



INSTYTUT ŁĄCZNOŚCI

PAŃSTWOWY INSTYTUT BADAWCZY

Zakład Systemów Radiowych (Z-1)

**Badanie rozchodzenia się fal radiowych wewnątrz budynków.
Opracowanie metody prognostycznej przydatnej w praktyce
wykorzystując istniejące wyniki badań**

**Etap 2:
Pomiary**

Praca nr 01300085

Warszawa, grudzień 2005

Badanie rozchodzenia się fal radiowych wewnątrz budynków. Opracowanie metody prognostycznej przydatnej w praktyce wykorzystując istniejące wyniki badań

Etap 2: Pomiary

Praca nr 01300085

Autorzy sprawozdania: Andrzej Dusiński,
Krzysztof Kaczan,

Słowa kluczowe: mikrofałe, sieć bezprzewodowa, budynek, projektowanie

Kierownik pracy: inż. Andrzej Dusiński
Wykonawcy pracy: inż. Andrzej Dusiński,
inż. Krzysztof Kaczan,
mgr inż. Przemysław Socha,
st. prog. Ewa Wielowieyska

Kierownik Zakładu: mgr inż. Aleksander Orłowski.

Spis treści

| | | |
|----------|-----------------------------------------|-----------|
| <i>1</i> | <i>Wprowadzenie</i> | <i>4</i> |
| <i>2</i> | <i>Cel pomiarów</i> | <i>4</i> |
| <i>3</i> | <i>Dane techniczne sprzętu</i> | <i>5</i> |
| <i>4</i> | <i>Zakres pomiarów</i> | <i>6</i> |
| <i>5</i> | <i>Opis przeprowadzonej kalibracji.</i> | <i>6</i> |
| <i>6</i> | <i>Pomiary na korytarzu.</i> | <i>9</i> |
| <i>7</i> | <i>Pomiary w pomieszczeniach</i> | <i>13</i> |
| <i>8</i> | <i>Omówienie wyników pomiarów</i> | <i>17</i> |
| | <i>Literatura</i> | <i>19</i> |

1 Wprowadzenie

Rozchodzenie się fal wewnątrz budynku jest złożone, ponieważ wiele obiektów może rozpraszać, powodować dyfrakcję, odbicia i pochłaniać energię fal radiowych. Podstawowymi przeszkodami stojącymi na drodze fal radiowych w budynkach są przede wszystkim stałe elementy wnętrza budynków, a mianowicie ściany, sufity, podłogi czy stropy. Mogą się one zachowywać jak przeszkody tłumiące bądź rozpraszające fale radiowe. Uzupełnieniem tych przeszkód jest dodatkowe wyposażenie wnętrza pomieszczeń.

Przy projektowaniu bezprzewodowych sieci dostępowych pracujących w budynkach korzysta się z różnego rodzaju metod obliczeniowych, które bądź są mało dokładne bądź są czasochłonne i przy tym drogie.

Pomiary propagacyjne są wykorzystywane jako element wspomaganie prognozowania zasięgów sieci oraz jako przyczynek do prac nad doskonaleniem metod pomiarowych.

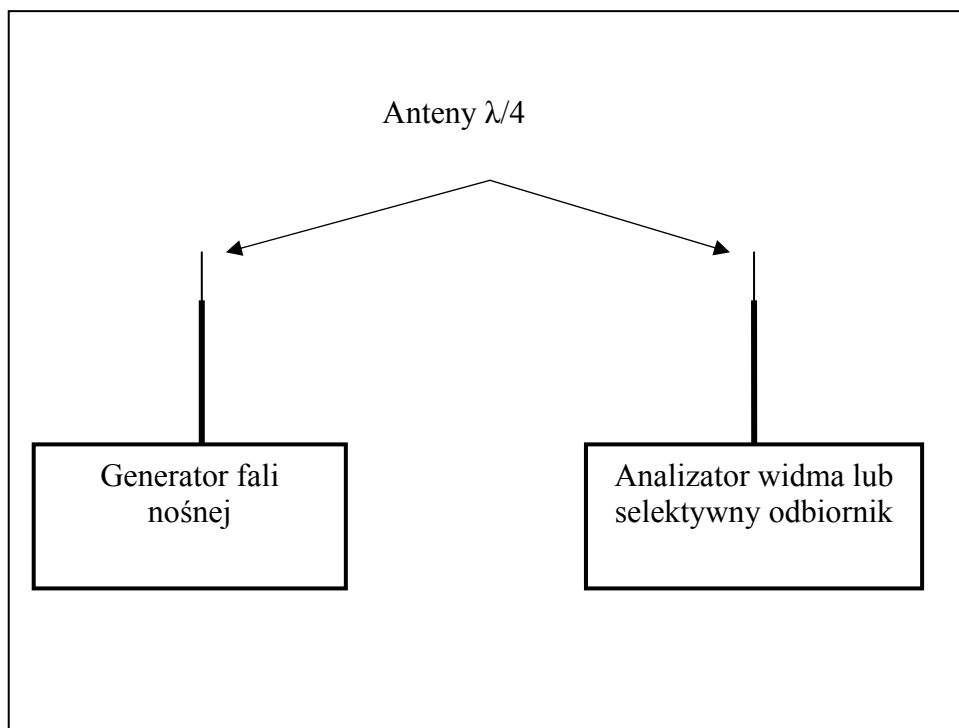
Pomiary przeprowadzane są przez różne ośrodki badawcze i instytucje sprzedające urządzenia radiowe i instalujące sieci bezprzewodowe. Programy pomiarów wykazują również dużą skalę złożoności od najprostszych, polegających na badaniu rozkładów natężenia pola, aż po skomplikowane pomiary badania tychże rozkładów w połączeniu z badaniami przepływności i jednoczesnym sprawdzaniem metody obliczeniowej, [4].

O tłumieniu fal wewnątrz budynków decydują materiały, z których zrobione są przeszkody. Głównie chodzi tu o materiały budowlane i wyposażenia wnętrza. Zatem przy tej okazji warto wspomnieć o pomiarach własności elektrycznych tych materiałów. Takie pomiary były, m.in. przeprowadzone przez firmę Magis Networks, Inc. w USA w 2002 r. Dla porównania przeprowadzono pomiary dla częstotliwości z pasma 2,4 GHz i 5 GHz. W wyniku tych pomiarów, przeprowadzanych w komorze bezechowej, ustalono między innymi, że istnieją niewielkie różnice w tłumieniu materiałów budowlanych dla obu pasm częstotliwości, [2].

W planowaniu opisywanych dalej pomiarów wzorowano się między innymi na pomiarach przedstawionych w [1]. Pomiary te przeprowadzono na pojedynczych częstotliwościach z pasm 2,4 i 5 GHz w budynku typowym dla Krzemowej Doliny w USA. Po wykonaniu pomiarów określono charakterystyki zmian tłumienia w funkcji odległości. Badano zjawisko dyfrakcji, stwierdzając, że wymaga ono pomiarów na większej liczbie przeszkód zróżnicowanych pod względem rozmiarów i rodzajów materiałów.

2 Cel pomiarów

Celem pomiarów przeprowadzonych było zdobycie doświadczenia w przeprowadzaniu tego typu pomiarów, które w przyszłości mogą być wykorzystywane zarówno do badań propagacyjnych w budynkach jak również jako usługa w ramach planowania sieci dostępowych bądź ich monitorowania. Pomiary przeprowadzono na dwóch częstotliwościach: 2,442 i 5,6 GHz z udziałem generatora sygnałowego, analizatora widma i anten ćwierćfalowych, rys.1.



Rys. 1 Schemat pomiarów

3 Dane techniczne sprzętu

Dla częstotliwości 2442 MHz.

Tor nadawczy składał się z:

- generatora sygnałowego SMIQ 06B firmy Rohde&Schwarz, wytwarzającego niemodulowany sygnał o częstotliwości $f_{N2} = 2442$ MHz i mocy wyjściowej $P_{G2} = 10$ dBm,
- przewodu współosiowego o długości 10 m i tłumieniu na częstotliwości 2442 MHz równym $T_{N2} = 5,4$ dB,
- dookólnej anteny $\lambda/4$ o zysku $G_{N2} = -7,0$ dBi,
- złącz o łącznym tłumieniu $T_{ZN2} = 0,1$ dB.

