

płk dr inż. JAROSŁAW KIELISZEK  
 mjr dr inż. JAROMIR SOBIECH  
 dr hab. med. WANDA STANKIEWICZ, prof. WIHE  
 Zakład Ochrony Mikrofalowej, Wojskowy Instytut Higieny i Epidemiologii  
 im. gen. Karola Kaczkowskiego  
 Kontakt: jkieliszek@wihe.waw.pl

# Ekspozycja zawodowa na impulsowe pola elektromagnetyczne wytwarzane przez urządzenia techniki wojskowej

Fot. autor



Eksploatacja urządzeń techniki wojskowej wiąże się w znacznym zakresie z koniecznością przebywania w polu elektromagnetycznym o wartościach stref ochronnych bezpieczeństwa i higieny pracy, ustanowionych w przepisach krajowych. Wartości natężeń pola elektromagnetycznego na stanowiskach pracowników, obsługujących te urządzenia, często przewyższają wartości występujące przy urządzeniach stosowanych w innych działach gospodarki. Polskie Normy tylko częściowo uwzględniają specyfikę urządzeń wojskowych. Ich bezpośrednie zastosowanie prowadzi w wielu wypadkach do niedoszacowania narażenia na pole elektromagnetyczne strefy bliskiej anten radarów.

W artykule przedstawiono analizę wielkości natężeń pola elektrycznego występującego wokół urządzeń wytwarzających silne pola modulowane impulsowo. Na podstawie uzyskanych wyników badań dokonano analizy ekspozycji personelu obsługującego te urządzenia na stałych i zmiennych stanowiskach pracowników. Przeprowadzona ocena wskazuje stanowiska i obszary wokół urządzeń techniki wojskowej, które powinny podlegać szczególnej ochronie ze względu na zwiększone narażenie personelu.

*Słowa kluczowe: pole elektromagnetyczne, pole bliskie, ekspozycja, urządzenia radiolokacyjne*

## Occupational exposure to pulsed electromagnetic fields generated by military equipment

Operating military technology is highly related to necessary exposure to electromagnetic fields, whose values are specified in national regulations on protection zones of occupational safety and health. Values of strength of electromagnetic fields in locations of people operating such devices often exceed values near devices in other areas of the economy. Polish standards only partially take into account the specificity of military equipment. The direct use of such devices in many cases leads to an underestimation of exposure to electromagnetic fields in the near field of radar antennas. This paper presents an analysis of the strength of electromagnetic fields near devices generating strong pulse modulated fields. Based on the measurement results, exposure of personnel operating devices at fixed and variable workstations was analysed. The evaluation indicates workstations and areas around military equipment that should be especially protected due to an increased exposure of personnel.

*Keywords: electromagnetic fields, near-field, exposure, radar*

## Wstęp

Urządzenia emitujące pola elektromagnetyczne stanowią w resorcie obrony narodowej znaczącą część sprzętu techniki wojskowej. Zaliczyć do nich można całą gamę urządzeń łączności, o różnych mocach wyjściowych, jak również bardzo dużą

rodzinę urządzeń radiolokacyjnych. Ze względu na specyfikę pracy urządzeń radiolokacyjnych, w artykule omówiono wyłącznie tę grupę urządzeń. Wytwarzane przez urządzenia radiolokacyjne, odległościomierze i wysokościomierze, promieniowanie elektromagnetyczne charakteryzuje się w zdecy-

