



POMIARY TŁUMIENIA I ABSORBCJI FAL ELEKTROMAGNETYCZNYCH

dr inż. Leszek Nowosielski

Wojskowa Akademia Techniczna

Wydział Elektroniki

Laboratorium Kompatybilności Elektromagnetycznej





PLAN PREZENTACJI

1. Wstęp
2. Pomiaru absorpcji materiałów pochłaniających fale elektromagnetyczne metodą podstawową
3. Pomiar charakterystyk absorpcji materiałów w funkcji kąta padania sygnału probierczego
4. Pomiaru radarowego przekroju czynnego RCS materiałów pochłaniających fale elektromagnetyczne
5. Pomiar tłumienności cienkich materiałów absorpcyjnych metodą podstawową wykorzystującą linię koncentryczną
6. Pomiar tłumienności cienkich materiałów absorpcyjnych metodą rozszerzoną wykorzystującą linię koncentryczną
7. Wnioski





WSTĘP

Wraz ze wzrastającą ilością urządzeń wytwarzających promieniowanie elektromagnetyczne zachodzi potrzeba ochrony urządzeń i ludzi przed ich negatywnym wpływem. Problem zabezpieczania przed niepożądanym promieniowaniem jest szczególnie istotny w zagadnieniach kompatybilności elektromagnetycznej. Jednym ze sposobów zabezpieczania przed oddziaływaniem niepożądanego promieniowania są ekrany elektromagnetyczne. Generalnie można wyróżnić dwa sposoby funkcjonowania ekranów elektromagnetycznych – poprzez odbicie padającej fali elektromagnetycznej bądź poprzez absorpcję energii elektromagnetycznej. Biorąc pod uwagę skuteczność ekranowania idealny ekran elektromagnetyczny powinien charakteryzować się niskim współczynnikiem odbicia oraz wysoką wartością absorpcji.

W dalszej części prezentacji przedstawiono metodologie pomiarów absorpcji oraz tłumienia fal elektromagnetycznych.





POMIAR ABSORBCJI MATERIAŁÓW POCHŁANIAJĄCYCHFALE ELEKTROMAGNETYCZNE METODĄ PODSTAWOWĄ

Metoda pomiarowa bazuje na pomiarze absorpcji badanych materiałów w odniesieniu do płyty aluminiowej bez naniesionego materiału absorpcyjnego.

Pomiar charakterystyk absorpcji badanego materiału podzielono na trzy etapy:

1. znalezienie odległości pomiarowej w strefie dalekiej anten,
2. pomiar referencyjny (płyta aluminiowa),
3. pomiar zasadniczy (płyta z naniesionym materiałem absorpcyjnym).



POMIAR ABSORBCJI MATERIAŁÓW POCHŁANIAJĄCYCHFALE ELEKTROMAGNETYCZNE METODĄ PODSTAWOWĄ

W pierwszym etapie wyznacza się odległość w strefie dalekiej anten, dla której otrzymano minimum odbieranego sygnału odbitego od ścian komory oraz wózka, bez płyty metalowej.

Następnie ruchomy wózek zostaje ustawiony w strefie dalekiej odpowiadającej wymiarom anten pomiarowych oraz częstotliwości sygnału probierczego.



POMIAR ABSORBCJI MATERIAŁÓW POCHŁANIAJĄCYCHFALE ELEKTROMAGNETYCZNE METODĄ PODSTAWOWĄ

W drugim etapie zakłada się na wózek próbkę referencyjną (płyta aluminiowa) i wykonuje pomiar referencyjny.

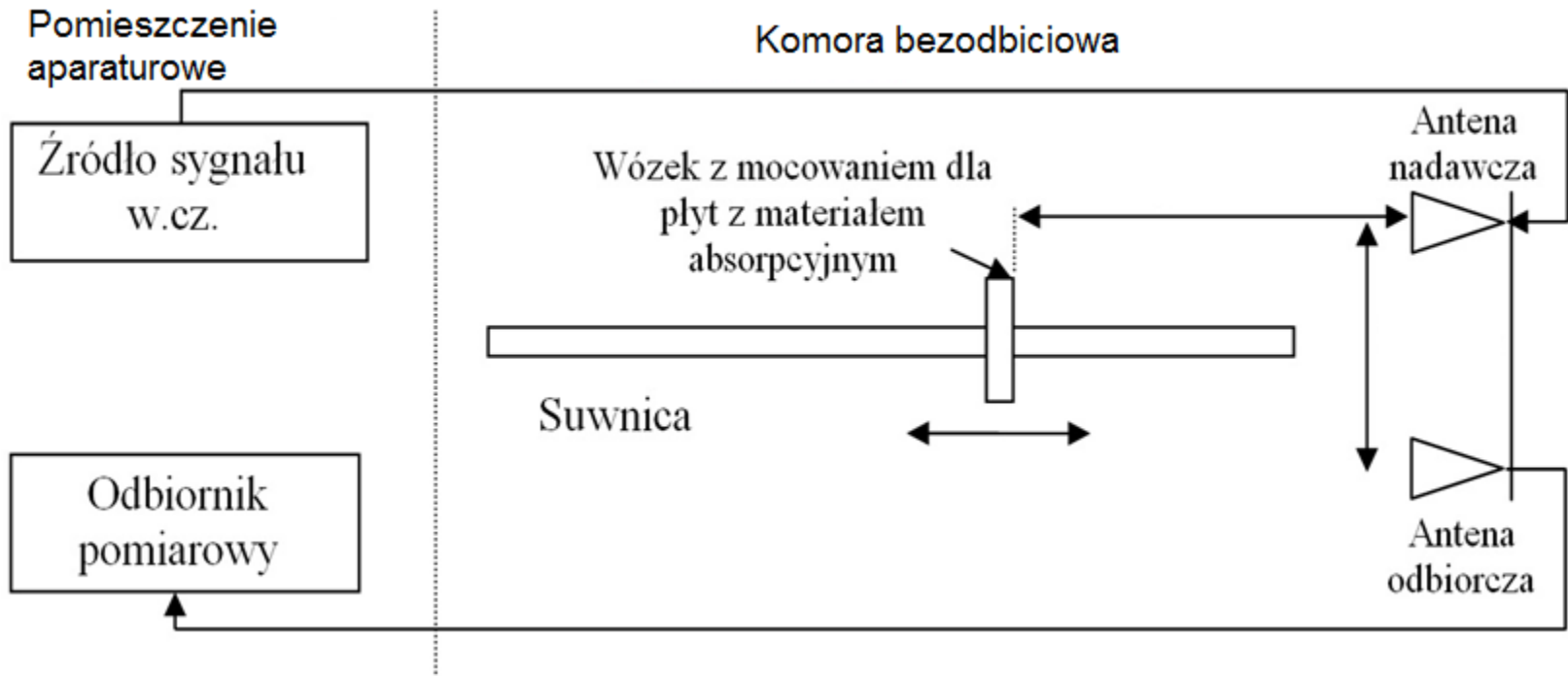
W trzecim etapie wykonuje się pomiar poziomu sygnału odbitego od płyty z naniesionym materiałem absorpcyjnym jako pomiar zasadniczy.