Tor odbiorczy składał się z:

- analizatora widma FSU 46 firmy Rohde&Schwarz, nastawy filtrów RBW/VBW = 10 Hz,
- przewodu współosiowego o długości 10 m i tłumieniu na częstotliwości 2442 MHz równym $T_{O2} = 5,2$ dB,
- dookólnej anteny $\lambda/4$ o zysku $G_{O2} = -3,8$ dBi,
- złącz o łącznym tłumieniu $T_{ZO2} = 0,1$ dB.

Dla częstotliwości 5600 MHz:

Tor nadawczy składał się z:

- generatora sygnałowego SMIQ 06B firmy Rohde&Schwarz, wytwarzającego niemodulowany sygnał o częstotliwości $f_{N5} = 5600$ MHz i mocy wyjściowej $P_{G5} = 10$ dBm,
- przewodu współosiowego o długości 10 m i tłumieniu na częstotliwości 5600 MHz równym $T_{N5} = 11,0$ dB,
- dookólnej anteny $\lambda/4$ o zysku $G_{N5} = -2,2$ dBi,
- złącz o łącznym tłumieniu $T_{ZN5} = 0,5$ dB;

Tor odbiorczy składał się z:

- analizatora widma FSU 46 firmy Rohde&Schwarz, nastawy filtrów RBW/VBW = 10 Hz,
- przewodu współosiowego o długości 10 m i tłumieniu na częstotliwości 2442 MHz równym $T_{O5} = 11,3$ dB,
- dookólnej anteny $\lambda/4$ o zysku $G_{O5} = -3,5$ dBi,
- złącz o łącznym tłumieniu $T_{ZO5} = 0,5$ dB.

4 Zakres pomiarów

W ramach pomiarów wyznaczono:

- zyski anten wykonanych na potrzeby pracy,
- rozkład tłumienia z odległości 1 m,
- rozkład tłumienia wzdłuż korytarza na drugim piętrze budynku głównego IŁ,
- rozkład tłumienia w czterech różnych pomieszczeniach zlokalizowanych w budynku głównym IŁ.

W obliczeniach wykorzystano następujące wzory:

$$T_2 [\text{dB}] = P_{G2} - P_{O2} - T_{N2} + G_{N2} - T_{ZN2} - T_{O2} + G_{O2} - T_{ZO2} \quad (1)$$

$$T_5 [\text{dB}] = P_{G5} - P_{O5} - T_{N5} + G_{N5} - T_{ZN5} - T_{O5} + G_{O5} - T_{ZO5} \quad (2)$$

gdzie P_{O2} oraz P_{O5} jest zmierzonym poziomem mocy odpowiednio na częstotliwości 2442 MHz oraz 5600 MHz, a T_2 oraz T_5 jest wyznaczoną wartością tłumienia odpowiednio na częstotliwości 2442 MHz oraz 5600 MHz.

Pomiary wykonywano z nieruchomym punktem odbiorczym a ruchomym nadawczym.

Odległości od nadajnika do odbiornika były oszacowane z planów budynku, rys.2.

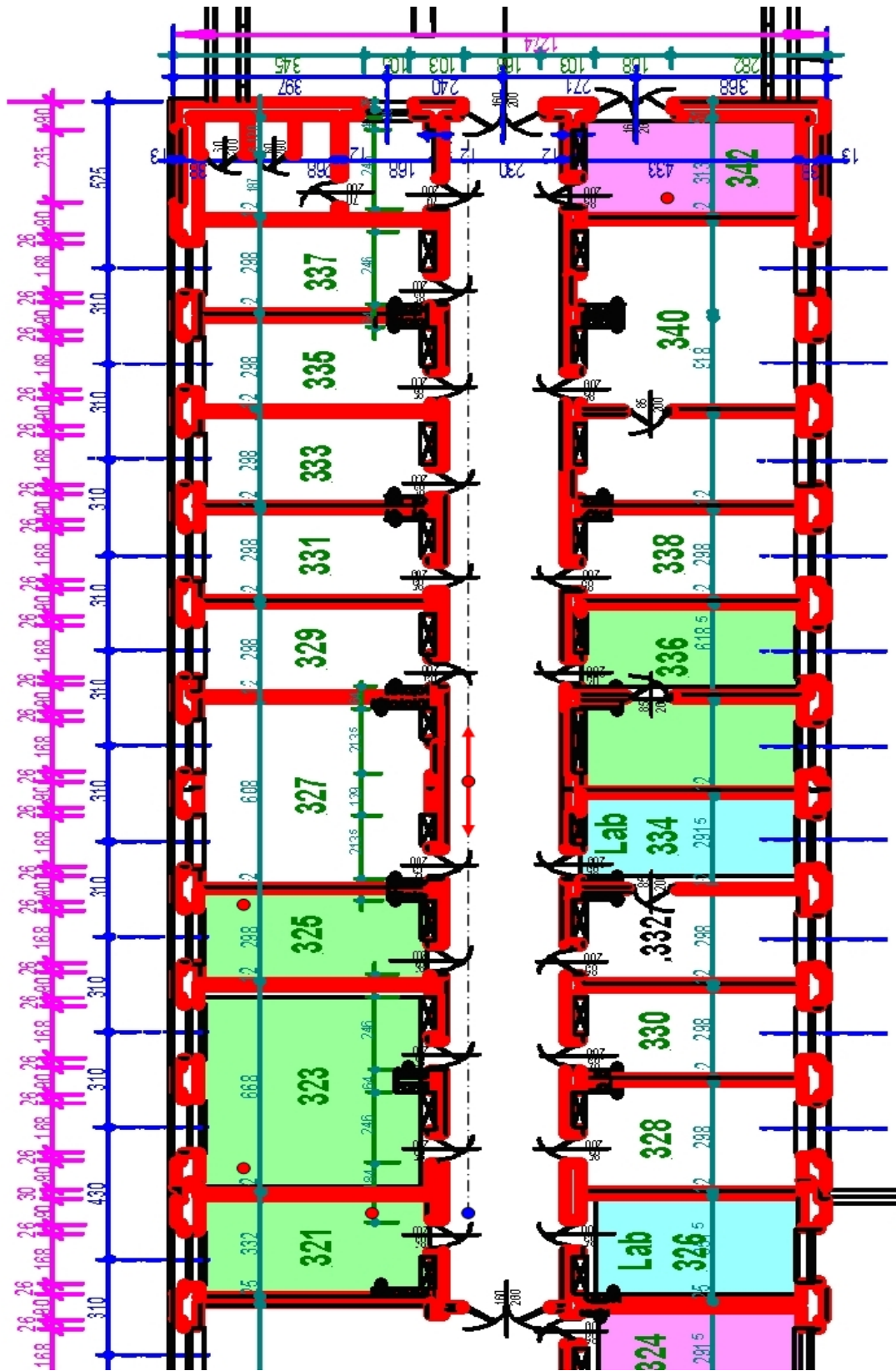
5 Opis przeprowadzonej kalibracji.

Pomiary kalibracyjne przeprowadzano na małej odległości: $0,6 \pm 0,05$ i $1,2 \pm 0,05$ m w celu uniknięcia wpływu efektów wielodrogowości.

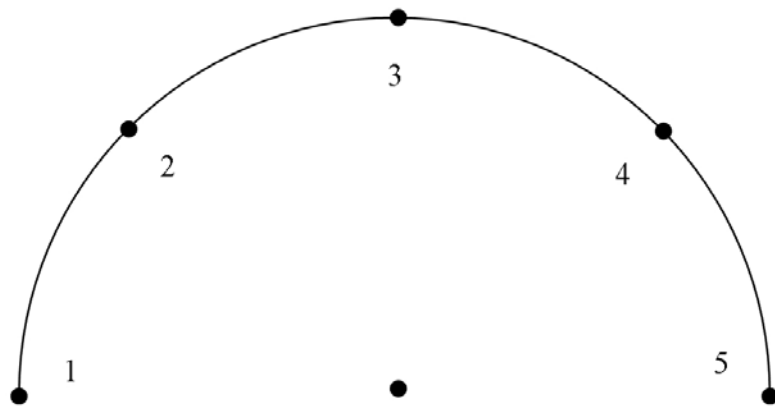
Pomiary kalibracyjne wykonane zostały przy ścianie, na korytarzu drugiego piętra budynku głównego IŁ, na częstotliwościach 2442 MHz oraz 5600 MHz.