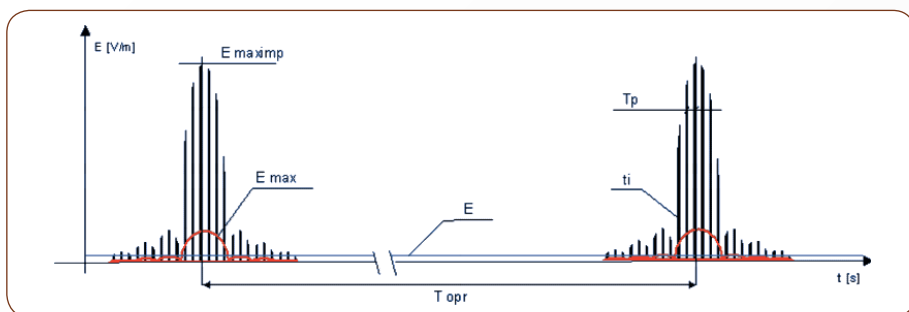
dowanej większości modulacją impulsową. Czas trwania impulsu jest setki razy krótszy od okresu jego powtarzania. Czas trwania impulsu oraz okres powtarzania są parametrami dostosowanymi do taktyczno-technicznych uwarunkowań pracy i przeznaczenia urządzenia radiolokacyjnego. Promieniowanie to jest ponadto zmienne w przestrzeni w związku z mechanicznym lub elektronicznym przemieszczaniem charakterystyki antenowej, co sprawia, że wartość natężenia pola elektrycznego osiągnąć może bardzo duże wartości w impulsie przy niskiej wartości średniej (bardziej szczegółowy opis urządzeń radiolokacyjnych przedstawiono w załączniku).

Polskie przepisy ogólnokrajowe [1,2] tylko częściowo uwzględniają specyfikę pracy urządzeń techniki wojskowej. Ich bezpośrednie zastosowanie do oceny narażenia żołnierzy na pole elektromagnetyczne prowadzi w wielu wypadkach do niedoszacowania narażenia, szczególnie w przypadku urządzeń radiolokacyjnych. Wobec tego stworzono w resorcie obrony narodowej kompleksowy zbiór przepisów resortowych w zakresie bezpieczeństwa i higieny pracy w polach elektromagnetycznych [3,4,5,6].

## Pomiary impulsowych pól elektromagnetycznych emitowanych przez urządzenia radiolokacyjne

Zgodnie z aktualnie obowiązującą metodyką pomiaru pól elektromagnetycznych i oceny pola na stanowiskach pracowników ustaloną w Normie Obronnej NO-NO-06-A215-1: 2007 „Bezpieczeństwo i higiena pracy – Ochrona przed promieniowaniem elektromagnetycznym – Część 2: Metody badań” do oceny ekspozycji od pól impulsowych należy przyjmować uśrednioną wartość skuteczną natężenia pola elektrycznego. Norma dopuszcza również wykonywanie pomiarów gęstości mocy.

W obu wyróżnionych grupach urządzeń radiolokacyjnych (odległościomierzach i wysokościomierzach) promieniowanie mikrofalowe występuje w punkcie pomiarowym okresowo przez bardzo krótki czas, zależny od szerokości charakterystyki kierunkowej i sektora obserwacji. Specyfikę występowania promieniowania impulsowego w punkcie pomiarowym przedstawia rys. 1.



Rys. 1. Specyfika występowania promieniowania elektromagnetycznego w punkcie pomiarowym w czasie oświetlenia go przez urządzenie radiolokacyjne ( $T_p \ll T_{opr}$ )

Fig. 1. The specification of electromagnetic field in the measurement point over the time of exposure from radar ( $T_p \ll T_{opr}$ )

W tej sytuacji do prawidłowego określenia narażenia personelu na pole elektromagnetyczne niezbędna jest znajomość trzech parametrów natężenia pola elektrycznego  $E$  [V/m], tj.  $E_s$ ,  $E_{max}$ ,  $E_{max imp}$ , gdzie:

- $E_s$  [V/m] – wartość skuteczna natężenia pola elektrycznego (jest to wartość uśredniona za dowolny, dostatecznie długi czas lub za okres obrotu anteny)

- $E_{max}$  [V/m] – maksymalna wartość skuteczna natężenia pola elektrycznego (jest to wartość uśredniona za okres powtarzania impulsów), określona wzorem:

$$E_{max} = E_{max imp} t_i / T_p \quad (1)$$

gdzie:  $E_{max imp}$  [V/m] – maksymalna wartość natężenia pola elektrycznego w impulsie,  $t_i$  – czas trwania impulsu,  $T_p$  – czas powtarzania impulsów – jak na rys. 3.