W opracowanej metodzie pomiaru, jako miarę absorpcji materiałów pochłaniających fale elektromagnetyczne przyjęto różnicę pomierzonych poziomów w powyższych dwóch etapach wyrażoną w decybelach.

Poziom absorpcji różnych materiałów absorpcyjnych naniesionych na powierzchnię metalową określany jest względem poziomu sygnału odbitego od płyty metalowej bez materiału absorpcyjnego.



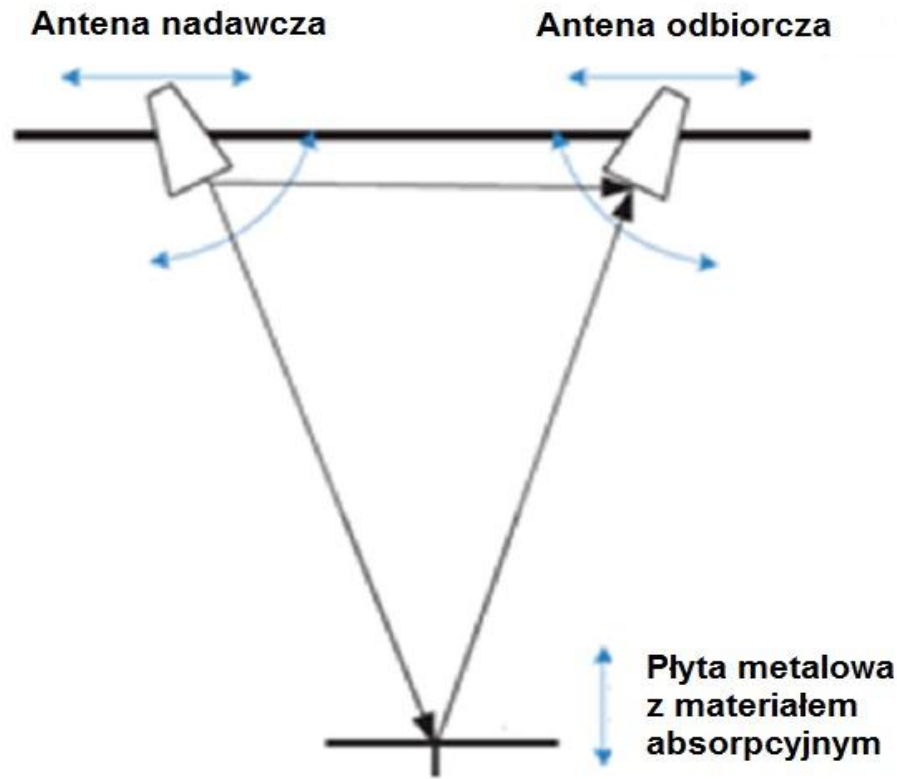
POMIAR ABSORBCJI MATERIAŁÓW POCHŁANIAJĄCYCH FALĘ ELEKTROMAGNETYCZNĄ METODĄ PODSTAWOWĄ



Schemat blokowy stanowiska pomiarowego do pomiaru absorpcji materiałów pochłaniających fale elektromagnetyczne



POMIAR ABSORBCJI MATERIAŁÓW POCHŁANIAJĄCYCH FALE ELEKTROMAGNETYCZNE METODĄ PODSTAWOWĄ



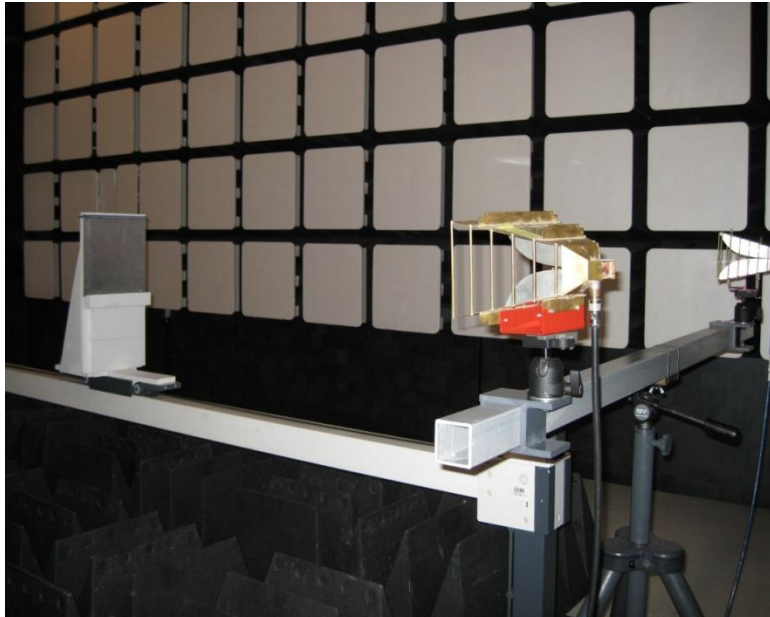
Ustawienie anten stanowiska pomiarowego względem wózka



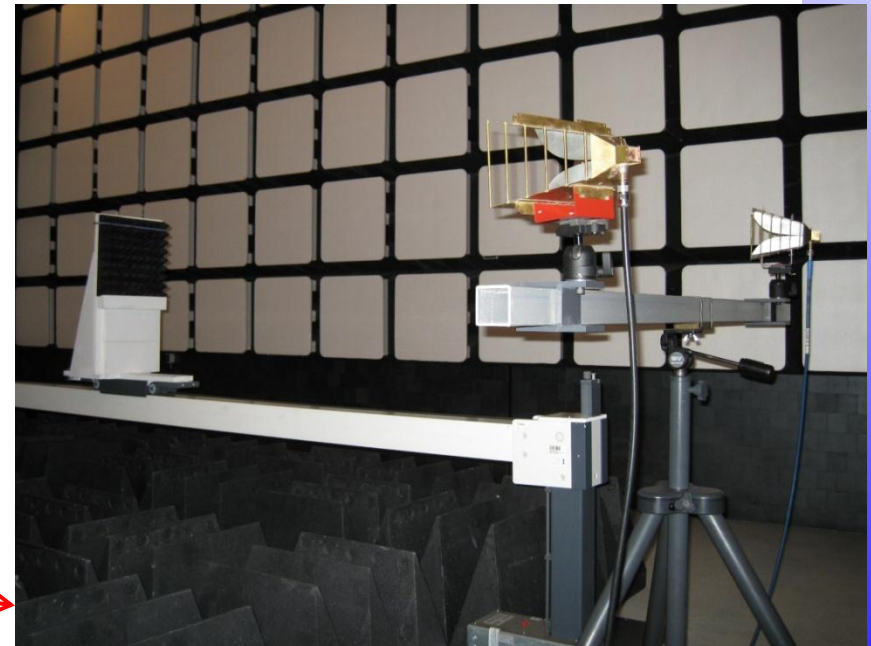


POMIAR ABSORBCJI MATERIAŁÓW POCHŁANIAJĄCYCH FALE ELEKTROMAGNETYCZNE METODĄ PODSTAWOWĄ

Widok stanowiska pomiarowego z płytą metalową bez naniesionego materiału absorpcyjnego (materiał referencyjny)



