

prof. inż. Peter Pauli
Uniwersytet Bundeswehry w Monachium
Werner-Heisenberg-Weg 39
85577 Neubiberg
<peter.pauli@unibw.de>

Ingenieurbüro für Hochfrequenz-,
Mikrowellen- und Radartechnik
Alter Bahnhofplatz 26
83646 Bad Tölz
Tel. (08041) 792-7447 Faks: 792-9999
E-mail: prof.peter.pauli@t-online.de

Strona 1

Ekspertyza

z dnia 31.05.2019 r.

- Zleceniodawca:** **GEOVITAL**
Akademie für Geobiologie und Strahlenschutz
Unterwolfbühl 430
A-6934 Sulzberg
- Przedmiot pomiaru:** **Farba ekranująca T 98** naniesiona na płytę drewnianą o grubości 3 mm
Jednowarstwowa powłoka: 1 litr rozprowadzony na 8 m²
Dwuwarstwowa powłoka: 1 litr rozprowadzony na 4 m²
Trójwarstwowa powłoka: 1 litr rozprowadzony na 2,7 m²
- Zlecenie:** Określenie tłumienności ekranowej fal elektromagnetycznych w zakresie częstotliwości **100 MHz – 40 GHz**
- Podstawa badania:** ASTM D – 4935-10 i IEEE 299-2006
- Data pomiarów:** 28 maja 2019 r.
- Zakres:** 6 stron tekstu, 3 protokoły z pomiarów w 3 załącznikach

Wyniki: **Farba ekranująca T 98** naniesiona jednowarstwowo, dwuwarstwowo i trójwarstwowo na płyty drewniane o grubości 3 mm podczas pomiarów wg normy ASTM została zbadana przy użyciu fal elektromagnetycznych z polaryzacją we wszystkich kierunkach. Ze względu na jednorodność naniesionej powłoki farby wyniki pomiarów mają zastosowanie również do polaryzacji liniowej pionowej i poziomej. W poniższej tabeli przedstawiono wartości tłumienności ekranowej w decybelach, określonej dla różnych istotnych częstotliwości sieci komórkowych:

Farba ekranująca T 98	Tłumienność ekranowa w dB		
	Pomiar dla jednej warstwy	Pomiar dla dwóch warstw	Pomiar dla trzech warstw
Technologia radiowa			
Sieć C, TETRA, 450 MHz	40 dB	49	51 dB
Sieć D, GSM900, 900 MHz,	40 dB	49	52 dB
Sieć E, GSM1800, 1800 MHz	41 dB	52	56 dB
Bluetooth, WLAN 2450 MHz	42 dB	54	58 dB
5G (pasmo sub-6 GHz) 3,4–3,8 GHz	41 dB	53	60 dB
W-LAN nowej generacji 5,8 GHz	42 dB	52	66 dB

Tabela 1: wartości tłumienności ekranowej dla różnych częstotliwości

1. Uwagi wstępne

Podczas pomiaru tłumienia fal elektromagnetycznych przez materiał ekranujący próbka jest zazwyczaj napromieniowywana energią wysokiej częstotliwości o określonej gęstości strumienia mocy S_1 lub określonej mocy P_1 . Za materiałem ekranującym mierzona jest przenikająca gęstość strumienia mocy S_2 lub moc P_2 . Iloraz logarytmiczny według poniższych równań stanowi wartość tłumienności ekranowej w decybelach (dB):

$$a_{ekran} = 10 \cdot \log \frac{S_2}{S_1} = 10 \cdot \log \frac{P_2}{P_1} \text{ w decybelach (dB)}$$

W celu interpretacji krzywych pomiarowych i znajdujących się na nich wartości pomocne jest skorzystanie ze znajdującej się obok tabeli konwersji.