Dla prawidłowej oceny narażenia wszystkie te wartości powinny być brane pod uwagę. Istnieje jednak problem z realizacją pomiaru tych wielkości ogólnie dostępnymi miernikami pola elektromagnetycznego w związku z bardzo wąską charakterystyką antenową i bardzo szybkimi zmianami pola w punkcie pomiarowym. Sondy pomiarowe takich mierników nie są w stanie prawidłowo odtworzyć obwiedni impulsów radiolokacyjnych, co w konsekwencji wiąże się z nieprawidłowymi wskazaniami mierników. Dla ogólnie dostępnych mierników pola elektromagnetycznego przy wykonywaniu pomiarów urządzeń radiolokacyjnych, które posiadają ruchomą charakterystykę antenową, należy zatrzymać antenę i dokonywać pomiaru maksymalnej wartości skutecznej natężenia pola elektrycznego ( $E_{max}$ ). W tym przypadku wymagane jest jednak dodatkowe wzorcowanie miernika w polu impulsowym o parametrach czasowych odpowiadających mierzonemu impulsom. Z pomiaru tego wartość skuteczną natężenia pola elektrycznego ( $E_s$ ) może być wyznaczona przy uwzględnieniu współczynnika korekcyjnego  $K$ .

Sposób wyznaczania wartości skutecznej natężenia pola elektrycznego ( $E_s$ ) z uwzględnieniem charakterystyki przestrzennej anteny urządzenia radiolokacyjnego oraz specyfiki jego pracy, określony w [2,5], przedstawiony został poniżej.

Wartość skuteczną natężenia pola elektrycznego w punkcie pomiarowym (uśredniona za okres przeszukiwania przestrzeni) jest równa:

$$E_s = E_{max} K \quad (2)$$

$K$  – współczynnik korekcyjny określony zależnością:

$$K = K_A K_E \quad (3)$$

$K_A$  – współczynnik korekcyjny dla płaszczyzny azymutu określony zależnością:

$$K_A = \frac{3 \theta_A}{\Psi_A} \quad (4)$$

gdzie:

$\theta_A$  – szerokość wiązki promieniowania na poziomie połowy mocy maksymalnej (3 dB), w płaszczyźnie azymutu (poziomej) w stopniach

$\Psi_A$  – szerokość sektora obserwacji w płaszczyźnie azymutu, w stopniach, jeżeli antena wykonuje pełny obrót dookoła swej osi to  $\Psi_A = 360^\circ$ .

$K_E$  – współczynnik korekcyjny dla płaszczyzny elewacji określony zależnością:

$$K_E = \frac{3 \theta_E}{\Psi_E} \quad (5)$$

gdzie:

$\theta_E$  – szerokość wiązki promieniowania na poziomie połowy mocy (3 dB), w płaszczyźnie elewacji (pionowej) w stopniach

$\Psi_E$  – szerokość sektora obserwacji w płaszczyźnie elewacji, w stopniach

oraz:

$$K_A = 1, \text{ jeżeli } 3 \theta_A \geq \Psi_A \text{ lub } \Psi_A = 0^\circ$$

$$K_E = 1, \text{ jeżeli } 3 \theta_E \geq \Psi_E \text{ lub } \Psi_E = 0^\circ$$

W przypadku, gdy w punkcie pomiarowym wartość  $E_{max}$  nie przekracza o 5 dB wartości natężenia pola na kierunkach listków bocznych, przyjmuje się  $K = 1$ .

Dla odległościomierzy i radarów trójwspółrzędnych współczynnik korekcyjny  $K$  zwykle przyjmuje wartość:

$$K = K_A = \frac{3 \theta_A}{\Psi_E} = \frac{3 \times 1,5}{360} = 0,013 \quad (6)$$

Dla wysokościomierzy współczynnik korekcyjny  $K$  zwykle przyjmuje wartość:

$$K = K_A K_E = \frac{3 \theta_A}{\Psi_A} \frac{3 \theta_E}{\Psi_E} = \frac{3 \times 3}{360} \frac{3 \times 1}{30} = 0,003 \quad (7)$$

Powyższe przeliczenia należy stosować w przypadku stosowania ogólnie dostępnych mierników pola elektromagnetycznego, które po przeprowadzeniu dodatkowego wzorcowania w polach impulsowych posiadają możliwości pomiarów impulsowych pól stacjonarnych (przypadek, gdy istnieje możliwość zatrzymania obrotów anteny). W pozostałych przypadkach występowania impulsowych pól niestacjonarnych, miernik powinien mieć możliwość pomiaru wszystkich trzech wartości natężenia pola elektrycznego ( $E_s$ ,  $E_{max}$ ,  $E_{max imp}$ ).