Widok stanowiska pomiarowego z płytą metalową z materiałem absorpcyjnym





POMIAR ABSORBCJI MATERIAŁÓW POCHŁANIAJĄCYCH FALE ELEKTROMAGNETYCZNE METODĄ PODSTAWOWĄ

Tabela Nr 1 – Poziomy odebrany sygnał probierczego od poszczególnych próbek materiału

f [GHz]	Poziom tła [dBm]	Próbka Nr 0 [dBm]	Próbka Nr 1 [dBm]	Próbka Nr 2 [dBm]	Próbka Nr 3 [dBm]	Próbka Nr 4 [dBm]
1,00	-40,60	-37,30	-41,60	-40,80	-38,22	-37,31
2,00	-36,80	-26,20	-28,30	-28,70	-27,06	-26,43
3,00	-37,60	-25,90	-33,20	-35,47	-28,12	-26,51
4,00	-49,40	-31,90	-43,02	-45,70	-35,33	-33,00
5,00	-48,20	-35,08	-51,20	-46,70	-38,48	-35,55
6,00	-60,10	-34,90	-45,80	-42,10	-39,14	-35,33
7,00	-48,30	-38,40	-50,60	-47,02	-42,61	-39,55
8,00	-49,60	-40,43	-52,03	-48,30	-45,27	-41,25
9,00	-48,70	-39,40	-47,20	-44,60	-46,52	-41,56
10,00	-62,40	-48,70	-58,20	-55,43	-55,52	-50,91





POMIAR ABSORBCJI MATERIAŁÓW POCHŁANIAJĄCYCH FAŁE ELEKTROMAGNETYCZNE METODĄ PODSTAWOWĄ

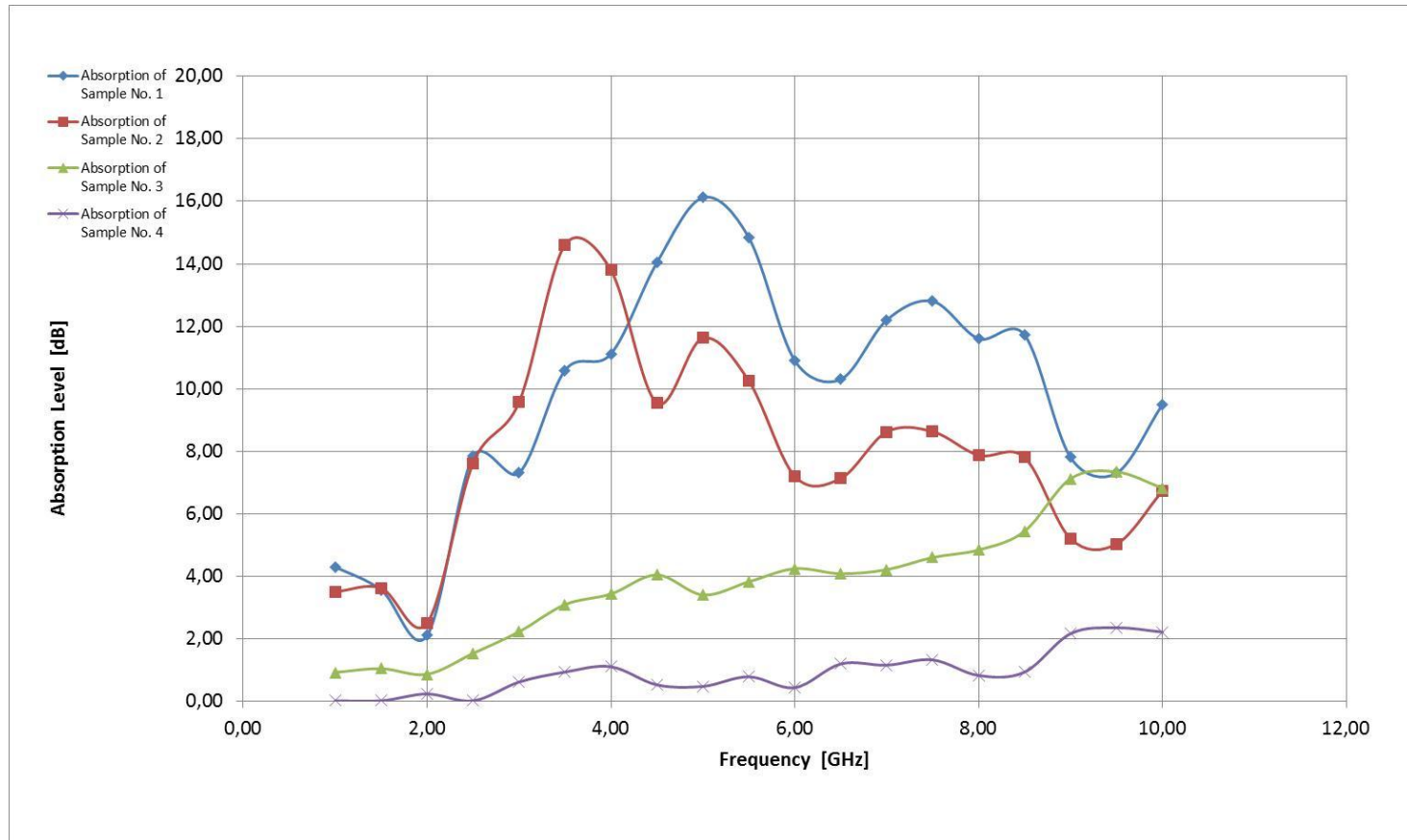
Tabela Nr 2 – Wyliczone wartości absorpcji poszczególnych próbek materiału

f [GHz]	Zakres dynamiki pomiaru [dB]	Próbka Nr 1 [dB]	Próbka Nr 2 [dB]	Próbka Nr 3 [dB]	Próbka Nr 4 [dB]
1,00	3,30	4,30	3,50	0,92	0,01
2,00	10,60	2,10	2,50	0,86	0,23
3,00	11,70	7,30	9,57	2,22	0,61
4,00	17,50	11,12	13,80	3,43	1,10
5,00	13,12	16,12	11,62	3,40	0,47
6,00	25,20	10,90	7,20	4,24	0,43
7,00	9,90	12,20	8,62	4,21	1,15
8,00	9,17	11,60	7,87	4,84	0,82
9,00	9,30	7,80	5,20	7,12	2,16
10,00	13,70	9,50	6,73	6,82	2,21



