

NIEKTÓRE ASPEKTY KONSTRUKCJI POWŁOK EKRANUJĄCYCH I ABSORPCYJNYCH

Część I

W artykule przedstawiono niektóre aspekty teoretyczne i praktyczne związane z projektowaniem i konstrukcją materiałów (powłok) ekranujących i absorpcyjnych wykorzystywanych w technice cywilnej i wojskowej. Technice cywilnej głównie do zmniejszenia prawdopodobieństwa narażenia ludzi i środowiska na promieniowanie elektromagnetyczne, a wojskowej do maskowania jako zabezpieczenia działań wojsk, obejmującego zamierzenia, przedsięwzięcia i czynności, mające na celu ukrycie stanu faktycznego i wprowadzenie w błąd przeciwnika. Artykuł podzielony jest na dwie części. W pierwszej części omówiono ogólne zagadnienie dotyczące promieniowania elektromagnetycznego, podano i omówiono definicję skuteczność ekranowania oraz przedstawiono działania zapobiegawcze przed „niechcianym” promieniowaniem elektromagnetyczne w środowisku cywilnym.

W drugiej części artykułu omówiono aspekty wojskowe, w tym wymagania stawiane materiałom wykorzystywanym w technice maskowania obiektów na polu walki.

1. Wstęp

Każde urządzenie elektroniczne jest źródłem promieniowania elektromagnetycznego, które w zależności od potrzeb, można rozpatrywać jako zjawisko pożądane lub efekt uboczny pracy urządzenia. Efekt uboczny, tzn. źródło zakłóceń pracy innych urządzeń lub stanowiący zagrożenia dla środowiska naturalnego, w tym ludzi. Źródłami promieniowania mogą być urządzenia:

- elektroenergetyczne, np. linie energetyczne, trakcje kolejowe, trakcje tramwajowe;
- telekomunikacyjne, np. radiowe stacje nadawcze, stacje bazowe telefonii komórkowej, radiolinie;
- radiolokacyjne o przeznaczeniu cywilnym, np. radary lotniskowe, radary ostrzegawcze, radary metrologiczne;
- radiolokacyjne o przeznaczeniu wojskowym;
- medyczne, np. diatermia;
- elektrotechniczne, np. zgrzewarki, piece;
- powszechnego użytku, np. kuchenki mikrofalowe, telefony komórkowe i bezprzewodowe oraz odbiorniki radiowe i telewizyjne.

Jak wcześniej wspomniano, każde wymienione powyżej urządzenie może być źródłem pożadanego promieniowania, jak np. nawiązanie i prowadzenie rozmowy przez telefon

komórkowy czy radiostację, wykrywanie statków powietrznych czy też monitoring warunków metrologicznych. Może stanowić także źródło promieniowania niepożądane z punktu widzenia:

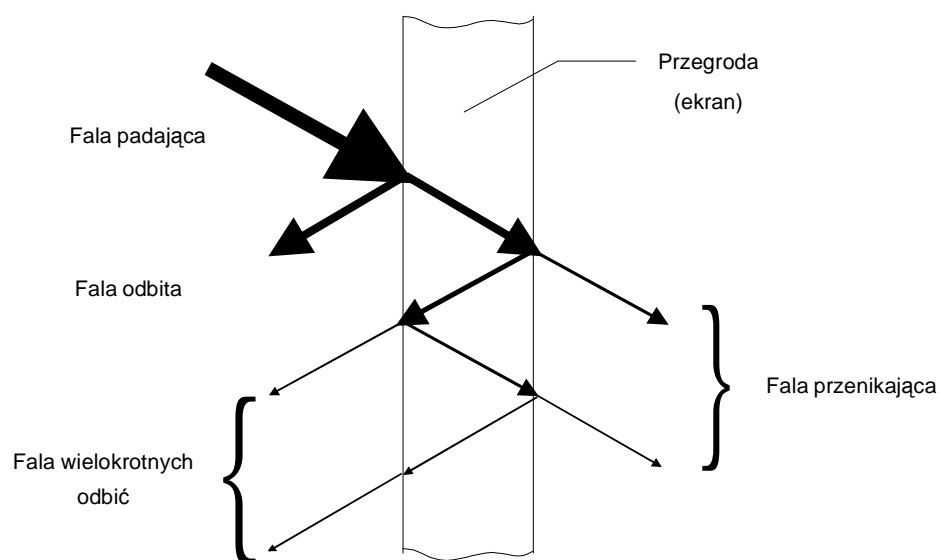
- zakłócania pracy innych urządzeń, np. telefon komórkowy a stymulator serca;
- ochrony środowiska w zakresie bezpieczeństwa i higieny pracy, np. zdrowia osób pracujących w otoczeniu źródeł promieniowania;
- techniki wojskowej - zwiększenie prawdopodobieństwa wykrycia na potencjalnym polu walki.