Lokalizacja anteny nadawczej: środek okręgu o promieniu 1 m, na wysokości 0,9 m.

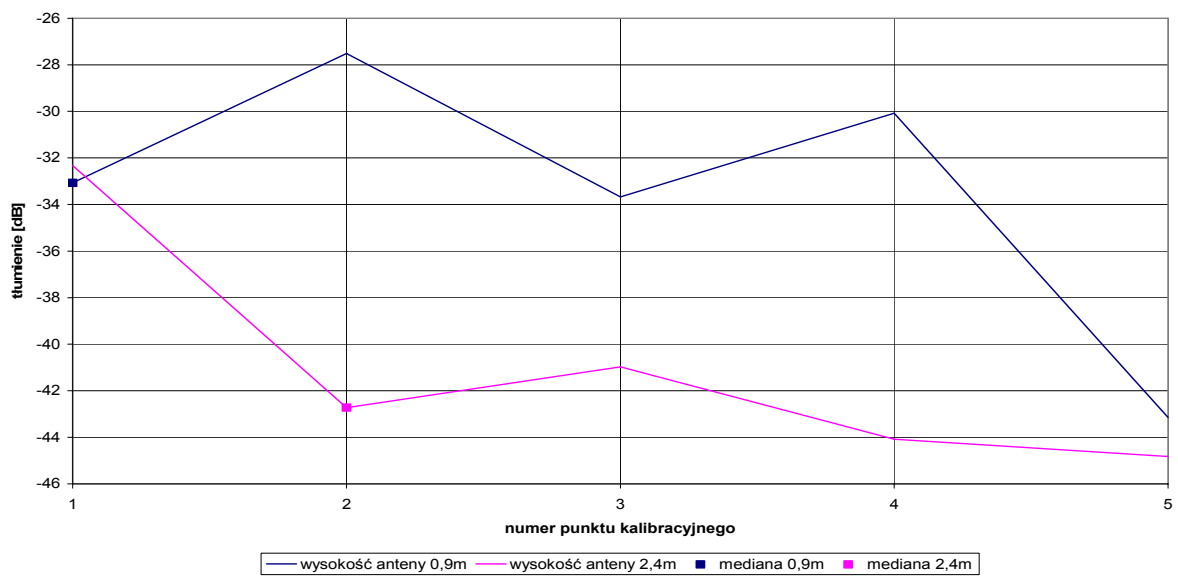
Lokalizacja anteny odbiorczej: pięć różnych punktów w równej odległości od siebie, umieszczonych na półokręgu o promieniu 1 m; wysokość anteny 0,9 m oraz 2,4 m.



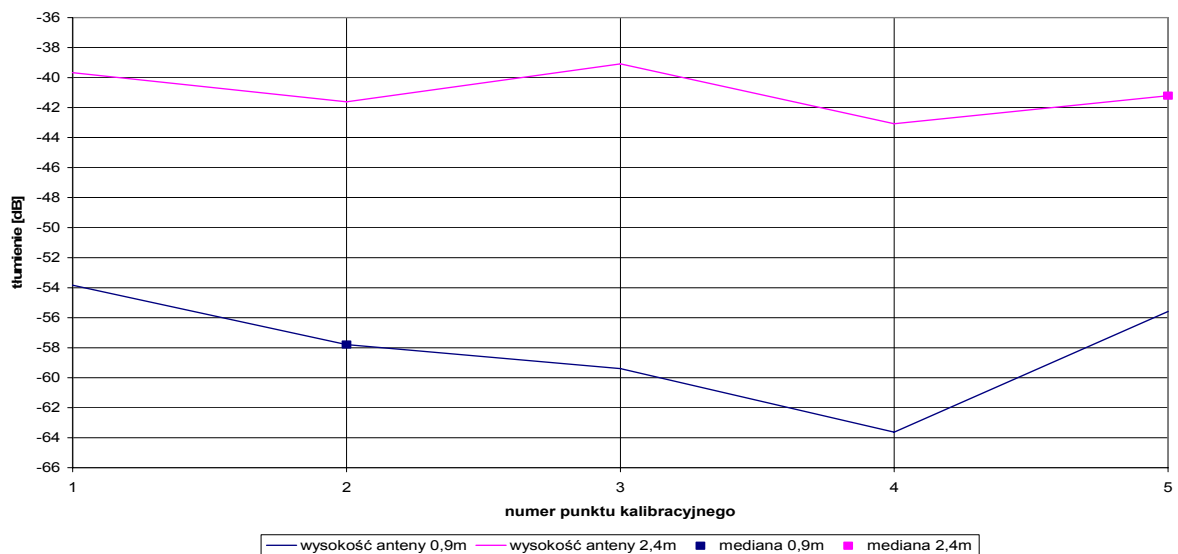
Rys.2. Plan budynku



Rys. 3 Rozmieszczenie punktów kalibracyjnych



Rys. 4 Kalibracja na częstotliwości 2442 MHz



Rys. 5 Kalibracja na częstotliwości 5600 MHz

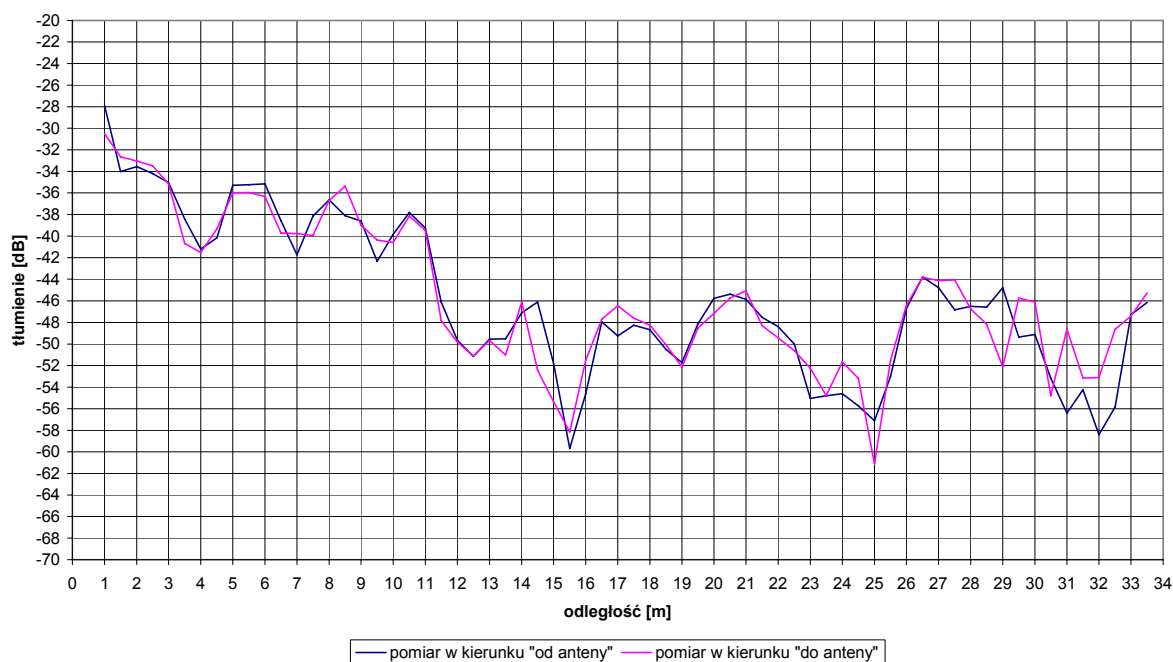
6 Pomiary na korytarzu.