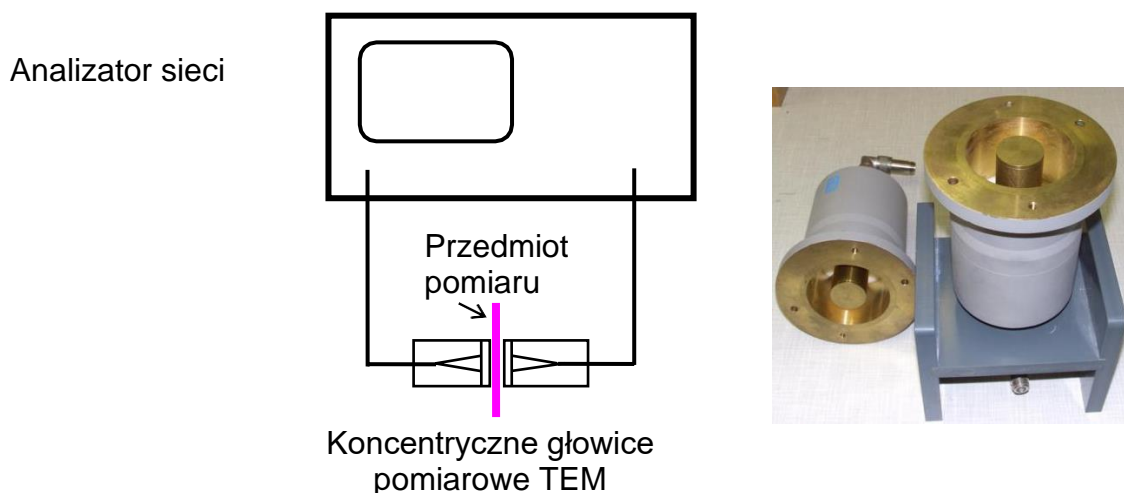
Tabela ta umożliwi konwersję wartości logarytmicznych dB na wartości procentowe, przy czym do oceny skuteczności ekranowania zazwyczaj – podobnie jak w tej tabeli – wykorzystywana jest **moc lub gęstość strumienia mocy** przenikająca przez ekran.

Konwersja wartości tłumienności z dB na %			
dB	Przenikanie mocy w %	dB	Przenikanie mocy w %
0	100,00		
1	81,00	21	0,78
2	62,80	22	0,63
3	50,00	23	0,50
4	40,00	24	0,39
5	31,60	25	0,31
6	25,00	26	0,25
7	20,00	27	0,20
8	16,00	28	0,18
9	12,50	29	0,12
10	10,00	30	0,10
11	7,90	31	0,08
12	6,25	32	0,06
13	5,00	33	0,05
14	4,00	34	0,04
15	3,13	35	0,03
16	2,50	36	0,02
17	2,00	37	0,02
18	1,56	38	0,02
19	1,20	39	0,02
20	1,00	40	0,01
		50	0,001
		60	0,0001

Tabela 2: Konwersja wartości dB na wartości procentowe

2. Zestawy pomiarowe do pomiaru tłumienności ekranowej wg ASTM D 4935-2010 w zakresie 100 MHz – 8 GHz

W celu wykonania tych pomiarów dwa koncentryczne naczynia pomiarowe TEM zostały podłączone do analizatora sieci na zasadzie anteny nadawczej i odbiorczej. Podczas kalibracji S_{21} zestaw został skalibrowany na wartość „0 dB” bez przedmiotu pomiaru, ale z nieekranującym obiektem zastępczym o identycznej grubości, umieszczonym między głowicami pomiarowymi do pomiaru transmisji.



Rys. 1. Układ pomiarowy do określania tłumienności ekranowej za pomocą głowic pomiarowych TEM