Uśrednianie za okres zmienności pola w otoczeniu urządzeń radiolokacyjnych wytwarzających pole o zmiennym okresowo rozkładzie przestrzennym natężenia pola jest funkcją odległości od anteny, szerokości sektora obserwacji oraz szerokości wiązki anteny w strefie dalekiej. W Polskiej Normie [2] przy uśrednianiu za okres zmienności pola uwzględnia się tylko szerokość wiązki w strefie dalekiej oraz



Rys. 2. Wartości chwilowe natężenia pola elektrycznego w pionach pomiarowych umieszczonych w odległościach 6, 25 i 100 m od osi anteny odległościomierza

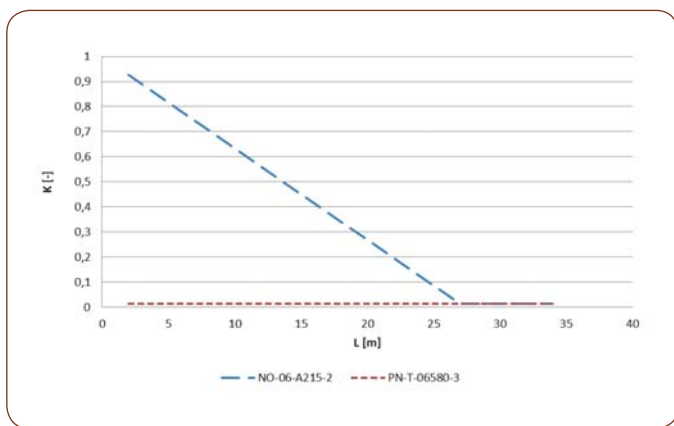
Fig. 2. The instantaneous value of electric field strength in the measure axis at the distance of 6, 25 and 100 m from the surveillance radar antenna



Rys. 3. Wartości chwilowe natężenia pola elektrycznego w pionach pomiarowych umieszczonych w odległościach 7, 20 i 100 m od osi anteny wysokościomierza

Fig. 3. The instantaneous value of electric field strength in the measure axis at the distance of 7, 20 and 100 m from the height finder radar antenna

szerokość sektora obserwacji. W bezpośrednim sąsiedztwie anteny rozkład przestrzenny natężenia pola elektrycznego istotnie różni się od podawanych w dokumentacji technicznej urządzenia charakterystyk kierunkowych anteny w strefie dalekiej. Różnice te są szczególnie widoczne w otoczeniu anten urządzeń radiolokacyjnych, gdzie z uwagi na wymagania eksploatacyjne, anteny osiągają rozmiary wielokrotnie przewyższające długość fali wytwarzanego pola elektromagnetycznego. Na rys. 2. i 3. przedstawiono zależność wartości chwilowej natężenia pola elektrycznego występującego w pionach pomiarowych rozmieszczonych w wybranych odległościach od obracającej się anteny odległościomierza oraz wysokościomierza. Widać, jak rozkład przestrzenny pola elektromagnetycznego wraz z rosnącą odległością od anteny urządzenia przybliża się do charakterystyki kierunkowej anteny w strefie dalekiej. Z analizy zmian pola elektromagnetycznego w pionach pomiarowych umieszczonych w odległości porównywalnej z rozmiarami anteny wynika, że stosowanie Polskiej Normy [2] w tym obszarze



Rys. 4. Porównanie współczynnika korekcyjnego K wyznaczanego zgodnie z Normą Obronną i Polską Normą

Fig. 4. The comparison of the correctional coefficient K according to the Polish Standard and the Defense Standard

proceeds to underestimation of personnel exposure to the electromagnetic field [7].