Pomiary wykonano na drugim piętrze budynku głównego IŁ, skrzydle zawierającym pokoje o numerach od 321 do 342.

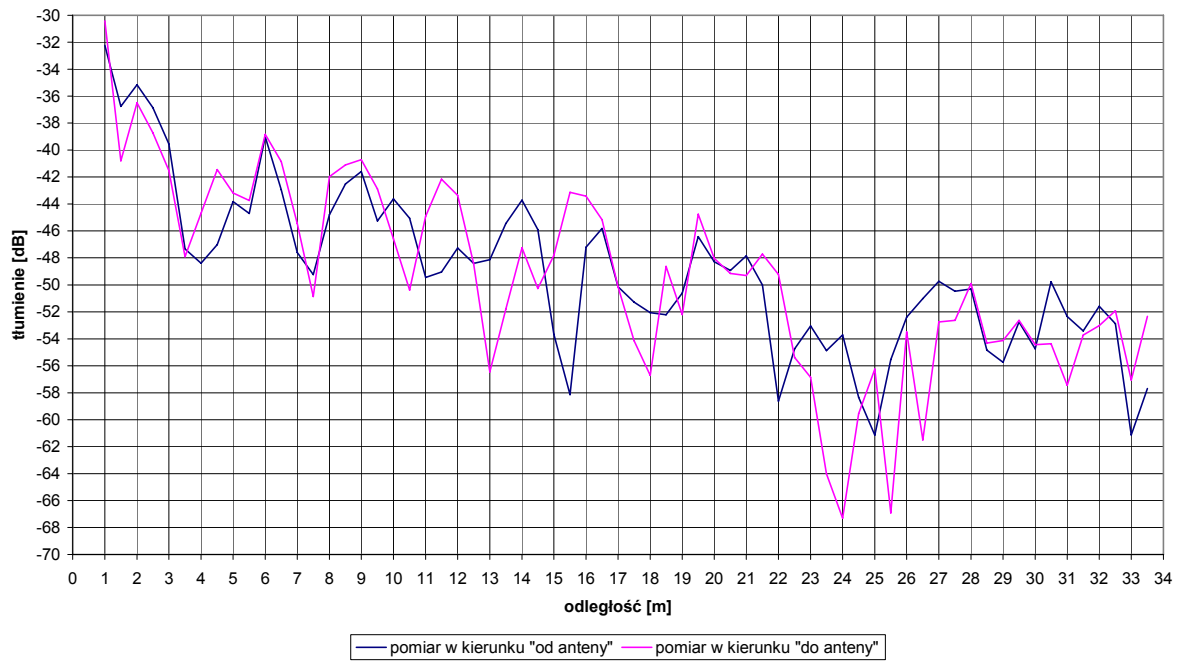
Lokalizacja anteny nadawczej: na wózku, umożliwiającym swobodne przemieszczanie wzdłuż korytarza, na wysokości 0,9 m; podczas przemieszczania antena nadawcza znajdowała się stale w odległości 0,5 m od ściany korytarza, po stronie zawierającej pokoje o nieparzystych numerach.

Lokalizacja anteny odbiorczej: na maszcie, na wysokości: 0,9 m, 1,5 m oraz 2,4 m, w odległości 0,5 m od ściany korytarza, po stronie zawierającej pokoje o nieparzystych numerach.

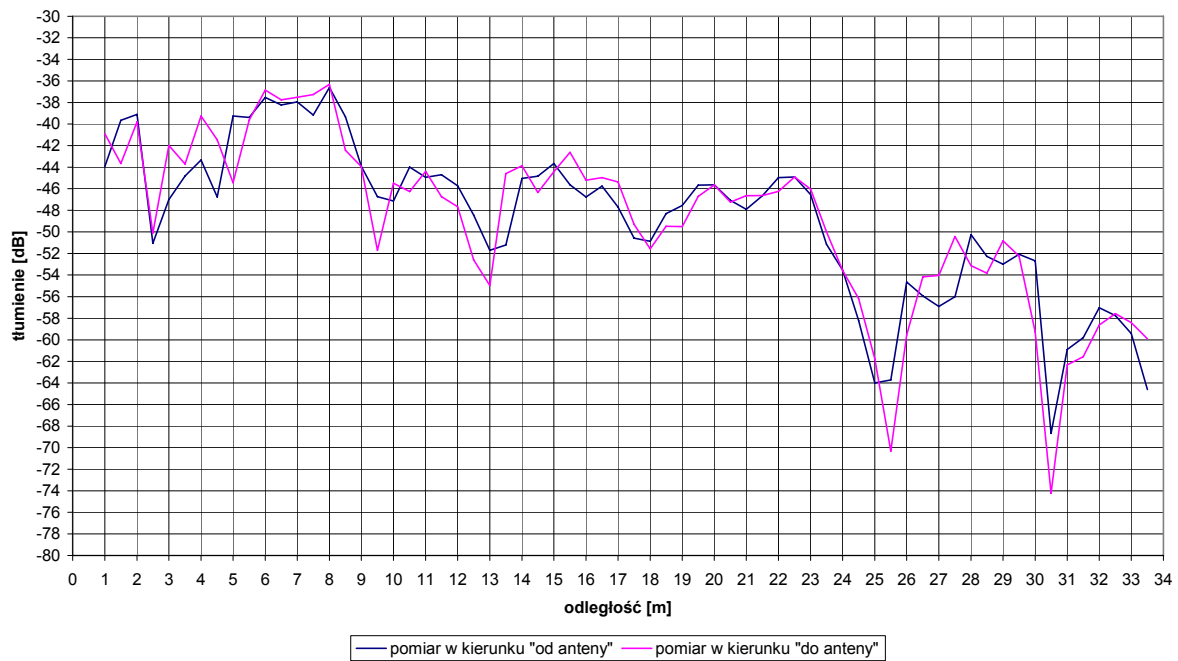
Dla każdej z wysokości oraz częstotliwości zebrano dwie serie wyników. Jedną otrzymano podczas oddalania się od anteny odbiorczej od odległości 1 m do 33,5 m, z krokiem 0,5 m; drugą przybliżając się do anteny odbiorczej po tym samym torze. Dokładna lokalizacja anteny nadawczej oraz odbiorczej przedstawiona została na rys. 2.



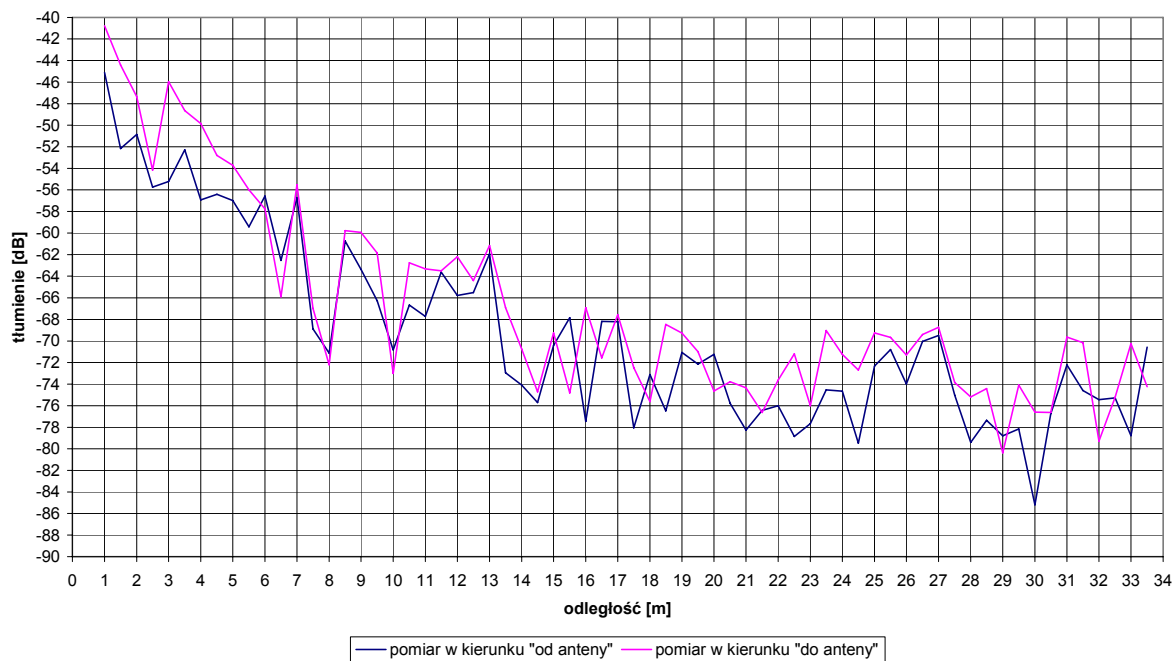
Rys. 6 Rozkład tłumienia w funkcji odległości (częstotliwość 2442 MHz, wysokość 0,9 m)