POMIAR ABSORBCJI MATERIAŁÓW POCHŁANIAJĄCYCH FALE ELEKTROMAGNETYCZNE METODĄ PODSTAWOWĄ

Przykładowe wartości absorpcji wybranych próbek w funkcji częstotliwości





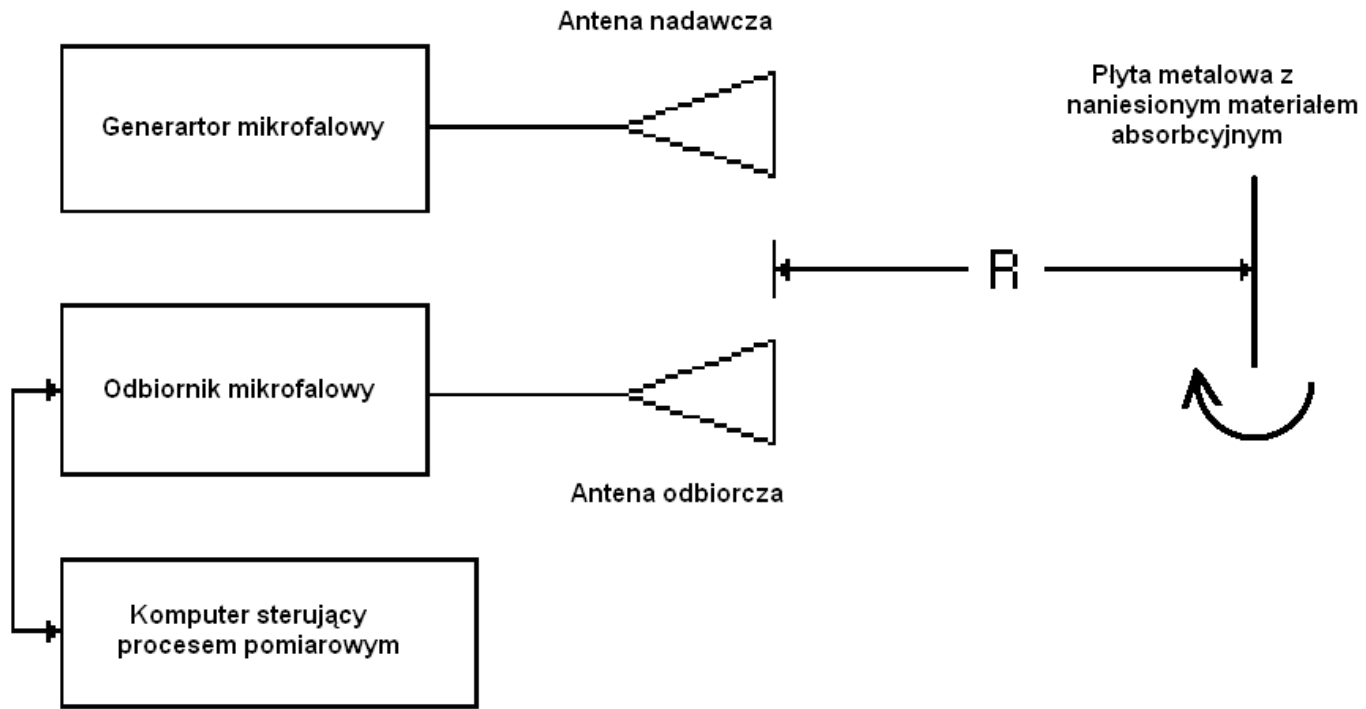
POMIAR ABSORBCJI MATERIAŁÓW POCHŁANIAJĄCYCHFALE ELEKTROMAGNETYCZNE METODĄ PODSTAWOWĄ

Wnioski:

- Omówione stanowisko do pomiaru absorpcji fal elektromagnetycznych posiada istotną wadę. Dotyczy ona małego zakresu dynamiki pomiaru przedstawionego Tabeli Nr 2. Zakres dynamiki zdefiniowany został jako różnica pomiędzy poziomem odbitego sygnału od płyty metalowej, a poziomem sygnału odbitego od otoczenia (poziomu tła).
- Istotnym czynnikiem mającym wpływ na zakres dynamiki jest przesłuch pomiędzy anteną nadawczą i odbiorczą (zbyt mała izolacja anteny nadawczej i odbiorczej).



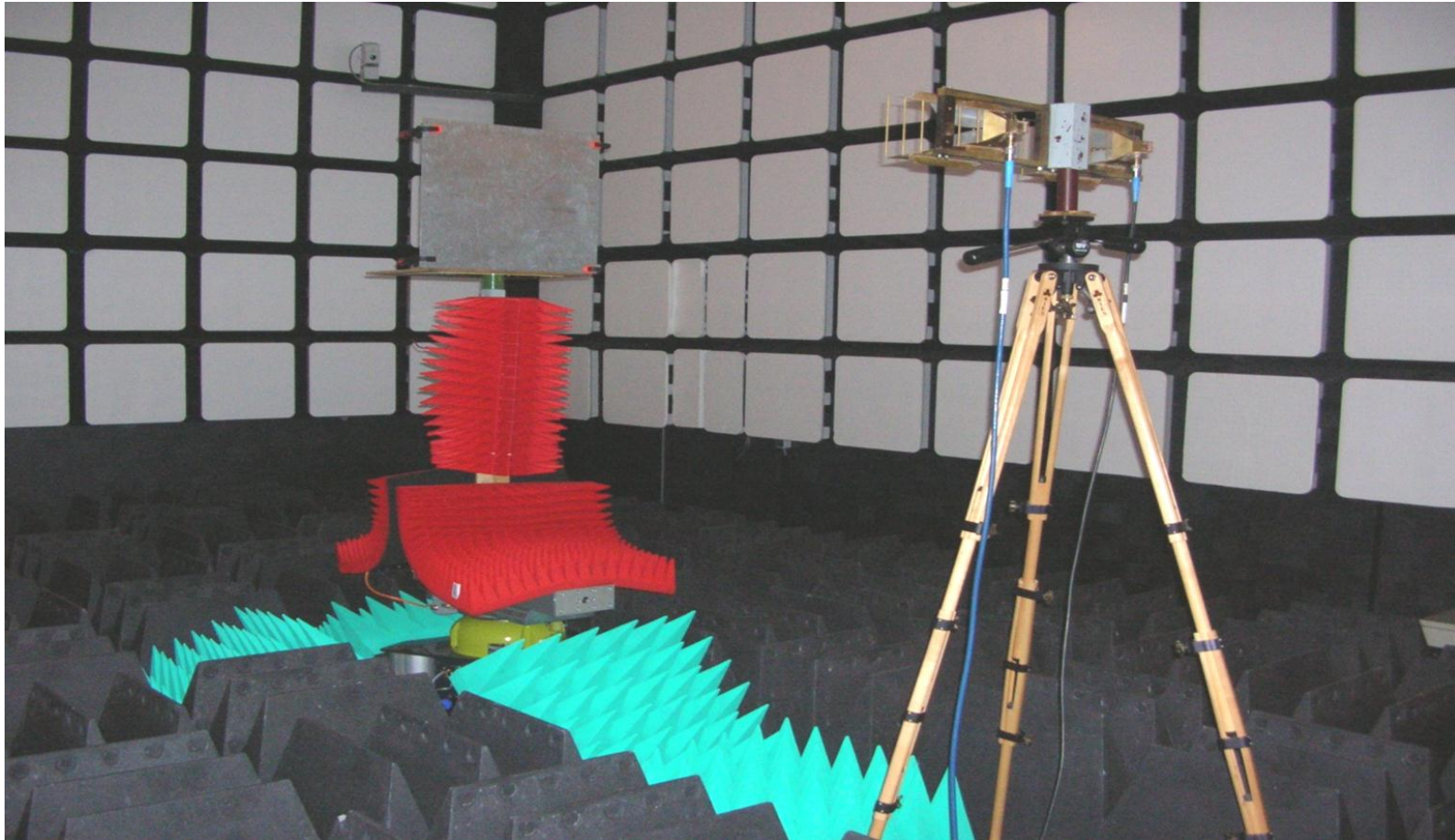
POMIAR CHARAKTERYSTYK ABSORPCJI MATERIAŁÓW W FUNKCJI KĄTA PADANIA SYGNAŁU PROBIERCZEGO