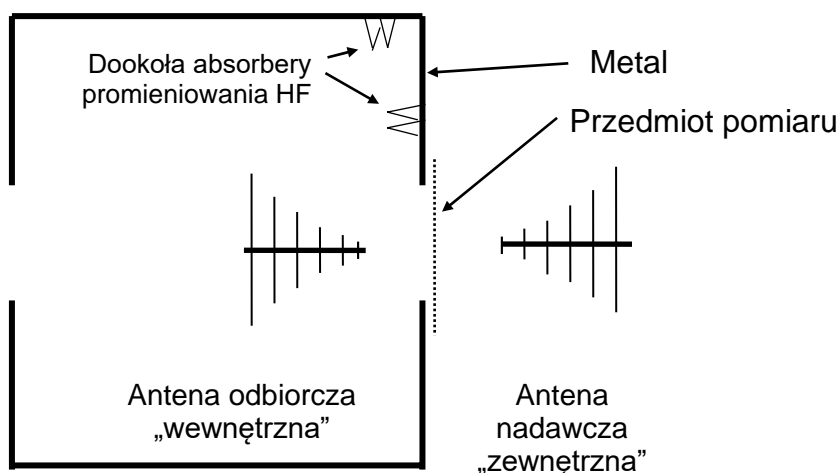
Zastosowano następujące urządzenia pomiarowe:

Wektorowy analizator sieci typu ZVRC (30 kHz – 8 GHz) firmy Rohde & Schwarz, koncentryczne sondy pomiarowe TEM (1 MHz – 8 GHz) firmy Wandel & Goltermann (zob. zdjęcie). Dokumentacja: OfficeJet 500 firmy Hewlett & Packard.

Podczas tego pomiaru w układzie TEM na przedmiot pomiaru oddziałują – jak zwykle w przypadku przewodów koncentrycznych – natężenia pola elektrycznego we wszystkich kierunkach polaryzacji. W ten sposób nie można wprawdzie wyciągnąć wniosków na temat zachowania przedmiotu pomiaru wobec określonej polaryzacji liniowej, uzyskuje się jednak ważną informację o tym, jak przedmiot pomiaru będzie zachowywać się wobec polaryzacji z dowolnych kierunków. Taka polaryzacja zwykle występuje w praktyce, dlatego wyniki pomiarów są bardzo realistyczne.

2.1 Pomiar tłumienności ekranowej wg IEEE 299-2006 w zakresie od 6 GHz do 40 GHz

Te pomiary zostały przeprowadzone zgodnie ze standardem IEEE 299-2006 w pomieszczeniu pomiarowym Radarhalle Uniwersytetu Bundeswehry w Monachium w Neubibergu w dniu 28.05.2019 r. w zakresie częstotliwości od 6 GHz do 18 GHz z falami spolaryzowanymi liniowo. W tym celu próbki – jak przedstawiono to na poniższym rysunku – umieszczono przed otworem o wymiarach 40 x 40 cm, znajdującym się w metalowej ścianie (powierzchnia 210 cm x 200 cm).



Rys. 1. Układ pomiarowy wg IEEE 299-2006

Po kalibracji odcinka pomiarowego (bez próbki, w celu ustalenia wartości transmisji 0 dB) zmierzono tłumienność ekranową próbek.

Aby uniknąć nadmiernego promieniowania sygnałów pomiarowych na bokach próbek, zostały one zamocowane bezpośrednio między obiema antenami tubowymi.

Zastosowano następujące urządzenia pomiarowe i anteny:

Skalarny analizator sieci typu 562+6669B (10 MHz – 40 GHz) firmy Wiltron. Anteny pomiarowe: 2 dwugrzbietowe anteny tubowe HF 906 (1 GHz – 18 GHz) R&S.

Skalarny analizator sieci typu 562+6669B (10 MHz – 40 GHz) firmy Wiltron.
Anteny pomiarowe: 2 wykładnicze anteny tubowe pasma L (20 GHz – 40 GHz) firmy Narda.

3. Podsumowanie wyników

W załącznikach przedstawiono tłumienność ekranową **farby ekranującej T 98** wobec fal elektromagnetycznych w zależności od częstotliwości. Po prawej stronie podano wartości tłumienności ekranowej dla niektórych istotnych częstotliwości sieci komórkowych w decybelach.

Dla lepszej przejrzystości wartości te podano w poniższej tabeli.