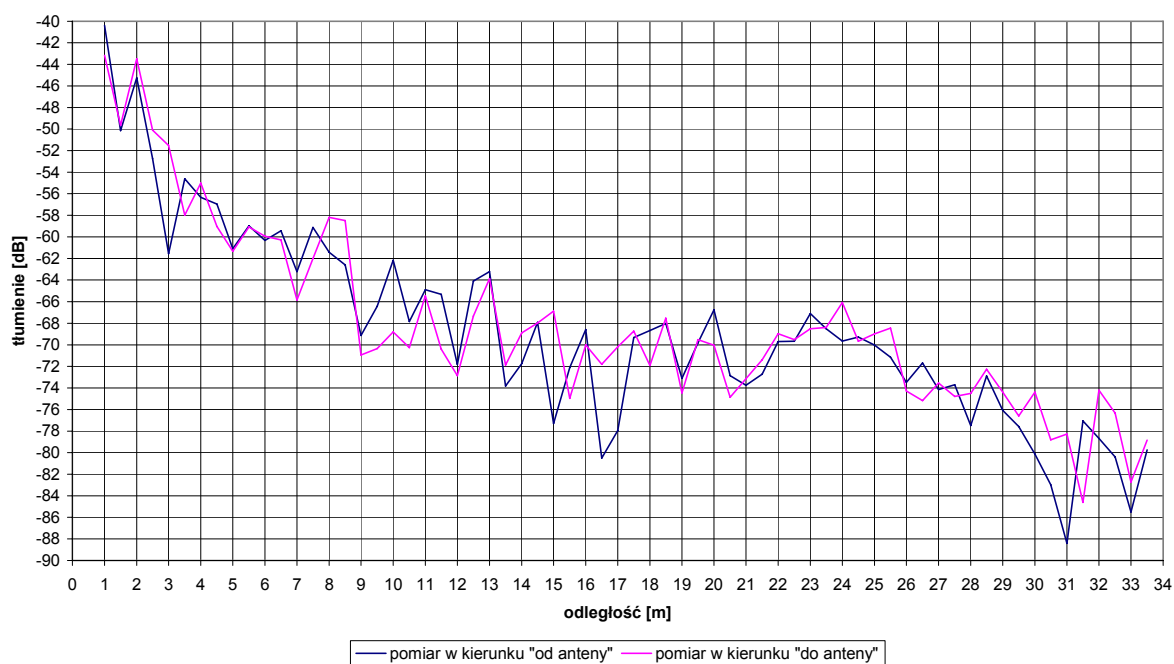
Rys. 7 Rozkład tłumienia w funkcji odległości (częstotliwość 2442 MHz, wysokość 1,5 m)



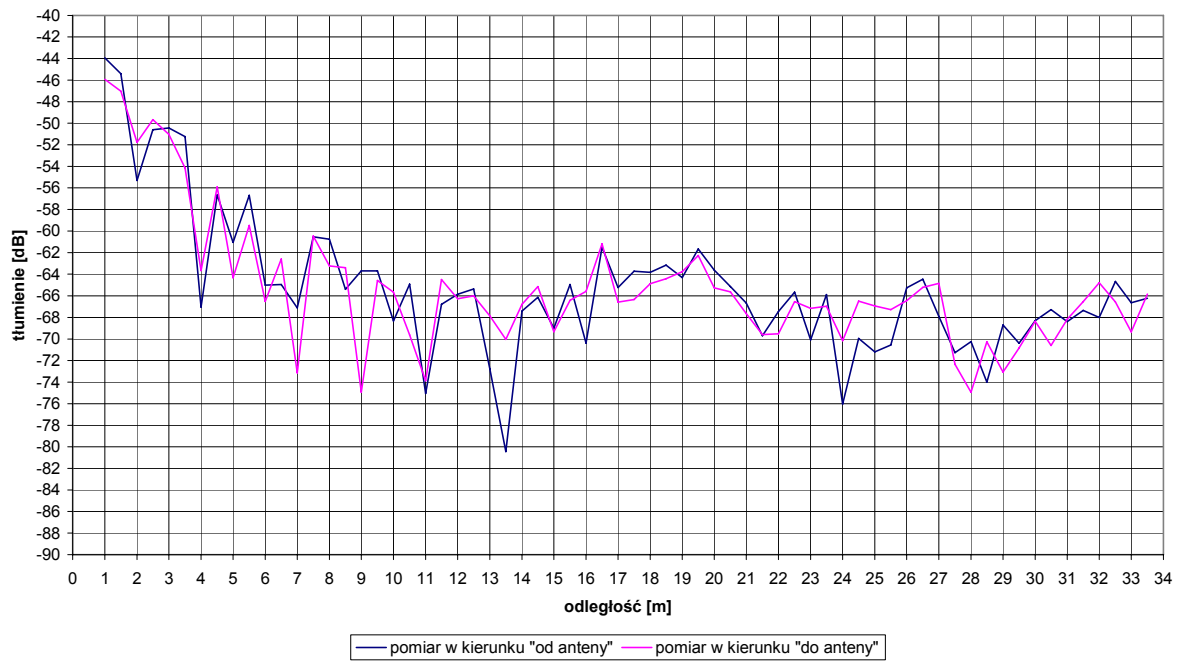
Rys. 8 Rozkład tłumienia w funkcji odległości (częstotliwość 2442 MHz, wysokość 2,4 m)



Rys. 9 Rozkład tłumienia w funkcji odległości (częstotliwość 5600 MHz, wysokość 0,9 m)



Rys. 10 Rozkład tłumienia w funkcji odległości (częstotliwość 5600 MHz, wysokość 1,5 m)

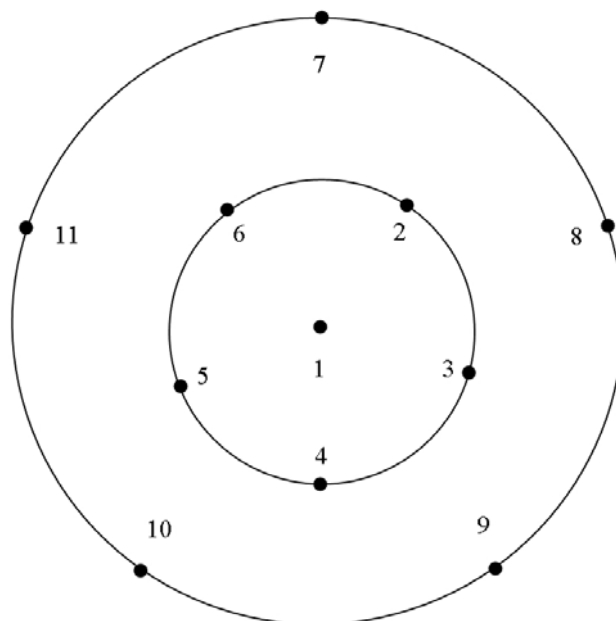


Rys. 11 Rozkład tłumienia w funkcji odległości (częstotliwość 5600 MHz, wysokość 2,4 m)

7 Pomiary w pomieszczeniach

Pomiary wykonano na drugim piętrze budynku głównego IŁ, w skrzydle z pokojami o numerach od 321 do 342.