The Defense Standard [5] solves this problem. In measurements taken at distances from the antenna not greater than three times its maximum dimension, the correction coefficient is determined according to the dependence given in [2]. The difference in the values of the correction coefficient K for the antenna with a width of 9 m is shown in Fig. 4. In this example, the correction coefficient K determined according to the Polish Standard [2] is  $K=0,013$ .

### Ocena narażenia personelu na pola elektromagnetyczne emitowane przez urządzenia radiolokacyjne

The specific task of radar stations is the work of rotating or gimballed transmitting antennas. Due to the fact that the antenna emits electromagnetic radiation in the direction of the antenna. The point of measurement is irradiated not only by the antenna, but also by the antenna in the direction of the antenna. Exposure to the electromagnetic field occurs only in certain periods of time, which is shorter than the time of observation. It does not concern the area around the antenna. In the area of the antenna, the electromagnetic field is present in a continuous manner, independently of the rotation of the antenna.

Example distributions of power density around radar stations, i.e. range finder and height finder, are shown in Fig. 5.

From Fig. 5, it can be seen that the power density values around the range finder and height finder differ significantly. The differences result from the fact that the power density values, like the power density values, are different for the two antennas, due to the differences in the widths of the beams and the observation sectors. In both cases, the power density values are high at short distances from the antenna, but they decrease as the distance from the antenna increases. The power density values are different for the two antennas, due to the differences in the widths of the beams and the observation sectors.

In the case of the range finder, the gradient of the power density in the function of the distance from the antenna is bar-

redly high at a distance of 20 m from the antenna. Above this distance, the power density also decreases systematically, but the change is much slower. In the case of the height finder, the changes are not so monotonic – at a distance of 20 m from the antenna, the power density decreases with a similar gradient as for the range finder, but it reaches a minimum at about 40 m from the antenna, then it begins to increase again, reaching a maximum at a distance of about 160 m from the antenna. Above this distance, the power density decreases systematically.

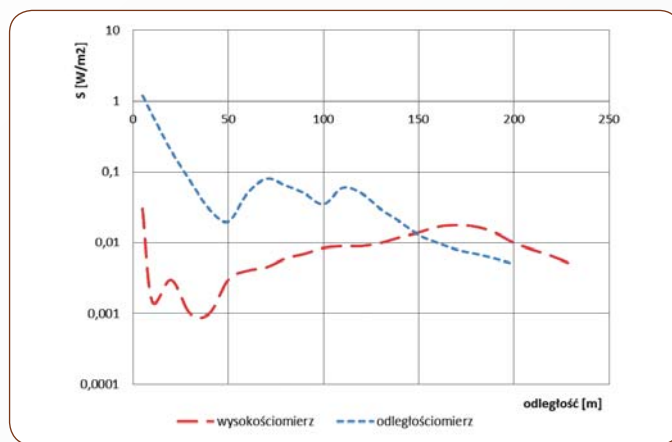
Assessing the safety of protection zones and occupational hygiene in electromagnetic fields, it should be stated that around radar stations there are three protection zones.

According to the documents, such as the general ones [1], as well as the specific ones [3], the unsafe zone can occur when  $E_{max,imp} > 4,5$  kV/m lub  $E > 200$  V/m. The first case (impulsive condition) does not occur around the analyzed radar stations. The unsafe zone can occur at a distance of up to 2-3 meters from the antenna and is related to the presence of the field in this area with values of the electric field strength greater than 200 V/m. The danger zone can occur at a distance of up to 20 m from the antenna, and the intermediate zone at a distance of up to 30 m from the antenna. Above 30 m from the antenna, the radar station usually does not emit the field, therefore the protection zone, which is present there, is the safe zone.

### Podsumowanie

The operation of radar stations is related to the necessity of staying in electromagnetic fields at the values set for the protection zones for occupational hygiene and safety. Many of these stations require, during normal operation, the presence of personnel in the vicinity of the antenna, which leads to their exposure to strong electromagnetic fields, which corresponds to the danger zone [8].