W celu ograniczenia niepożądanych oddziaływań bezpośrednich, warunki ekspozycji w otoczeniu źródeł promieniowania poddaje się okresowej kontroli i ocenie w oparciu o kryteria ustalone odpowiednimi przepisami ochrony środowiska naturalnego [1]. Wnioski z tej oceny odnoszą się również do potrzeby wprowadzenia niezbędnych działań prewencyjnych i zapobiegawczych, np. zastosowanie ekranów, ubiorów ochronnych, parawanów ekranujących i absorpcyjnych. W przypadku techniki wojskowej stosowanie różnych sposobów maskowania, np. siatki maskujące, absorbery mikrofalowe, farby, narzuty itp.

2. Podstawy teoretyczne

Przy projektowaniu i wyborze materiałów do konstrukcji ekranów, elementów maskujących, ubiorów kamuflażowych czy też ubiorów ochronnych istotnym elementem jest znajomość, oprócz parametrów podanych w tabeli 1, własności tych materiałów w wymaganym paśmie częstotliwości, tzn. (rys.1):

- współczynnika odbicia - odbicie fali elektromagnetycznej od granicy ośrodków, wynikające z niedopasowanie impedancji falowej ośrodków. Należy uwzględnić także tą część pola, która wynika z wewnętrznych odbić w materiale (ekranie);
- współczynnika absorpcji - pochłanianie energii pola przez materiał (wliczając zjawisko wewnętrznych odbić);
- współczynnika transmisji - przenikanie pola do ośrodka za przegrodą (ekranem, ubiorem, itp.). Odwrotność tego współczynnika mówi o skuteczności ekranowania.



Rys. 1

W literaturze można spotkać różne definicje pojęcia ekranowanie. Zgodnie z [2]:

Ekranowanie elektromagnetyczne jest procesem konstrukcyjno-technicznym, polegającym na otoczeniu jakiejś przestrzeni odpowiednim materiałem w celu zmniejszenia poziomów pól elektromagnetycznych po przeciwnej stronie ekranu w stosunku do umiejscowienia źródła pola.

Parametrem charakteryzującym dowolny ekran jest jego skuteczność ekranowania wyrażona zależnością:

$$S = 20 \log \frac{A_1}{A_2} \quad [dB] \quad 1)$$

gdzie: A_1 A_2 odpowiednio natężenie pola elektrycznego (magnetycznego) przed i za ekranem.

Biorąc pod uwagę zjawiska zachodzące na granicy dwóch ośrodków, własności absorpcyjne wewnątrz ekranu (lub innego materiału) oraz efekt wewnętrznego odbicia to zależność określająca skuteczność ekranowania można zapisać w postaci logarytmicznej;

$$S \text{ [dB]} = K_{\text{odb}} \text{ [dB]} + K_{\text{abs}} \text{ [dB]} \times K_{\text{wodb}} \text{ [dB]} \times K_{\text{korekcji}} \text{ [dB]} \quad 2)$$

lub w liniowej:

$$S = k_{\text{odb}} \times k_{\text{abs}} \times k_{\text{wodb}} \times k_{\text{korekcji}} \quad 3)$$

gdzie:

- k_{odb} - współczynnik charakteryzujący wpływ zjawiska odbicia na granicy dwóch ośrodków;
- k_{abs} - współczynnik charakteryzujący absorpcję wewnętrzną ekranu (lub innego materiału);
- k_{wodb} - współczynnik charakteryzujący wpływ wewnętrznych odbić w ekranie;
- k_{korekcji} - współczynnik charakteryzujący wielokrotne odbicie wewnątrz ekranu.

Poszczególne współczynniki można obliczyć z podanych poniżej przybliżonych zależności [6], [7]:

$$k_{\text{odb}} \approx \frac{\sigma \delta}{4\sqrt{2} \cdot 2\pi f_0 \epsilon_0 R} \quad 4)$$

$$k_{\text{abs}} \approx e^{\frac{d}{\delta}} \quad 5)$$

$$k_{korekcji} \approx \frac{2d}{\delta} \quad 6)$$

$$\delta \approx (2n-1) \frac{\lambda_0}{4\sqrt{\epsilon_w \mu_w}} \quad 7)$$

- gdzie: σ - konduktywność materiału, z którego wykonano ekran (materiał) [8];
 δ - głębokość wnikania pola elektromagnetycznego w ekran (materiał), przy którym jego moc spada o 50%;
 d - grubość ekranu;
 n - zależy od wartości tangensa stratności materiału dla ϵ i μ ;
 ϵ_w - względna przenikalność dielektryczna materiału, z którego wykonano, np. ekran;
 ϵ_0 - przenikalność dielektryczna powietrza;
 μ_w - względna przenikalność magnetyczna materiału, którego wykonano, np. ekran;
 λ_0 - długość fali promieniowania elektromagnetycznego w powietrzu;
 R - odległość ekranu od źródła pola.