Schemat blokowy stanowiska pomiarowego



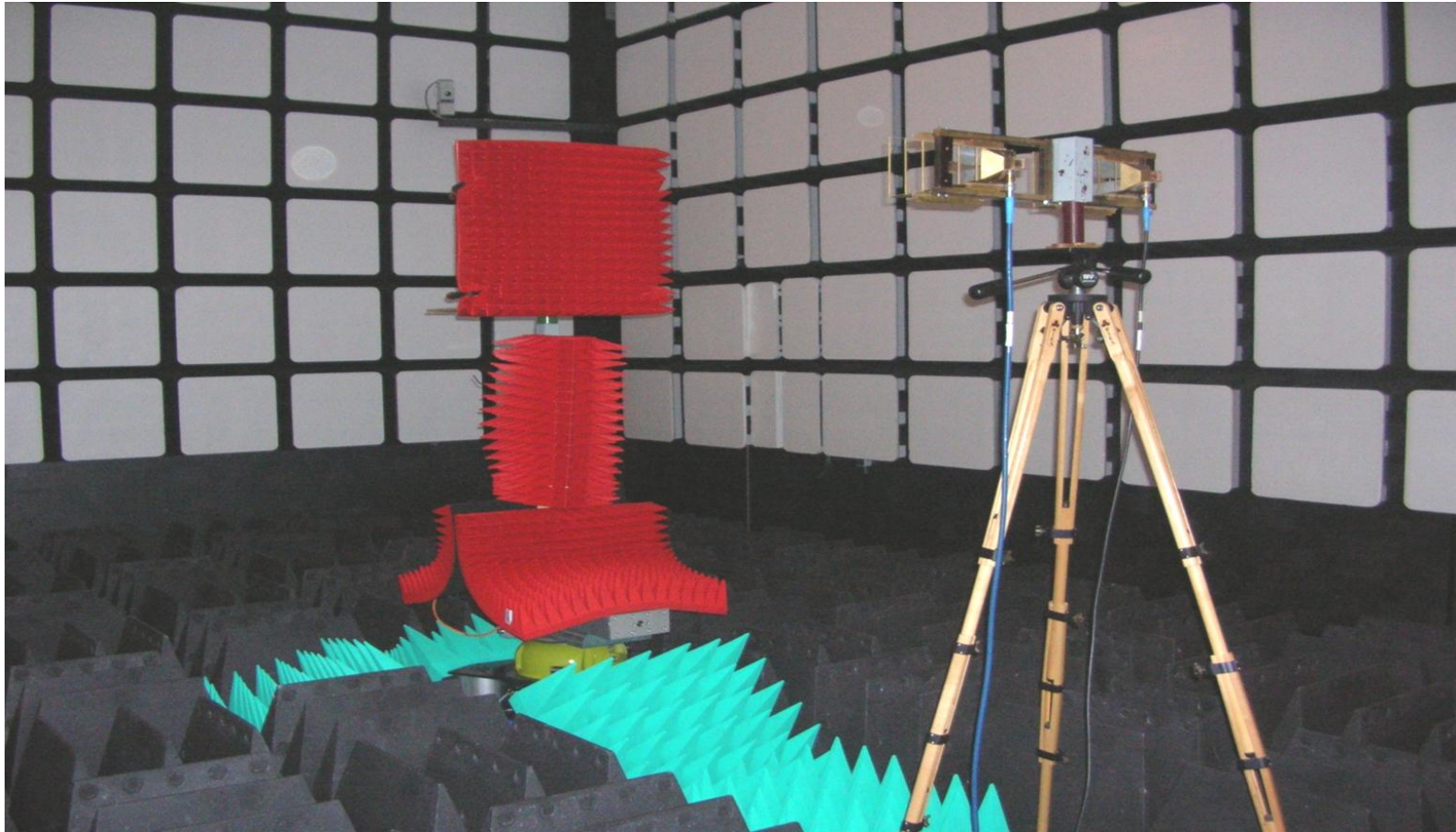
POMIAR CHARAKTERYSTYK ABSORPCJI MATERIAŁÓW W FUNKCJI KĄTA PADANIA SYGNAŁU PROBIERCZEGO



Widok stanowiska pomiarowego z płytą metalowa bez naniesionego materiału absorpcyjnego (pomiar referencyjny)



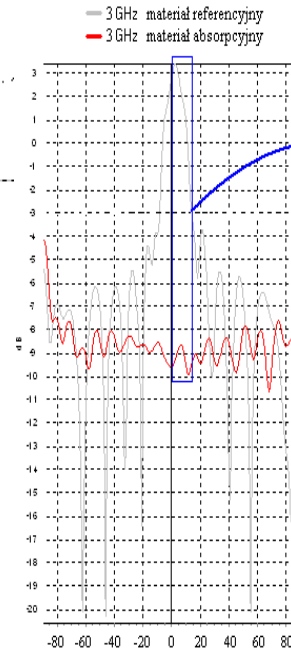
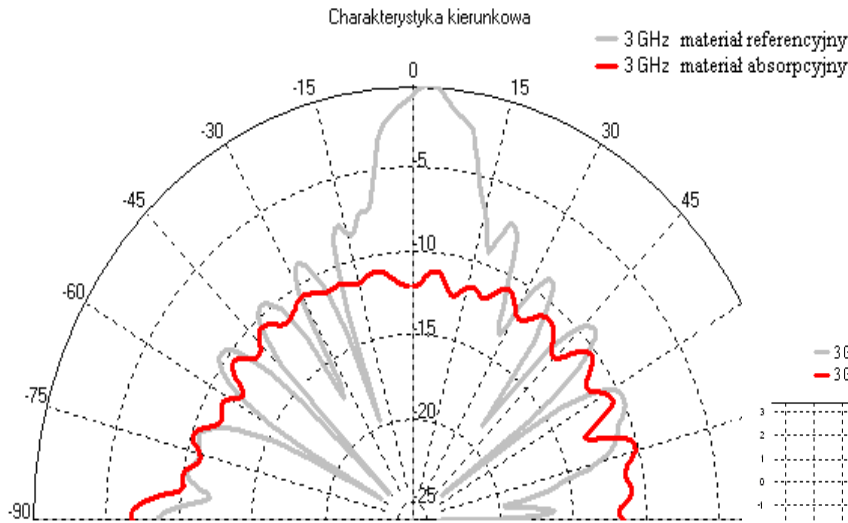
POMIAR CHARAKTERYSTYK ABSORPCJI MATERIAŁÓW W FUNKCJI KĄTA PADANIA SYGNAŁU PROBIERCZEGO



