

INSTYTUT ŁĄCZNOŚCI
WARSZAWA-MIEDZESZYN

BIULETYN

INFORMACYJNY

5 (171)

1978

MINISTERSTWO ŁĄCZNOŚCI

BIULETYN INFORMACYJNY

ROK 18

WARSZAWA 1978

NR 5/171/

INSTYTUT ŁĄCZNOŚCI
Branżowy Ośrodek
Informacji Naukowo-Technicznej i Ekonomicznej

Redakcja Biuletynu Informacyjnego

Redaktor Naczelny - prof. mgr inż. Lesław Kędziński
Z-ca Redaktora Naczelnego - doc.dr. inż. Krystyn Plewko

Redaktorzy działów:

doc. mgr inż. Władysław Cetner, doc. mgr inż. Adam Mohluszko

Adres Redakcji:

Instytut Łączności

Branżowy Ośrodek

Informacji Naukowo-Technicznej i Ekonomicznej

Warszawa-Miedzeszyn, ul. Szachowa 1

NA PRAWACH RĘKOPISU - DO UŻYTKU SŁUŻBOWEGO

Redaktor: J. Borkowska

Montaż tekstu: B. Drabik

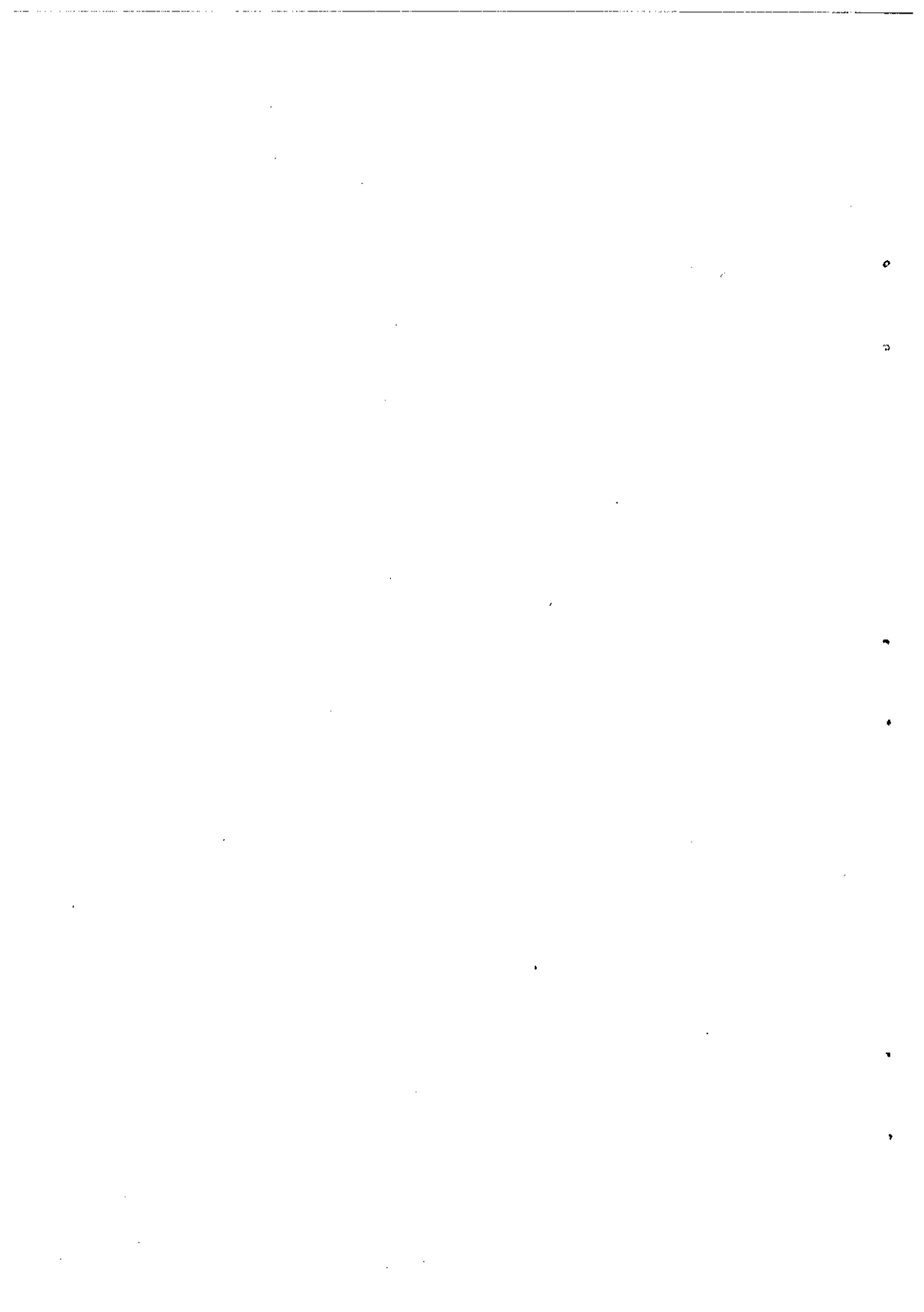
Dział Wydawniczy Instytutu Łączności
Format B5. Nakład 640. Wpłynęło do
Działu Wydawniczego 24.04.1978 r.
Druk ukończono w maju 1978 r.