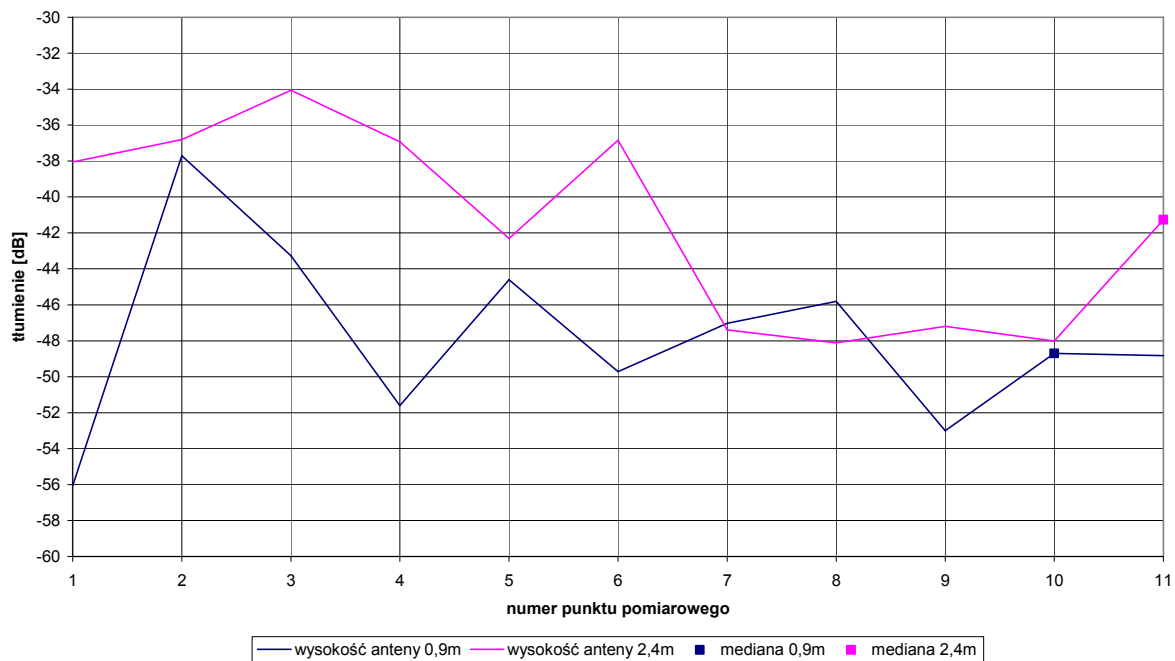
Lokalizacja anteny nadawczej: pomieszczenia o numerach: 321, 323, 325 oraz 342; w każdym z pomieszczeń wykonywano pomiary w jedenastu punktach zawartych w kole o promieniu ok. 0,5 m. Na rys.12 pokazano szablon pomocniczy dla wyboru lokalizacji punktu pomiarowego.



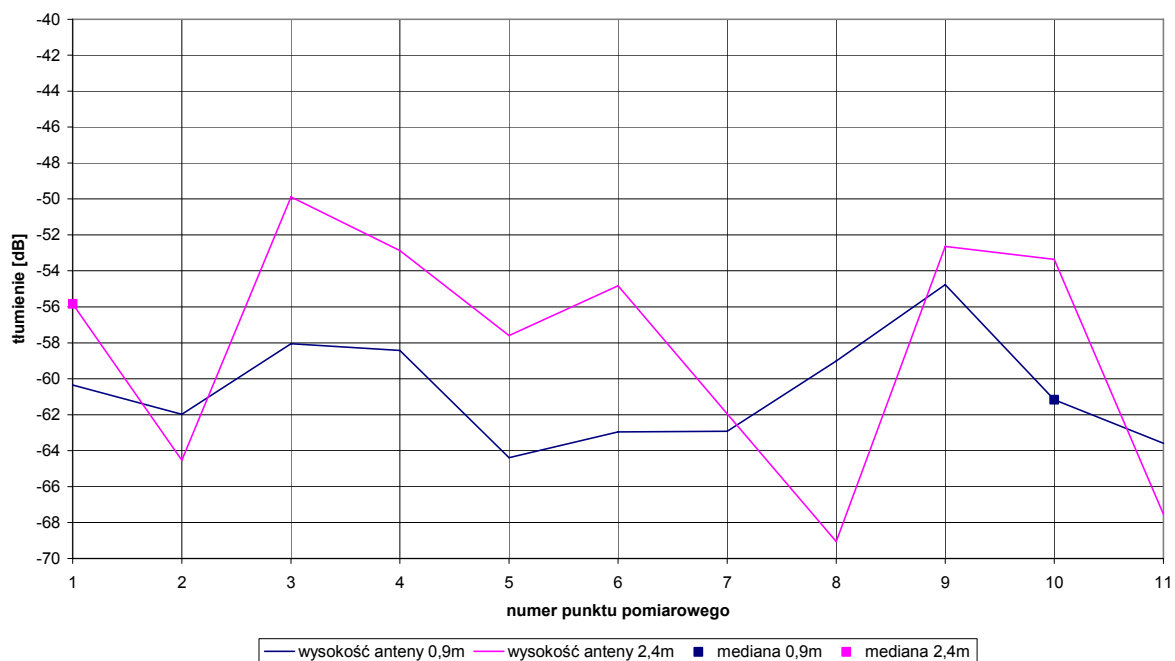
Rys. 12 Lokalizacja anteny nadajnika

Antena odbiorcza umieszczona była na maszcie, na wysokości: 0,9 m oraz 2,4 m, w odległości 0,5 m od ściany korytarza, po stronie zawierającej pokoje o nieparzystych numerach.

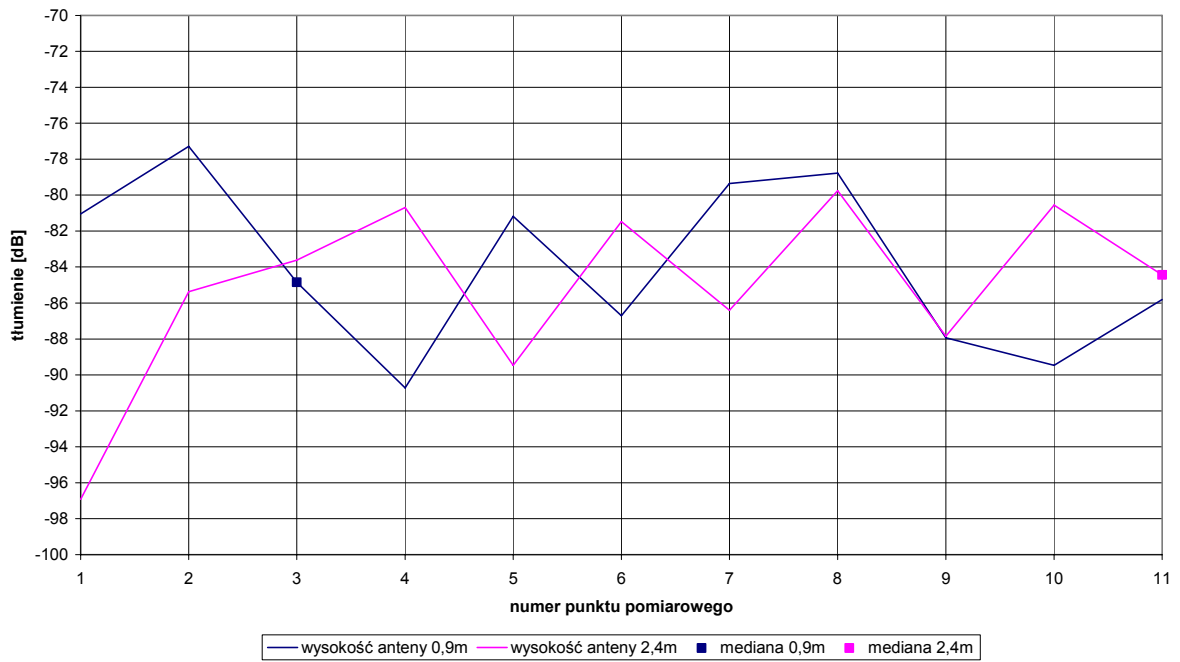
Dla każdej z wysokości oraz częstotliwości, pomiary wykonano dla jedenastu różnych lokalizacji nadajnika. Wyznaczone wartości tłumienia zostały przedstawione na wykresach. Dokładna lokalizacja anteny nadawczej oraz odbiorczej przedstawiona została na rys. 2.