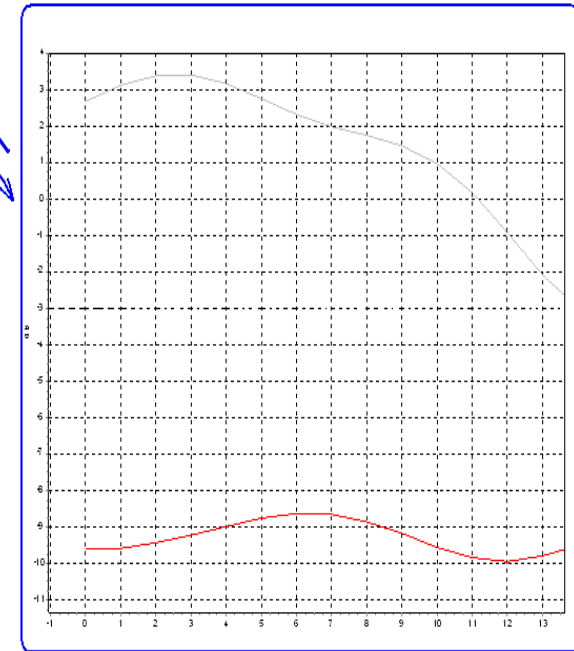
Widok stanowiska pomiarowego z płytą metalową z materiałem absorpcyjnym



POMIAR CHARAKTERYSTYK ABSORPCJI MATERIAŁÓW W FUNKCJI KĄTA PADANIA SYGNAŁU PROBIERCZEGO



Charakterystyka kierunkowa





POMIAR RCS MATERIAŁÓW POCHŁANIAJĄCYCH FALE ELEKTROMAGNETYCZNE

$$\sigma = \frac{4\pi a^2 b^2}{\lambda^2}$$

σ - radarowy przekrój czynny RCS wyrażony w [m²],
 λ - długość fali wyrażona w [m],
 f - częstotliwość sygnału wyrażona w [MHz],
 a, b - wysokość i szerokość prostokątnej powierzchni odbijającej wyrażona w [m].

Wartość dla płyty metalowej nie odbijającej w sposób idealny padającej fali elektromagnetycznej wylicza się z zależności:

$$\frac{P_{RX}}{P_{TX}} = \sigma \frac{G^2 \lambda^2}{(4\pi)^2 R^4}$$

P_{RX} - moc sygnału odbita od płyty metalowej wyrażona w [W],
 P_{TX} - moc sygnału nadanego wyrażona w [W],
 G - zysk energetyczny anteny nadawczej i odbiorczej [dBi],
 R - odległość anten pomiarowych od płyty metalowej wyrażona w [m].





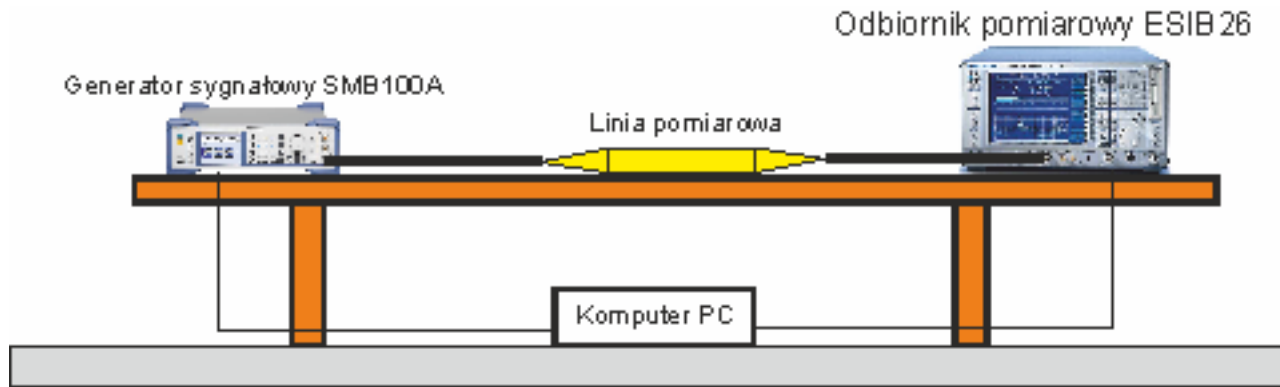
POMIAR RCS MATERIAŁÓW POCHŁANIAJĄCYCH FALE ELEKTROMAGNETYCZNE

Częstotliwość sygnału pomiarowego f	[MHz]	2000	2500	3000	3500	4000	4200
Radarowy przekrój czynny σ powierzchni prostokątnej idealnie odbijającej	[m ²]	40,69	63,59	91,56	124,62	162,78	179,46
Radarowy przekrój czynny $10\log(\sigma)$ powierzchni prostokątnej idealnie odbijającej	[dB]	16,09	18,03	19,62	20,96	22,12	22,54
Stosunek mocy odbitej do padającej $10\log\left(\frac{P_{RX}}{P_{TX}}\right)$ dla metalowej płyty odniesienia	[dB]	-35,60	-39,70	-40,50	-40,70	-43,10	-44,20
Współczynnik proporcjonalności $10\log(K)$	[-]	-51,69	-57,73	-60,12	-61,66	-65,22	-66,74
Stosunek mocy odbitej do padającej $10\log\left(\frac{P_{RX}}{P_{TX}}\right)$ dla metalowej płyty pokrytej materiałem RAM	[dB]	-44,20	-54,50	-62,90	-63,90	-63,60	-65,80
Radarowy przekrój czynny σ_{RAM} metalowej płyty pokrytej materiałem RAM	[m ²]	5,62	2,11	0,53	0,59	1,45	1,24





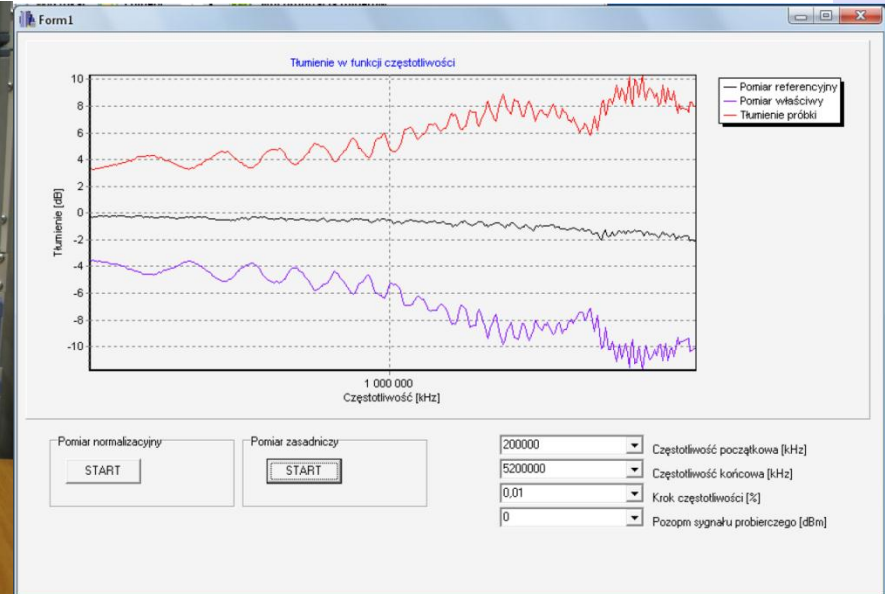
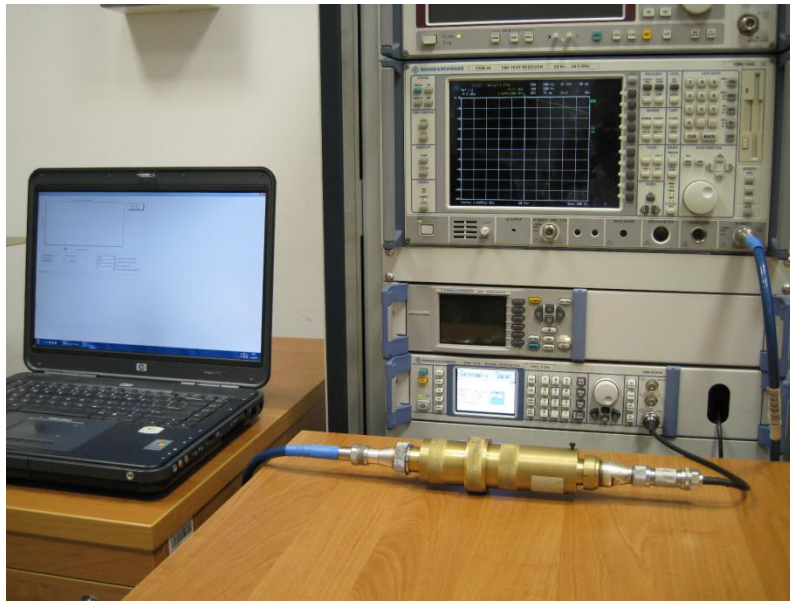
POMIARY TŁUMIENNOŚCI CIENKICH MATERIAŁÓW ABSORPCYJNYCH METODĄ PODSTAWOWĄ WYKORZYSTUJACĄ LINIĘ KONCENTRYCZną