Polish general regulations [1,2] only partially take into account the specific requirements of radar stations. Their direct application to the assessment of exposure can lead to many cases of underestimation of exposure, especially in the case of radar stations. The complex set of regulations in the defense sector in the area of safety and occupational hygiene



Rys. 5. Wartości średniej gęstości mocy występujące wokół odległościomierza i wysokościomierza

Fig. 5. Power density mean values around surveillance and height finder radar

in electromagnetic fields [3,4,5,6] fulfill the general regulations in this area.

Analizing the characteristics of exposure to electromagnetic fields of workers involved in the operation of radar stations, it should be stated that the permanent positions of workers are in the safe zone, and the exposure of personnel to the electromagnetic field is minimal. Otherwise, the exposure of personnel to the electromagnetic field in the intermediate zone of workers' positions. The positions are related to the necessity of performing the tasks of checking or repairing the equipment during normal work of the equipment. At that time, the personnel is in the danger zone or the intermediate zone.

The analysis of the exposure of personnel involved in the operation of radar stations shows that in the safe zone and the intermediate zone, 92% of workers' positions are found. The remaining 8% of positions are found in the danger zone.

### PIŚMIENNICTWO

- [1] Rozporządzenie Ministra Pracy i Polityki Społecznej z dnia 29 listopada 2002 r. w sprawie najwyższych dopuszczalnych stężeń i natężeń czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy. Dz.U 2002.217.1833
- [2] PN-T-06580-3:2002 Ochrona pracy w polach i promieniowaniu elektromagnetycznym o częstotliwości od 0 Hz do 300 GHz. Część 3: Metody pomiaru i oceny pola na stanowisku pracy
- [3] Decyzja Nr 98/MON z dnia 31 marca 2006 r. w sprawie przestrzegania resorcie obrony narodowej zasad bezpieczeństwa higieny pracy przy stosowaniu urządzeń wytwarzających promieniowanie elektromagnetyczne
- [4] NO-06-A215-1:2007 Bezpieczeństwo i higiena pracy – Ochrona przed promieniowaniem elektromagnetycznym – Część 1: Wymagania ogólne
- [5] NO-06-A215-2:2007 Bezpieczeństwo i higiena pracy – Ochrona przed promieniowaniem elektromagnetycznym – Część 2: Metody badań
- [6] NO-06-A039-1:2009 Bezpieczeństwo i higiena pracy – Ochrona przed promieniowaniem elektromagnetycznym – Zasady tworzenia i stosowania znaków bezpieczeństwa
- [7] Karpowicz J. i in. *Pola i promieniowanie elektromagnetyczne o częstotliwości z zakresu 0 Hz – 300 GHz. Dokumentacja nowelizacji harmonizującej dopuszczalny poziom ekspozycji pracowników z wymaganiami dyrektywy 2004/40/WE*. „Podstawy i Metody Oceny Środowiska Pracy” 2008, 58, 4:7-45
- [8] Kubacki R. *Uwarunkowania biofizyczne oraz dopuszczalne wartości elektromagnetycznego promieniowania elektromagnetycznego*. „Podstawy i Metody Oceny Środowiska Pracy” 2008, 58, 4:89-101

## Załącznik

### Charakterystyka urządzeń radiolokacyjnych

Specyfika eksploatacji urządzeń radiolokacyjnych wiąże się często z koniecznością przebywania w polach elektromagnetycznym o wartościach ustanowionych dla stref ochronnych bezpieczeństwa i higieny pracy [1]. Wiele z tych urządzeń wymaga, w czasie ich normalnej eksploatacji, przebywania personelu w niewielkiej odległości od anteny, co powoduje ich narażenie na silne pola elektromagnetyczne [8].

W rozważaniach dotyczących urządzeń radiolokacyjnych należy brać pod uwagę nie tylko to, że moc impulsów sondujących jest bardzo duża (setki kW lub pojedyncze MW), co jest niezbędne, aby fala elektromagnetyczna, silnie tłumiona w atmosferze, posiadała wystarczającą amplitudę jako sygnał odbity, ale również jego zmienność w przestrzeni i czasie.