Farba ekranująca T 98	Tłumienność ekranowa w dB		
	Pomiar dla jednej warstwy	Pomiar dla dwóch warstw	Pomiar dla trzech warstw
Technologia radiowa			
Sieć C, TETRA, 450 MHz	40 dB	49	51 dB
Sieć D, GSM900, 900 MHz,	40 dB	49	52 dB
Sieć E, GSM1800, 1800 MHz	41 dB	52	56 dB
Bluetooth, WLAN 2450 MHz	42 dB	54	58 dB
5G (pasmo sub-6 GHz) 3,4–3,8 GHz	41 dB	53	60 dB
W-LAN nowej generacji 5,8 GHz	42 dB	52	66 dB

Tabela 3: wartości tłumienności ekranowej dla różnych częstotliwości

Dodatkowe pomiary do 40 GHz wg IEEE 299-2006

Użyte urządzenia pomiarowe

Skalarny analizator sieci typu 562+6669B firmy Wiltron, 10 MHz – 40 GHz

Przedmiot pomiaru:

Farba ekranująca GEOVITAL T98

Dwuwarstwowa powłoka na płycie drewnianej o grubości 3 mm z wydajnością 4 m²/litr, trzywarstwowa z wydajnością 2,7 m²/litr

Data pomiarów:

28.05.2019 r.

Wyniki pomiarów:

Częstotliwość pomiarowa	20 GHz	25 GHz	30 GHz	35 GHz	38 GHz	40 GHz
Geovital T98 4 m ² /litr	50 dB	49 dB	47 dB	40 dB	40 dB	38 dB
2,7 m ² /litr	55 dB	50 dB	47 dB	44 dB	42 dB	41 dB

Tabela 4: wartości tłumienności ekranowej dla różnych częstotliwości

4. Ocena końcowa:

Farba ekranująca T 98 (jedna warstwa) w całym istotnym zakresie częstotliwości sieci komórkowych wykazuje działanie ekranujące na poziomie ponad **40 dB**. Oznacza to, że powłoka farby przepuszcza mniej niż **0,01%** docierającej mocy. Zatrzymywanych jest 99,99% mocy.

W przypadku **dwuwarstwowej** powłoki farby skuteczność ekranowania zwiększa się do 41 dB, a w przypadku **trójwarstwowej** – nawet do ponad **51 dB**. Teraz przepuszczany jest zaledwie **0,001%**. Zatrzymywane jest 99,999% docierającej mocy.

W przypadku wprowadzanej obecnie **technologii radiowej 5G o częstotliwości 3,4 GHz – 3,8 GHz** jednowarstwowa powłoka farby T 98 zapewnia tłumienność ekranową na poziomie **41 dB**, dwuwarstwowa – na poziomie **53 dB**, a trójwarstwowa powłoka **farby ekranującej T 98** gwarantuje tłumienność na poziomie nawet **60 dB**. Przez powłokę farby jest przepuszczana zaledwie mniej niż jedna milionowa część docierającej mocy promieniowania HF. **99,9999%** docierającej mocy jest przez nią eliminowane.

Dodatkowe pomiary do 40 GHz wg IEEE 299-2006


Badana **farba ekranująca T 98** naniesiona jednowarstwowo przy częstotliwości **20 GHz** ($\lambda = 1,5$ cm) wykazuje działanie ekranujące na poziomie **50 dB**. Oznacza to, że ekran przepuszcza **0,001%** docierającej mocy. 99,999% jest eliminowane przez odbicie.

W przypadku trójwarstwowej powłoki skuteczność ekranowania wzrasta nawet do **55 dB**. Teraz przepuszczane jest zaledwie 0,0003% docierającej mocy. 99,9997% docierającej mocy jest „eliminowane” przez odbicie.

Częstotliwości w paśmie **38 GHz** ($\lambda = 0,79$ cm) będą wykorzystywane w **przyszłej technologii radiowej 5G**. W tym przypadku farba ekranująca zapewnia tłumienność ekranową na poziomie nieco powyżej **42 dB**, tzn. przepuszczanych jest mniej niż **0,01%** docierającej mocy. 99,99% docierającej mocy nie przenika przez farbę.