Tadeusz M. Babilj, Hubert Trzaska

OCHRONA ŚRODOWISKA PRZED DZIAŁANIEM PROMIENIOWANIA
ELEKTROMAGNETYCZNEGO

SPIS TREŚCI

	Str.
1. Wstęp	1
2. Niektóre aspekty biologicznego działania pól elektromagnetycznych	3
3. Dopuszczalne wartości natężeń pól	8
3.1. Mikrofałe	9
3.2. Częstotliwości radiowe	11
4. Zagadnienia pomiaru promieniowania nle jonizującego	14
5. Środki ochrony przed promieniowaniem	15
6. Zakończenie	17
Wykaz literatury	19



OCHRONA ŚRODOWISKA PRZED DZIAŁANIEM PROMIENIOWANIA
ELEKTROMAGNETYCZNEGO

1. WSTĘP

Rozwój współczesnej cywilizacji związany jest z wytwarzaniem i stosowaniem wielu urządzeń generujących pola elektromagnetyczne o szerokim zakresie częstotliwości. Urządzenia takie są stosowane w telekomunikacji, przemyśle, nauce, medycynie, a także i w gospodarstwach domowych [3, 16, 19, 37, 43]. Do najpowszechniej stosowanych źródeł pól elektromagnetycznych można zaliczyć: urządzenia radi nadawcze i radiolokacyjne, przemysłowe urządzenia grzejne w.c.z., diatermie, kuchnie mikrofalowe, odbiorniki telewizyjne, aparaturę geofizyczną i in., w których wytwarzanie pól elektromagnetycznych jest oczywiste.

W szeregu urządzeń promieniowanie elektromagnetyczne jest produktem "ubocznym", którego obecność niekiedy trudno przewidzieć. Do urządzeń takich można zaliczyć np.: aparaturę rentgenowską, źródła plazmy w.c.z., urządzenia ultradźwiękowe dużych mocy itp.

Wymienione wyżej rodzaje służb i przykłady urządzeń mogą poza promieniowaniem elektromagnetycznym wytwarzać także promieniowanie jonizujące, korpuskularne lub ultradźwiękowe [20].

Szerokie rozpowszechnienie urządzeń wytwarzających pola elektromagnetyczne stwarza potencjalne zagrożenie napromieniania dla wszystkich ludzi, dla całej ziemskiej biosfery. Zagrożenie to dotyczy niekiedy osób zupełnie nieświadomych istnienia takiego zagrożenia, co jest związane z budową radiostacji nadawczych czy urządzeń radiolokacyjnych dużego zasięgu, o średnich mocach promieniowania znacznie powyżej 1 MW.

Rodzajem energii szczególnie rozpowszechnionym i budzącym coraz więcej zainteresowania z punktu widzenia ochrony środowiska jest energia elektryczna o częstotliwości przemysłowej.

