anteny w położeniu, w którym odbierany sygnał ma największą moc
5.	Wysoki poziom zakłóceń interferencyjnych, szumy	Wybrać kanał radiowy o najmniejszym poziomie szumów, zmienić polaryzację łącza na przeciwną, zastosować anteny o wyższym zysku energetycznym. W ostateczności zmienić lokalizację anten

Problemy z sieciami WLAN.

Nieprawidłowa praca systemu radiowego		Diagnoza	Rozwiązanie
A.	Zrywanie połączeń i niska prędkość łącza radiowego	Niska wartość parametru SNR	Punkty 1-5 w poprzedniej tabelce
B.	Niski transfer ze stacji bazowej, przy łączu radiowym pracującym z prędkością maksymalną	Częste kolizje	Włączyć klientom mechanizm RTS/CTS

KONIEC...



W razie pytań – pytajcie Chuck'a