Z analizy przytoczonych powyżej zależności wynika:

- zjawisko odbicia jest tym większe im jest większa różnica impedancji „stykających” się ośrodków, np. powietrze – ekran. W polu dalekim impedancja wolnej przestrzeni wynosi 377Ω ;
- najmniejszą głębokość wnikania pola w materiał ekranu można uzyskać przy dużych ϵ_w i μ_w oraz tangensach stratności. Im mniejsza głębokość wnikania, przy założonej grubości ekranu, to większy współczynnik absorpcji;
- jeżeli chce się zaprojektować ekran o bardzo małej grubości to należy zastosować materiał o bardzo dużych ϵ_w i μ_w oraz tangensach stratności, co spowoduje wzrost impedancji ekranu a tym samym wzrost współczynnika odbicia. Zmniejszając grubość materiału zmniejszamy również wartość współczynnika charakteryzującego wielokrotne odbicie wewnątrz ekranu;
- jeżeli należy zaprojektować bezodbiciowy materiał (dopuszcza się odbicia 1% mocy padającej prostopadle na powierzchnię materiału) to impedancja materiału Z_{mat} musi się równać impedancji ośrodka, z którym on będzie się „stykał” Z_0 . W skrajnym przypadku oznacza to równość przenikalności ϵ_w i μ_w materiału i ośrodka. Praktyczne spełnienie tego warunku jest trudne w realizacji chociażby z tego względu, że μ_w zmienia się w funkcji częstotliwości podczas gdy ϵ_w pozostaje niezależne. Wyjściem jest zaprojektowanie niejednorodnego materiału o zmiennej wartości ϵ_w , który na powierzchni czołowej ma impedancję falową równą impedancji ośrodka (np. powietrza). Wykonanie takiego materiału jest trudne, dlatego projektuje się materiały wielowarstwowe, w którym poszczególne warstwy są jednorodne ze względu na swoją wartość ϵ_w . Należy podkreślić, że projektując jednorodny materiał jednowarstwowy o określonej przenikalności zawsze będzie występowało zjawisko odbicia.

W zależności od przeznaczenia, można wyróżnić trzy rodzaje ekranowania [1,2]:

- lokalizacyjne - zamknięcie pola wewnątrz określonego obszaru, które zapobiega jego rozprzestrzenianiu się, np. obudowy podzespołów mikrofalowych;
- osłaniające - osłonięcie przed polem elektromagnetycznym tylko tej przestrzeni, w której przebywa człowiek;
- maskujące - zapobieganie wykryciu obiektu – aspekty techniki wojskowej.

3. Aspekty cywilne

W środowisku (otoczeniu) cywilnym działania zapobiegawcze przed „niechcianym” promieniowaniem elektromagnetyczne sprowadzają się do zmniejszenia prawdopodobieństwa narażenia ludzi i środowiska na promieniowanie oraz zmniejszenie zakłócającego wpływu promieniowania na działanie urządzeń, głównie elektronicznych. Realizowane jest to poprzez stosowanie ekranowania w różnych formach, np. ekrany, przegrody, ubiory ochronne itp.

W zastosowaniach cywilnych mamy głównie do czynienia z dwoma pierwszymi rodzajami ekranowania, tzn. lokalizującym i osłaniającym. Na ekrany lokalizujące wykorzystuje się:

- blachy metalowe;
- siatki metalowe – efekt ekranowania uzyskuje się przede wszystkim poprzez zjawisko odbicia. Wielkość oczek jest zależna jest od częstotliwości ekranowanego pola;
- różnego rodzaju folie metalowe o grubościach setnych części milimetra;
- farby domieszkowane srebrem, grafitem, sadzą, tlenkami metali (miedź, aluminium, bar itd.);
- tkaniny o specjalnej konstrukcji, jednowarstwowe i wielowarstwowe;
- polimery przewodzące, tzw. syntetyczne metale, w postaci powłok lub folii.

Jak wcześniej zaznaczono na skuteczność ekranowania, będą się składały takie zjawiska, jak: bezpośrednie odbicie od ekranu padającej fali, absorpcja wewnątrz ekranu, jak i efekty wewnętrznych odbić. Jak łatwo zauważyć ekran o takiej samej wartości parametru S może mieć różne własności, może większość pola odbijać, albo mało odbijać a charakteryzować się dużym współczynnikiem absorpcji. Jakimi własnościami ma się charakteryzować materiał na ekran będzie zależało od jego przeznaczenia. Innymi parametrami będzie się charakteryzował materiał na odzież ochronną, a innymi parametrami materiał przeznaczony na ekran wykorzystywany w szpitalu.