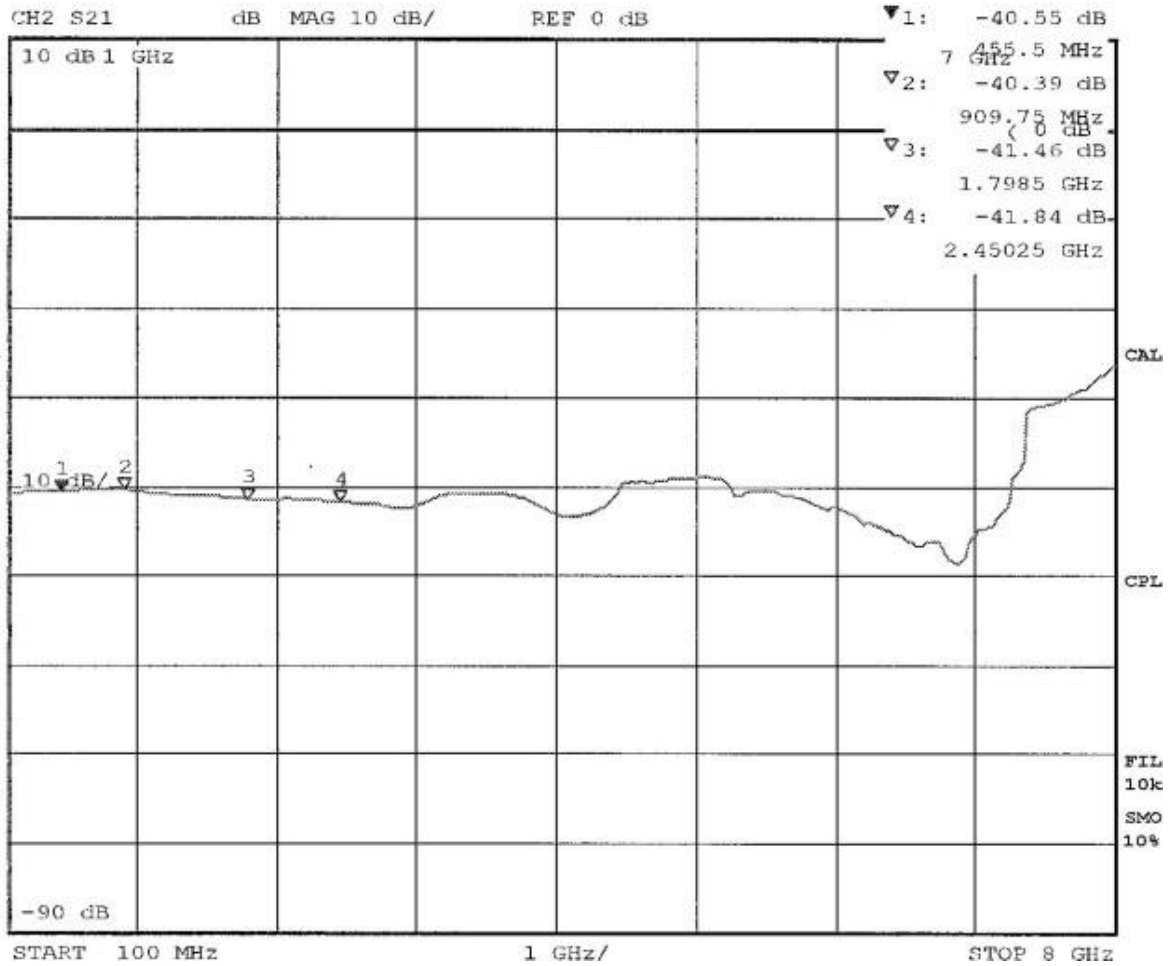
Wyniki pokazują, że farba ekranująca T 98 w przypadku starannego naniesienia powłoki wykazuje doskonale właściwości ekranujące promieniowanie HF.

Neubiberg, 31.05.2019 r.