Dla ochrony personelu pracującego w pobliżu źródeł wytwarzających pola elektromagnetyczne, ludności zamieszkałej w pobliżu takich źródeł, a także dla ochrony biosfery w wielu krajach ustalono przepisy ograniczające dopuszczalne wartości natężeń pól elektromagnetycznych dla różnych przedziałów częstotliwości [1, 2, 9, 12, 18, 30, 36, 38]. Przepisy takie stanowią podstawę formalną szerokiego zainteresowania biologicznym działaniem, pomiernictwem i ochroną przed działaniem

łaniem pól elektromagnetycznych. Przepisy takie powinny być brane pod uwagę i przestrzegane, począwszy od etapu projektowania urządzeń wytwarzających promieniowanie, poprzez ich produkcję, instalowanie i cały okres eksploatacji. Dobrym przykładem troski o ochronę ludzi przed działaniem pól elektromagnetycznych może tu być zbudowana w Konstancynie Nowa Radiostacja Centralna.

Amerykańskie Biuro Ochrony Radiologicznej /Bureau of Radiological Health BRH / prowadzi np. następujące badania [31, 32, 36]:

- 1/ określenie szkodliwości biologicznej promieniowania elektromagnetycznego, ze szczególnym uwzględnieniem małych poziomów napromieniania;
- 2/ określenie dopuszczalnych poziomów promieniowania dla niektórych urządzeń elektronicznych;
- 3/ kierowanie specjalnym laboratorium do badań i kontroli urządzeń elektronicznych;
- 4/ opracowywanie aparatury i metod do wykrywania i pomiarów promieniowania;
- 5/ badanie urządzeń elektronicznych i określenie zgodności wytwarzanego przez nie promieniowania z poziomami dopuszczonymi przez odpowiednie przepisy ochronne;
- 6/ ustalanie programu produkcji urządzeń elektronicznych, wytwarzających niepożądane promieniowanie w zakresie dopuszczalnych wartości promieniowanej energii.

W Polsce, obowiązują ogólnie przepisy [47, 48] ograniczające dopuszczalne wartości promieniowania w zakresie częstotliwości od 0,1 MHz do 300 GHz.

Omawianą problematyką zajmują się częściowo Centralny Instytut Ochrony Pracy w Warszawie, Akademia Rolnicza w Poznaniu, Wojskowy Instytut Medycyny Lotniczej w Warszawie, Instytut Medycyny Pracy w Łodzi, Wojskowa Akademia Techniczna, a także Przemysłowy Instytut Telekomunikacji i Politechnika Wrocławska. Duże zainteresowanie nauki w Polsce stroną biologiczną, medyczną i techniczną zagrożeń stwarzanych przez pola elektromagnetyczne znalazły swój wyraz zarówno w stosunkowo dużej liczbie placówek naukowych zajmujących się tą problematyką, jak i w organizowaniu licznych spotkań i konferencji naukowych poświęconych bezpośrednio problematyce ochrony przed polami elektromagnetycznymi, bądź też w prezentowaniu tej problematyki także i na innych konferencjach medycznych lub technicznych.

Prowadzone w Polsce prace w dziedzinie biologicznej aktywności promieniowania niejonizującego, miernictwa i ochrony przed tym promieniowaniem, a także prace związane z rozeznaniem pól występujących w wielu zastosowaniach praktycznych były przedmiotem licznych publikacji i stawiają Polskę w rzędzie krajów najbardziej w tej dziedzinie zaawansowanych.

Natomiast pionierskie badania biologicznych efektów działania pól elektromagnetycznych prowadzone jeszcze w latach dwudziestych przez prof. S. Manczarskiego czynią Polskę jednym z krajów, w których badania takie rozpoczęto [23, 24, 25].

2. NIEKTÓRE ASPEKTY BIOLOGICZNEGO DZIAŁANIA PÓL ELEKTROMAGNETYCZNYCH

Promieniowanie elektromagnetyczne jest pojęciem określającym wiele rodzajów promieniowań z szerokiego widma częstotliwości. Energię kwantów odpowiadających promieniowaniu o różnych częstotliwościach określa wzór:

$$E = h \nu \quad /1/$$

gdzie: h - stała Plancka.

Zestawienie energii kwantów odpowiadających poszczególnym pasmom promieniowania elektromagnetycznego przedstawiono w tabelicy 1.