Schemat blokowy stanowiska pomiarowego metody podstawowej



POMIARY TŁUMIENNOŚCI CIENKICH MATERIAŁÓW ABSORPCYJNYCH METODĄ PODSTAWOWĄ WYKORZYSTUJACĄ LINIĘ KONCENTRYCZNA



Wygląd stanowiska pomiarowego metody podstawowej oraz aplikacji sterującej procesem pomiarowym



POMIARY TŁUMIENNOŚCI CIENKICH MATERIAŁÓW ABSORPCYJNYCH METODĄ PODSTAWOWĄ WYKORZYSTUJACĄ LINIĘ KONCENTRYCZNA

Pomiary metodą podstawową podzielono na dwa etapy. Pierwszym etapem jest pomiar normalizacyjny podczas którego odbywa się pomiar poziomu sygnału, który bezpośrednio przechodzi przez linię pomiarową (bez umieszczonej badanej próbki materiału). Drugi etap to pomiar zasadniczy, w którym realizowany jest pomiar poziomu sygnału jaki przechodzi przez linię pomiarową z umieszczoną badaną próbką materiału w środku. Dzięki uzyskanym wynikom z dwóch etapów pomiarowych możliwe jest wyliczenie tłumienności badanej próbki materiału A korzystając z zależności:

$$A = E1 - E2$$

gdzie:

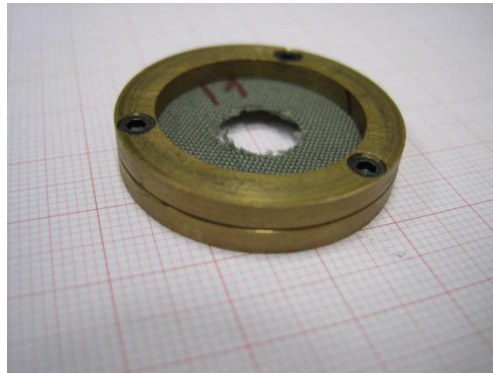
$E1$ – poziom sygnału na wyjściu linii pomiarowej bez umieszczonej próbki materiału,

$E2$ – poziom sygnału na wyjściu linii pomiarowej z umieszczoną próbką materiału.





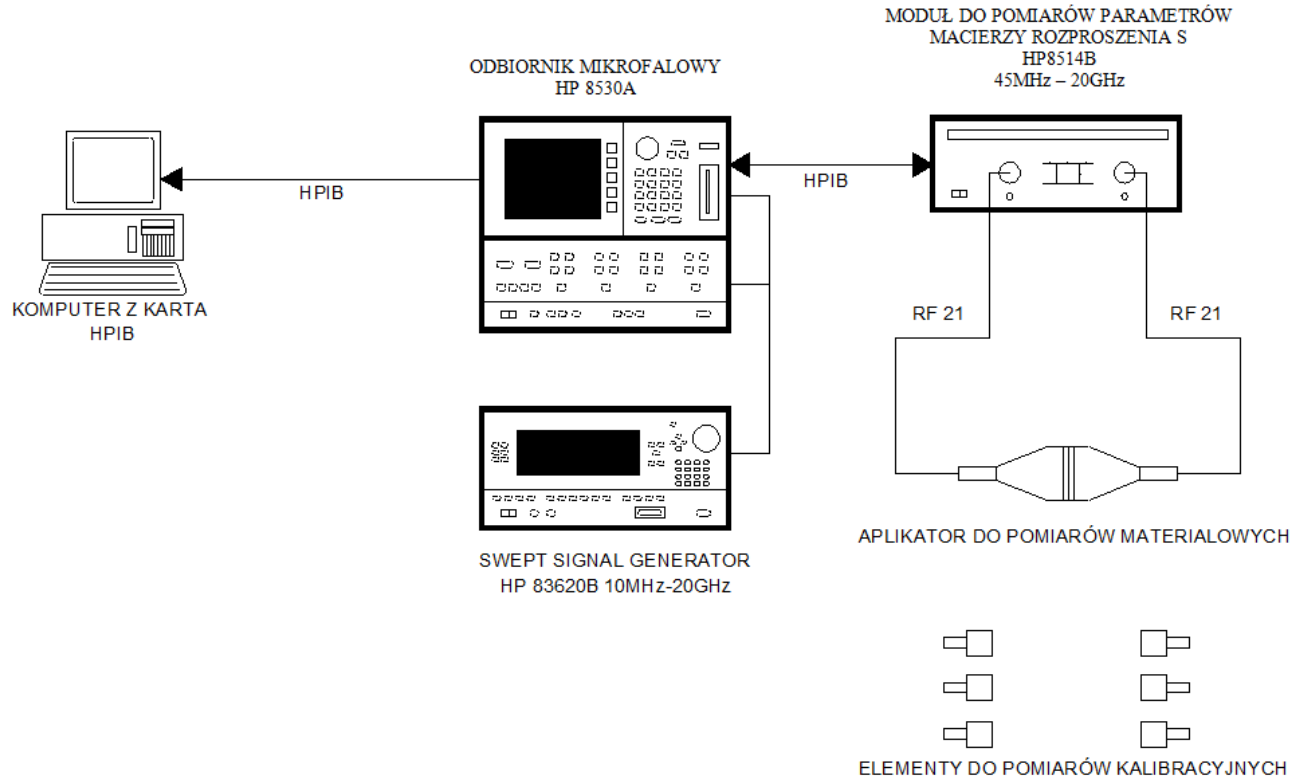
POMIARY TŁUMIENNOŚCI CIENKICH MATERIAŁÓW ABSORPCYJNYCH METODĄ PODSTAWOWĄ WYKORZYSTUJACĄ LINIĘ KONCENTRYCZNA