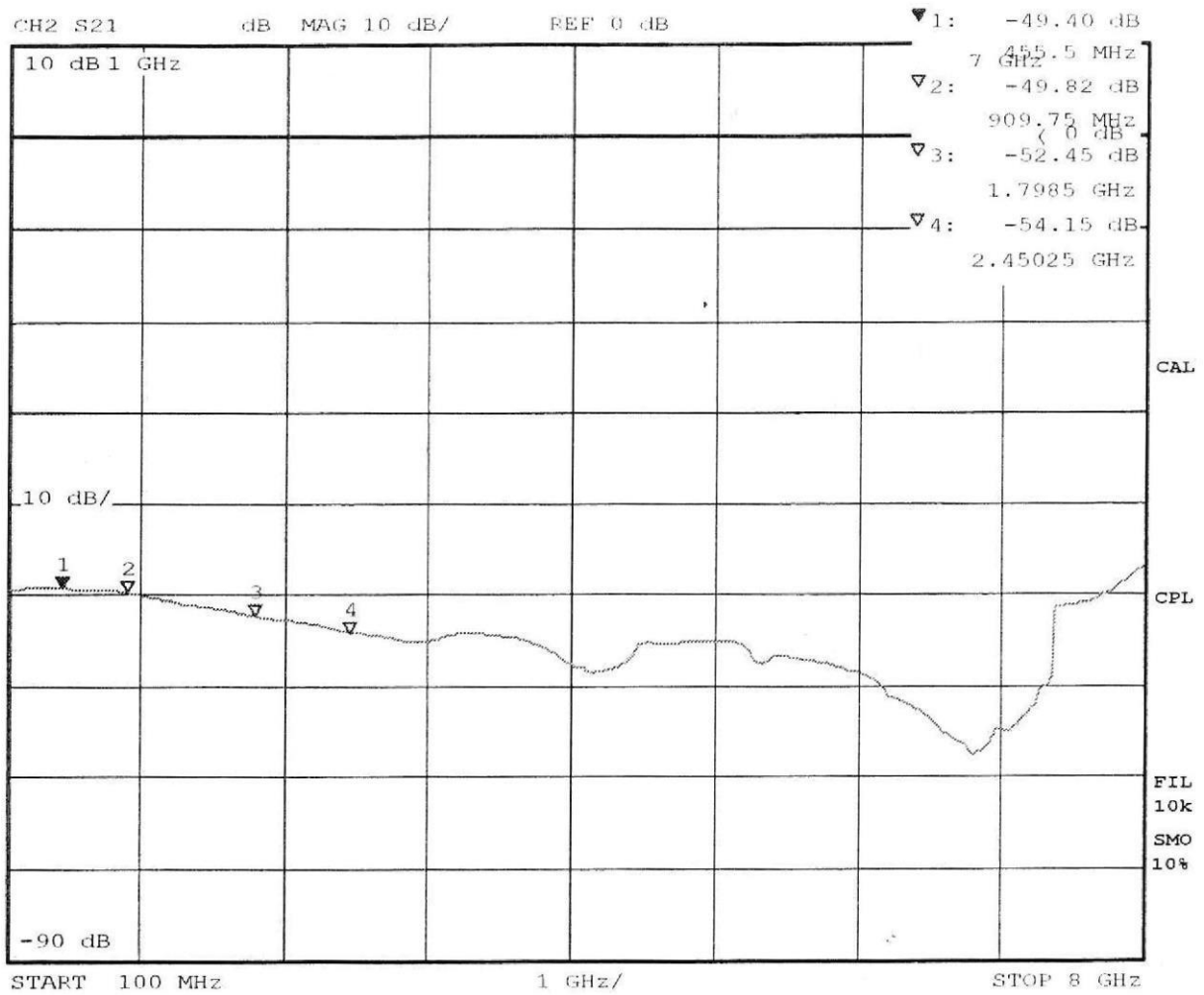


prof. inż. P. Pauli

Przedmiot pomiaru: Farba ekranująca T 98 powłoka jednowarstwowa
Zakres częstotliwości 100 MHz – 8 GHz



Przedmiot pomiaru: Farba ekranująca T 98 powłoka dwuwarstwowa
Zakres częstotliwości 100 MHz – 8 GHz



Przedmiot pomiaru: Farba ekranująca T 98 powłoka trójwarstwowa
Zakres częstotliwości 100 MHz – 8 GHz