Przy wzroście energii kwantów wzrasta prawdopodobieństwo wybicia elektronu z orbity atomowej lub cząsteczkowej i jonizacji atomu. Jednak minimalna energia niezbędna do jonizacji cząsteczki wody, tlenu, wodoru, azotu lub węgla wynosi około 12 ± 15 eV, a te właśnie substancje są głównymi składnikami materii żywej. Można więc przyjąć, że kwanty o energiach mniejszych od 12 eV nie są w stanie spowodować jonizacji materii żywej i opierając się na tym wywodzie niektórzy autorzy określają promieniowanie elektromagnetyczne o długościach fal większych od 10^{-9} m jako promieniowanie niejonizujące. Dla promieniowania niejonizującego istnieje możliwość uzyskania dużych gęstości energii, jednak energia ta nie może powodować bezpośrednio jonizacji. Może ona natomiast powodować efekty fotochemiczne /promieniowanie ultrafioletowe i widzialne/ lub efekty termiczne /promieniowanie podczerwone, mikrofalowe i radiowe [10, 22, 26, 29, 33].

Dla szerokiego widma częstotliwości ciało ludzkie może być traktowane jako dielektryk stratny. Energia pochłaniana przez dielektryk stratny umieszczony w jednorodnym polu wynosi [43]:

$$Q_a = \omega \epsilon_0 \epsilon_r E^2 V \cdot t \cdot \text{tg } \delta \quad /2/$$

- gdzie: Q_a - energia absorbowana przez ciało,
 ϵ_0 - przenikalność dielektryczna swobodnej przestrzeni,
 ϵ_r - względna przenikalność dielektryczna,
 E - natężenie pola elektrycznego,
 V - objętość ciała,
 δ - kąt stratności dielektrycznej

Tablica 1

Widmo promieniowania elektromagnetycznego

Nazwa rodzaju fal	Promieniowanie	Długość fal /m/	Częstotliwość /Hz/	Energia /eV/
Mirametrowe	x/ fale długie fale śred. fale krót. fale ultra- krótkie	$10^6 \div 10^4$	$3 \cdot 10^0 \div 3 \cdot 10^4$	$1,2 \cdot 10^{-14} \div 1,2 \cdot 10^{-10}$
Kilometrowe		$10^4 \div 10^3$	$3 \cdot 10^4 \div 3 \cdot 10^5$	$1,2 \cdot 10^{-10} \div 1,2 \cdot 10^{-9}$
Hektometrowe		$10^3 \div 10^2$	$3 \cdot 10^5 \div 3 \cdot 10^6$	$1,2 \cdot 10^{-9} \div 1,2 \cdot 10^{-8}$
Dekametrowe		$10^2 \div 10^1$	$3 \cdot 10^6 \div 3 \cdot 10^7$	$1,2 \cdot 10^{-8} \div 1,2 \cdot 10^{-7}$
Metrowe		$10^1 \div 10^0$	$3 \cdot 10^7 \div 3 \cdot 10^8$	$1,2 \cdot 10^{-7} \div 1,2 \cdot 10^{-6}$
Decymetrowe	e Mikrofalowe	$10^0 \div 10^{-1}$	$3 \cdot 10^8 \div 3 \cdot 10^9$	$1,2 \cdot 10^{-6} \div 1,2 \cdot 10^{-5}$
Centymetrowe		$10^{-1} \div 10^{-2}$	$3 \cdot 10^9 \div 3 \cdot 10^{10}$	$1,2 \cdot 10^{-5} \div 1,2 \cdot 10^{-4}$
Milimetrowe		$10^{-2} \div 10^{-3}$	$3 \cdot 10^{10} \div 3 \cdot 10^{11}$	$1,2 \cdot 10^{-4} \div 1,2 \cdot 10^{-3}$
Decymlimetrowe		$10^{-3} \div 10^{-4}$	$3 \cdot 10^{11} \div 3 \cdot 10^{12}$	$1,2 \cdot 10^{-3} \div 1,2 \cdot 10^{-2}$
Daleka podczerwień		zakres optyczny	$10^{-4} \div 2,5 \cdot 10^{-5}$	$3 \cdot 10^{12} \div 10^{13}$
Bliska podczerwień	$2,5 \cdot 10^{-5} \div 7,6 \cdot 10^{-7}$		$10^{13} \div 10^{14}$	$4,1 \cdot 10^{-2} \div 1,65 \cdot 10^0$
Światło widzialne	$7,6 \cdot 10^{-6} \div 4,18 \cdot 10^{-7}$		$4 \cdot 10^{14} \div 7,7 \cdot 10^{14}$	$1,65 \cdot 10^0 \div 3,2 \cdot 10^0$
Ultrafiolet	$4 \cdot 10^{-7} \div 10^{-8}$		$7,7 \cdot 10^{14} \div 3 \cdot 10^{16}$	$3,2 \cdot 10^0 \div 1,2 \cdot 10^2$
Promienie Rentgena	$10^{-8} \div 10^{-10}$		$3 \cdot 10^{16} \div 3 \cdot 10^{18}$	$1,2 \cdot 10^2 \div 1,2 \cdot 10^4$
Promieniowanie gamma	Jonizujące	$10^{-10} \div 10^{-12}$	$3 \cdot 10^{18} \div 3 \cdot 10^{20}$	$1,2 \cdot 10^4 \div 1,2 \cdot 10^6$
Promieniowanie kosmiczne		$< 10^{-12}$	$> 3 \cdot 10^{20}$	$> 1,2 \cdot 10^6$