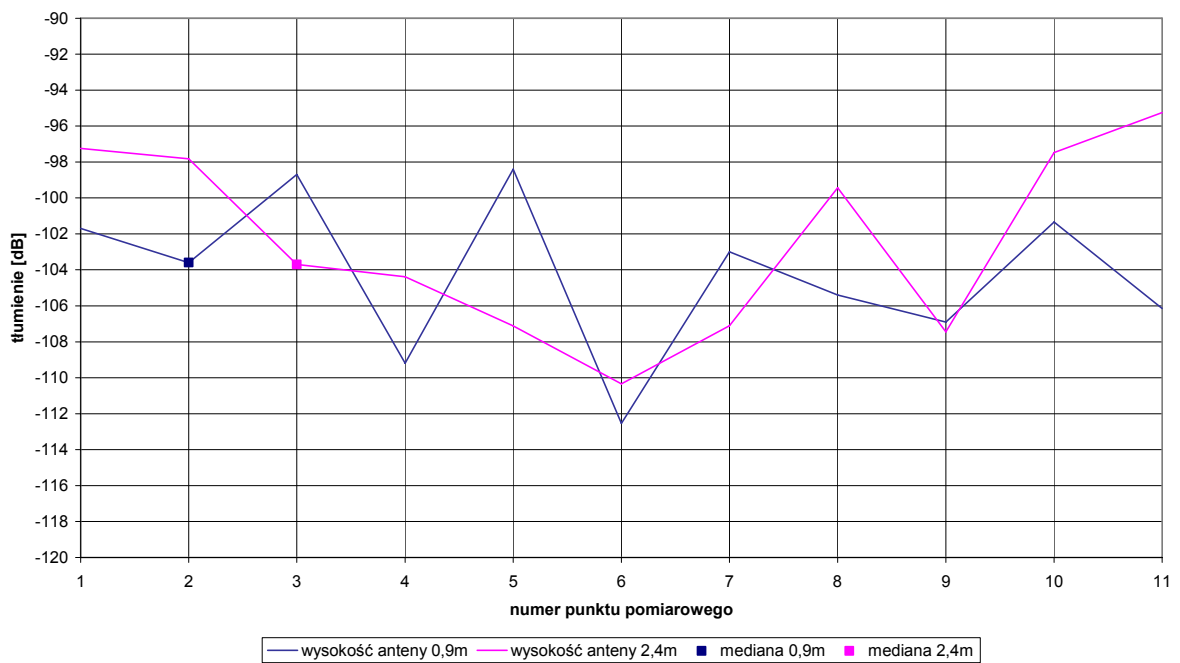
Rys. 13 Rozkład tłumienia (pokój 321, częstotliwość 2442 MHz)



Rys. 14 Rozkład tłumienia (pokój 321, częstotliwość 5600 MHz)



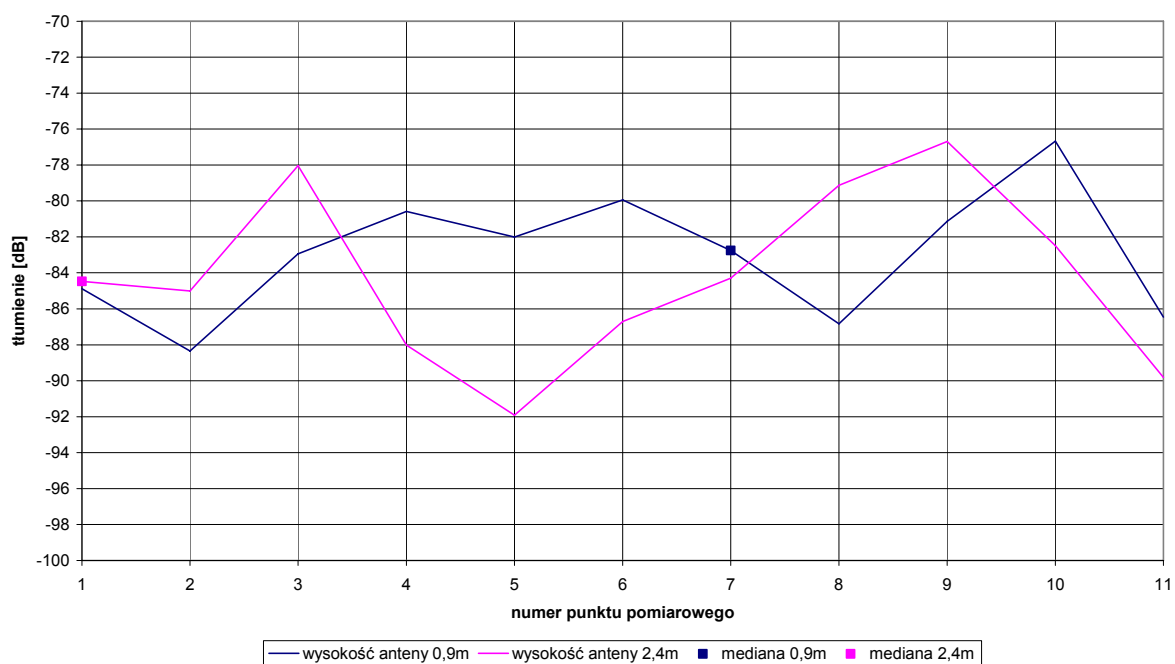
Rys. 15 Rozkład tłumienia (pokój 342, częstotliwość 2442 MHz)



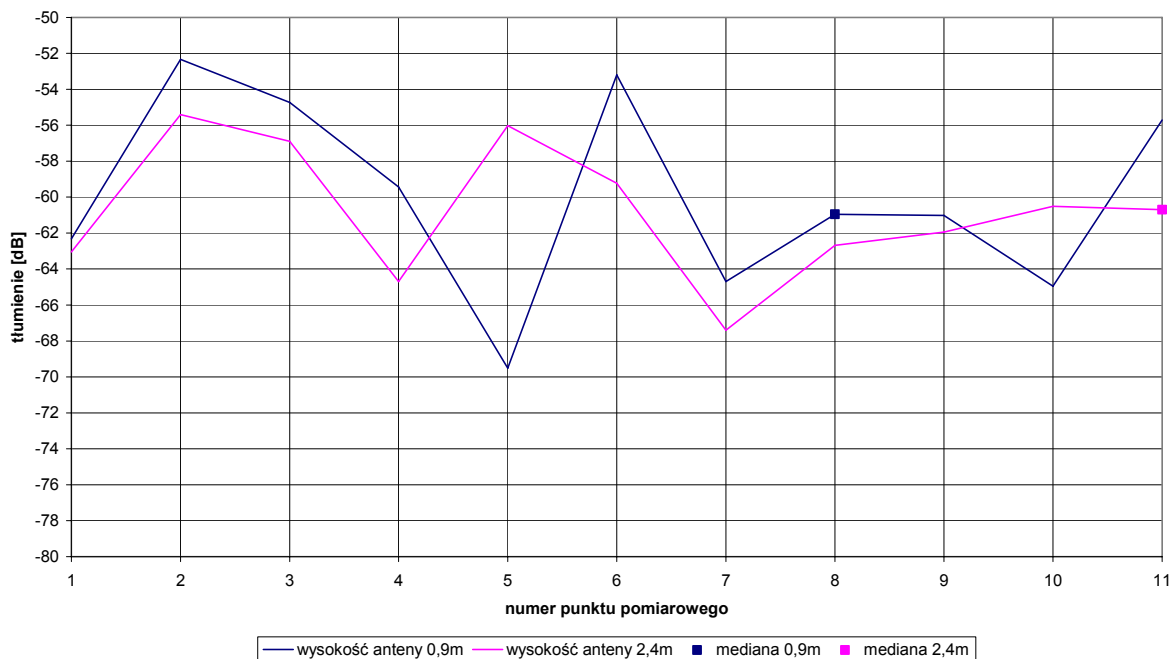
Rys. 16 Rozkład tłumienia (pokój 342, częstotliwość 5600 MHz)



Rys. 17 Rozkład tłumienia (pokój 325, częstotliwość 2442 MHz)



Rys. 18 Rozkład tłumienia (pokój 325, częstotliwość 5600 MHz)



Rys. 19 Rozkład tłumienia (pokój 323, częstotliwość 2442 MHz)



Rys. 20 Rozkład tłumienia (pokój 323, częstotliwość 5600 MHz)

8 Omówienie wyników pomiarów

Tabl. 1 zawiera porównania wyników pomiarów z obliczeniowymi.