Wygląd przykładowej próbki badanego materiału



POMIARY TŁUMIENNOŚCI CIENKICH MATERIAŁÓW ABSORPCYJNYCH METODĄ ROZSZERZONĄ WYKORZYSTUJACĄ LINIĘ KONCENTRYCZNĄ



Schemat blokowy stanowiska pomiarowego



POMIARY TŁUMIENNOŚCI CIENKICH MATERIAŁÓW ABSORPCYJNYCH METODĄ ROZSZERZONĄ WYKORZYSTUJACĄ LINIĘ KONCENTRYCZNA



Wygląd stanowiska pomiarowego metody rozszerzonej





POMIARY TŁUMIENNOŚCI CIENKICH MATERIAŁÓW ABSORPCYJNYCH METODĄ ROZSZERZONĄ WYKORZYSTUJACĄ LINIĘ KONCENTRYCZNĄ

Wykorzystując metodę rozszerzoną można wyznaczyć wartości zespolonych współczynników macierzy rozproszenia, które w dalszej kolejności mogą służyć do wyliczenia współczynników tłumienia i absorpcji danego materiału ekranującego. Zestaw pomiarowy w obecnej konfiguracji umożliwia pomiary w zakresie częstotliwości od 45MHz do ok. 6GHz. Ograniczenia pasma dla tego zestawu są powodowane budową zestawu na bazie linii współosiowej (linia pomiarowa), posiadanego sprzętu pomiarowego, a także możliwościami zaimplementowanego oprogramowania pomiarowego. Przy przekroczeniu tego zakresu występują trudności w procesie kalibracji.

Wymiary pomiarowej linii koncentrycznej są następujące:

- średnica zewnętrzna linii 24,1mm,
- średnica wewnętrzna linii 10,5mm.





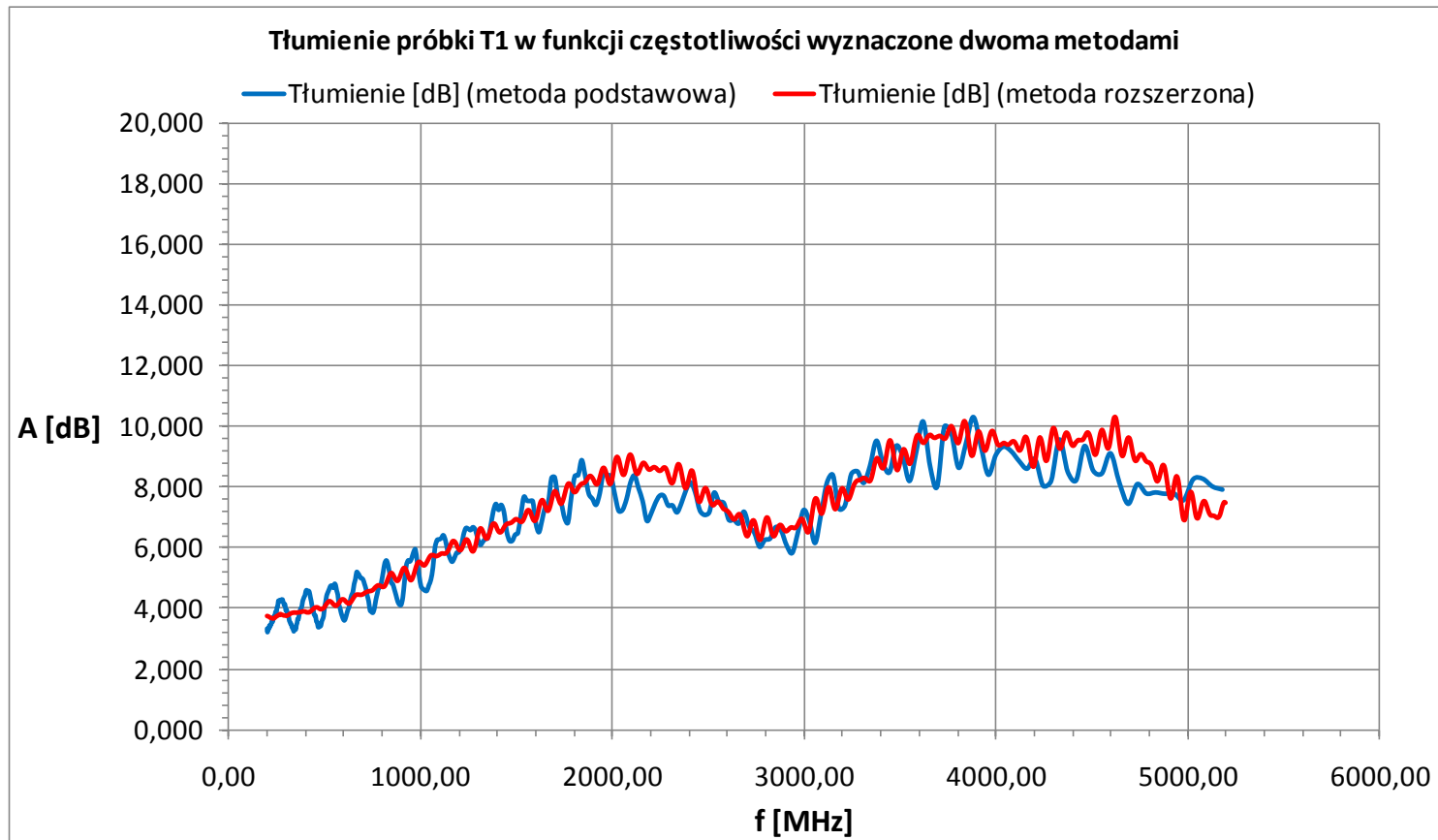
POMIARY TŁUMIENNOŚCI CIENKICH MATERIAŁÓW ABSORPCYJNYCH METODĄ ROZSZERZONĄ WYKORZYSTUJACĄ LINIĘ KONCENTRYCZNĄ

System pomiarowy realizuje pomiary modułów oraz faz współczynników macierzy rozproszenia. Pomiary podzielono na dwa etapy. W pierwszej kolejności wykonywane są pomiary kalibracyjne przy użyciu trzech dodatkowych elementów: rozwarcia, zwarcia, obciążenia dopasowanego. Pomiary kalibracyjne umożliwiają eliminację błędów systematycznych i są realizowane przy każdym pomiarze. Współczynniki kalibracji wyznaczone są w wyniku rozwiązania układu równań na podstawie pomiarów z elementami kalibracyjnymi oraz bezpośredniego połączenia portów analizatora sieci. Właściwe pomiary sprowadzają się do wyznaczenia modułów i faz 4 współczynników rozproszenia linii współosiowej z badaną próbką materiału znajdującym się pomiędzy dwoma pierścieniami w linii pomiarowej ($S[11]$, $S[21]$, $S[12]$, $S[22]$).





POMIARY TŁUMIENNOŚCI CIENKICH MATERIAŁÓW ABSORPCYJNYCH METODĄ ROZSZERZONĄ WYKORZYSTUJACĄ LINIĘ KONCENTRYCZNA





Dziękuję za Uwagę !!!