W pierwszym przypadku zależy nam na tym, aby w sposób maksymalny izolować człowieka od wpływu pola elektromagnetycznego. Czy to będzie efektem odbicia, czy też odbicia i absorpcji nie jest istotne. Inną sytuację mamy w szpitalu, kiedy ekran ma odizolować chorego na sąsiednim łóżku od promieniowania elektromagnetycznego aktualnie prowadzonego zabiegu innego pacjenta, a jednocześnie ekran nie może zwiększać zagrożenia dla niego samego i lekarza. W tej sytuacji będziemy projektowali materiał o maksymalnie dużym współczynniku absorpcji i jak najmniejszym współczynnikiem odbicia.

Oczywistym jest, że wymienione do tej pory parametry nie są jedynymi, jakie należy brać pod uwagę w procesie projektowania materiałów na ekrany. W tabeli nr 1 podano wykaz norm określających podstawowe parametry (własności) jakim ma odpowiadać materiał, np. na odzież ochronną.

Zgodnie z [5] przyjmuje się, że dla:

- odzieży ochronnej w zakresie częstotliwości od 0.1 MHz do 1000MHz skuteczność ekranowania nie powinna być gorsza niż 20 dB;
- w fizykoterapii i przemyśle w zakresie częstotliwości od 0.3 MHz do 27.12 MHz i 2.45 GHz skuteczność ekranowania powinna się zawierać w przedziale 10-40dB.

OGÓLNE WYMAGANIA NA MATERIAŁY WYKORZYSTYWANE PRZY KONSTRUKCJI POWŁOK EKRAKUJĄCYCH I ABSORPCYJNYCH

Tabela nr 1

Lp	Wymaganie	Norma
1	Maskowanie w zakresie od 0.1 do 3GHz.	od 10 do ponad 40 dB Wymagania różne w zależności od przeznaczenia. Przy ekranowaniu np. urządzeń do rezonansu magnetycznego skuteczność ekranowania powinna być większa niż 100 dB.
2	Przyczepność powleczenia.	PN-93/P-04965
3	Maksymalne siły zrywające.	PN-EN ISO 13934-1:2002
4	Wydłużenie względne.	PN-EN ISO 13934-1:2002
5	Siła rozdzierania.	PN-EN ISO 13937-2:2002
6	Wytrzymałość na rozdzieranie.	PN-EN ISO 9073-4:2002
7	Wytrzymałość na wypychanie.	PN-EN ISO 13938-1:2002
8	Przepuszczalność powietrza.	PN-EN ISO 9237:1998
9	Odporność na zginanie.	PN-EN ISO 7854:2002; PN-73/P-04631
10	Odporność na sklejanie.	PN-EN ISO 5978:1996
11	Zmiana wymiarów po praniu.	PN-EN ISO 25077:1998
12	Odporność wybarwień na światło.	PN-EN ISO 105-B02:1997 – A1:2001
13	Odporność wybarwień na pranie.	PN-EN ISO 20105-C01:1997
14	Odporność na pot.	PN-EN ISO 105-E04:1998
15	Odporność na prasowanie.	PN-EN ISO 105-X11:2000
16	Odporność na tarcie.	PN-EN ISO 102-X12:2000
17	Odporność na działanie światła dziennego.	PN-EN ISO 105-B01:1997 – A1:1999
18	Odporność na ścieranie.	PN-EN 530:1998/AC:2000
19	Współczynnik połysku.	PN-EN ISO 2813:2001; NO-10-A504:2000
20	Oporność pomiędzy wszystkimi odległymi punktami.	Mniej niż 40 Ω

4. Zakończenie

Druga część artykułu będzie dotyczyła niektórych aspektów konstrukcji powłok ekranujących i absorpcyjnych w zastosowaniach wojskowych. Podane zostaną również wymagania jakim powinny odpowiadać materiały stosowane do maskowania obiektów.

Literatura:

- [1] Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 30.10.2003r. w sprawie dopuszczalnych poziomów pól elektromagnetycznych w środowisku oraz sposobów sprawdzania dotrzymania tych poziomów
- [2] P. ZRADZIŃSKI „Profilaktyka zagrożeń elektromagnetycznych – symulacje komputerowe i badania osłon ekranujących. CIOP”
- [3] K. GRYZ „Pola elektromagnetyczne w środowisku pracy. CIOP”
- [4] H. KORNIWICZ „Ekranowanie źródeł pól elektromagnetycznych 0.1 –300MHz. Prace CIOP”
- [5] P.MAMROT, H.ANIOŁCZYK „Metoda pomiaru tłumienia małych próbek włókienniczych materiałów elektroprzewodzących” IMP Łódź.
- [6] A. KOSZMIDER „Kompatybilność elektromagnetyczna”
- [7] R. LITWIN, M.SUSKI „Technika mikrofalowa”
- [8] K.B. CHENG „Electromagnetic shielding effectiveness of cooper/glass fiber