Obliczenia tłumienia wykonano za pomocą wzoru:

$$L = 20 \log f + N \log d + L_f(n) - 28 \quad (3)$$

gdzie :

- f – częstotliwość, [MHz],
- d – odległość między stacją bazową o przenośną stacją końcową, przy założeniu, że $d > 1$ m,
- N – współczynnik tłumienia trasowego, tabl.2,
- L_f – współczynnik związany z tłumieniem przez piętra,
- n – liczba pięter między stacją bazową a przenośną stacją końcową.

Tabl.1. Porównania wyników pomiarów

| Tłumienia | | f | d | N | L_f | Toblicz | Różnica z 0,9 | Różnica z 2,4 | Różnica z kal1 |
|-----------------------|---------|------|-------|----|-------|---------|------------------|------------------|-------------------|
| t0,9 | t2,4 | MHZ | m | | | dB | dB | dB | |
| f=2,442 GHz N=18 i 40 | | | | | | | | | |
| -48,7 | -41,26 | 2442 | 2,88 | 18 | 0 | -48,02 | 0,68 | -6,76 | -27,23 |
| -84,85 | -84,44 | 2442 | 12,29 | 18 | 0 | -59,37 | 25,48 | 25,07 | -63,38 |
| -67 | -63,87 | 2442 | 35,00 | 18 | 0 | -67,55 | -0,55 | -3,68 | -45,53 |
| -84,85 | -84,44 | 2442 | 7,10 | 18 | 0 | -55,08 | 29,77 | 29,36 | -63,38 |
| -48,7 | -41,26 | 2442 | 1,00 | 40 | 0 | -39,75 | -6,68 | 2,98 | |
| -84,85 | -84,44 | 2442 | 7,10 | 40 | 0 | -73,82 | 11,03 | 10,62 | |
| -67 | -63,87 | 2442 | 12,29 | 40 | 0 | -83,33 | 1,52 | 1,11 | |
| -84,85 | -84,44 | 2442 | 2,88 | 40 | 0 | -58,13 | -9,43 | -16,87 | |
| f= 5,6 GHz N-18 | | | | | | | | | |
| -61,17 | -55,84 | 5600 | 2,88 | 18 | 0 | -55,23 | 5,94 | 0,61 | -22,38 |
| -103,6 | -103,69 | 5600 | 12,29 | 18 | 0 | -66,57 | 37,03 | 37,12 | -64,81 |
| -82,75 | -84,47 | 5600 | 33,22 | 18 | 0 | -74,35 | 8,40 | 10,12 | -43,96 |
| -103,6 | -103,69 | 5600 | 7,10 | 18 | 0 | -62,29 | 41,31 | 41,40 | -64,81 |
| f =2,442, N= różny | | | | | | | | | |
| -48,7 | -41,26 | 2442 | 2,88 | 30 | 0 | -53,54 | -4,84 | -12,28 | |
| -84,85 | -84,44 | 2442 | 12,29 | 40 | 0 | -83,33 | 1,52 | 1,11 | |
| -67 | -63,87 | 2442 | 35,00 | 20 | 0 | -70,64 | -3,64 | -6,77 | |
| -84,85 | -84,44 | 2442 | 7,10 | 40 | 0 | -73,82 | 11,03 | 10,62 | |
| f=5,6 GHz, N= różny | | | | | | | | | |
| -61,17 | -55,84 | 5600 | 2,88 | 30 | 0 | -60,75 | 0,42 | -4,91 | |
| -103,6 | -103,69 | 5600 | 12,29 | 40 | 0 | -90,54 | 13,06 | 13,15 | |
| -82,75 | -84,47 | 5600 | 33,22 | 20 | 0 | -77,39 | 5,36 | 7,08 | |
| -103,6 | -103,69 | 5600 | 7,10 | 40 | 0 | -81,02 | 22,58 | 22,67 | |

Mediany tłumienia występującego na trasach o długościach z kolumny d są zapisane w dwóch pierwszych kolumnach: odpowiednio dla dwóch wysokości anteny odbiorczej: 0,9 i 2,4 m. Wartości tłumienia obliczone wg wzoru (3) zawiera kolumna *Toblicz* Różnica między tymi tłumieniami odniesiona do tłumienia obliczonego przedstawiają w kolumny *Rożnica z 0,9* i *Rożnica z 2,4*. Duże rozbieżności dotyczą punktów zlokalizowanych w pokojach, gdzie sygnał musi przejść przez kilka ścian i sytuacji, gdy w obliczeniach wykorzystano małą wartość współczynnika N . Podjęto próbę zróżnicowania wartości tego współczynnika, biorąc pod uwagę otoczenie poszczególnych lokalizacji. Wówczas sytuacja poprawiła się.

Wartości tłumienia są największe w pokoju 342, co odpowiada największej odległości pomiędzy antenami. Jest to zgodne z teoretyczną zależnością mówiącą, że tłumienie wzrasta z odległością. W tej lokalizacji mediany tłumienia na danej częstotliwości przy różnych wysokościach anten są bardzo zbliżone co do wartości, bo na takiej odległości największy udział w tłumieniu ma dystans między antenami, a nie wysokość ich zawieszenia.

W lokalizacji 1, odpowiadającej najmniejszej odległości między antenami tłumienia są najmniejsze. Ich wartości biorą się z tłumienia wolnej przestrzeni oraz tłumienia ściany. Lokalizacje 3 i 4 charakteryzują się podobnymi wartościami mediany tłumienia, jak również podobnym kształtem pomieszczeń i ich wyposażeniem. Rozrzut wyników pomiarów w tych pomieszczeniach bierze się z odbić fal od szyb okiennych i pochłaniania ich przez różną ilość ścian różnych grubości. Ponadto w lokalizacjach 1, 2 i 3 wyraźne jest zróżnicowanie wartości tłumienia od wysokości zawieszenia anten. Dla anten umieszczonych wyżej tłumienie jest większe. Wynika to z faktu, że tuż nad anteną znajdował się sufit podwieszony pochłaniający energię fal elektromagnetycznych.

Na częstotliwości 2,442 GHz w odbiorniku detekowany był sygnał o większym poziomie mocy niż na 5,6 GHz. Rozrzut wartości tłumienia w obrębie jednej lokalizacji nie przekraczał 20 dB.

W związku z niewielką ilością realizacji pomiarów trudno jest wyciągnąć konstruktywne wnioski dotyczące tłumienia wnoszonego przez poszczególne ściany lub zespoły ścian. Dokonane pomiary pozwoliły zorientować się o możliwościach zorganizowania badań o większej skali niż dotychczas.

Literatura

- [1].Dobkin D.: *Indoor propagation issues for wireless LANs*. RF EMC/RFI. www.rfdesign.com. Sept.2002
- [2].Wilson R.: *Propagation Losses Through Common Building Materials 2.4 GHz vs 5 GHz*
- [3].*Reflection and Transmission Losses Through Common Building Materials*. 2002 Magis Networks, Inc
- [4].Velenzuela R.A.,Fortune S., Ling J.: *An Indoor Propagation Prediction Accuracy and Speed Versus Number of Reflections in Image-Based 3-D Ray-Tracing*. Bell Laboratories, Lucent Technologies, Holmdel.www.bell-labs.com/org/wireless