Urządzenia radiolokacyjne realizują różne sposoby przeszukiwania przestrzeni powietrznej, posiadają różne charakterystyki kierunkowe anten nadawczych, w zależności od celów do jakich są przeznaczone. Pole elektromagnetyczne emitowane przez urządzenia różni się wartością w zależności od kierunku promieniowania w płaszczyźnie azymutu i elewacji. Według takiego kryterium urządzenia radiolokacyjne, ze względu na specyfikę pomiarów pól elektromagnetycznych, można podzielić umownie na dwie podstawowe grupy:

– odległościomierze – anteny obracają się wokół własnej osi w azymucie, każdy więc punkt w pobliżu anten opromieniowany jest okresowo (rys. 1), do grupy tej zalicza się również radary trójwspółrzędne (3D):



Rys. 1. Widok ogólny odległościomierza

Fig. 1. An overview of surveillance radar

– wysokościomierze – anteny dokonują obrotu głównie w płaszczyźnie elewacji (losowo w płaszczyźnie azymutu), lecz obrót ten dokonywany jest w ograniczonym kącie (rys. 2):



Rys. 2. Widok ogólny wysokościomierza

Fig. 2. An overview of height finder radar

Odległościomierze wykorzystuje się do określania dwóch współrzędnych, azymutu oraz odległości do wykrytego obiektu. Wysokościomierze służą do określania trzeciej współrzędnej, tj. wysokości obiektu nad powierzchnią ziemi. Odległościomierz i wysokościomierz pracują najczęściej w tzw. parach, dostarczając wtedy pełnej informacji o położeniu obiektu. Pary takie są obecnie wypierane przez radary trójwspółrzędne.

Ocenę ekspozycji na stanowiskach pracy, znajdujących się w zasięgu promieniowania elektromagnetycznego dokonuje się w resorcie obrony narodowej zgodnie z Normą Obronną [5]. Zgodnie z w/w normą ocenę ekspozycji wykonuje się wyznaczając zasięgi stref ochronnych wokół źródeł pól elektromagnetycznych oraz oceniając warunki ekspozycji personelu na pola elektromagnetyczne.

Określanie ekspozycji na pola elektromagnetyczne zarówno dla pól jednorodnych, jak i złożonych na podstawie pomiarów dokonywanych na stanowiskach pracowników może być w pewnych sytuacjach mało precyzyjne ze względu na zmiany miejsc przebywania personelu. Pracę przy obsłudze, czy naprawach urządzeń wytwarzających pole elektromagnetyczne cechują specyficzne warunki. W ocenie warunków ekspozycji wyznaczanie wskaźnika ekspozycji ( $W$ ), czasami nie zdaje egzaminu, w związku z trudnościami dokładnego określenia stałych oraz zmiennych stanowisk pracowników. Również czas ekspozycji ( $t$ ) jest czasami wielkością bardzo problematyczną w wyznaczeniu. Bardzo dobrze natomiast sprawdza się wyznaczanie dopuszczalnego czasu ekspozycji ( $t_d$ ) w „charakterystycznych” miejscach strefy zagrożenia. Standardem jest więc wyznaczanie wskaźnika ekspozycji ( $W$ ) a w sytuacjach, gdy istnieją trudności w wiarygodnym wyznaczeniu wskaźnika ekspozycji, wyznaczanie również dopuszczalnego czasu ekspozycji ( $t_d$ ).

W przypadku pracy w strefie zagrożenia bardziej wiarygodne niż wyznaczenie wskaźnika ekspozycji ( $W$ ) jest wyznaczenie dopuszczalnego czasu ekspozycji ( $t_d$ ). Jest on wyznaczany jako parametr dodatkowy. Ma to szczególnie zastosowanie w przypadku oceny prowadzonej w miejscach określanych jako „charakterystyczne”. Przestrzeganie ograniczeń czasowych związanych z przebywaniem w strefie zagrożenia ma wpływ na decyzję, czy ekspozycję personelu można traktować jako akceptowalną. Przebywając w strefie pośredniej oraz przez czas krótszy niż dopuszczalny czas ekspozycji w „charakterystycznych miejscach” w strefie zagrożenia, personel podlega ekspozycji dopuszczalnej [8].