x/ Drgania o częstotliwościach technicznych i akustycznych

t - czas ekspozycji,
 ω - pulsacja.

Energia wyrażona wzorem 2 może spowodować przyrost temperatury ciała o ΔT , przy czym

$$\Delta T = \frac{0,24\omega \epsilon_0 \epsilon_r E^2 \cdot t \cdot \text{tg} \delta}{c_{wt} \cdot \gamma} \quad /3/$$

gdzie: c_{wt} - ciepło właściwe ciała,
 γ - masa właściwa ciała.

Tak więc energia niejonizująca promieniowania elektromagnetycznego może spowodować wzrost poziomów energetycznych atomów, zmianę energii rotacyjnej i wibracyjnej lub tranzytowej cząsteczek. W układach biologicznych może się to wyrazić w postaci rozpadu cząstek, rozproszenia pochłanianej energii lub zmiany /przyrostu/ temperatury ciała. Może to w efekcie spowodować odwracalne lub nieodwracalne zmiany w organizmie. Wielkość tych zmian jest zależna od wielu czynników, a między innymi od stopnia napromieniowania, częstotliwości pola i jego modulacji, czasu ekspozycji, własności temperaturowych tkanek otaczających badany organ i in. W rezultacie przy nagrzewaniu, pod wpływem działania pola całej objętości ciała, może wystąpić lokalny wzrost temperatury w stopniu znacznie większym niż średni wzrost temperatury całego ciała i silne przegrzanie znajdujących się tam organów. Efekty takie mogą w niektórych tkankach występować selektywnie w funkcji częstotliwości, bądź też wskutek różniących się własności elektrycznych tych tkanek, komórek czy mikroorganizmów od otoczenia [10, 14, 21, 27, 33, 34, 39].

Takie efekty są zależne od częstotliwości i ogólnie przyjmuje się, że np. poniżej częstotliwości "rezonansu własnego człowieka", tj. około 70 MHz człowiek może być rozpatrywany jako bryła stratnego dielektryka, powodująca deformację pola. Natomiast powyżej tej częstotliwości jest konieczne rozpatrywanie człowieka jako struktury warstwowej, przy czym występują zjawiska odbić i ugięć, a także mogą pojawiać się fale stojące w poszczególnych warstwach /tkankach/.

Wyżej przedstawiony punkt widzenia można określić w odniesieniu do promieniowania o częstotliwościach radiowych i mikrofalowych jako ujęcie z punktu widzenia "efektów termicznych", to jest efektów biologicznych związanych z występowaniem zmian temperatury ciała pod wpływem promieniowania [40, 41]. Należy tu podkreślić, że wzrost temperatury ciała jest efektem najłatwiejszym do wykrycia i związanym z ekspozycją ciała na działanie pola. Wartość wzrostu temperatury zależy jednak od procesów regulacyjnych i zdolności adaptacyjnej organizmu, co utrudnia wykrywanie, zwłaszcza małych ilości energii pochłoniętej przez ciało.

Występowanie efektów pozatermicznych jest związane z pochłanianiem przez or-

organizm znacznie mniejszych ilości energii niż przy występowaniu efektów termicznych i jest związane z wrażliwością organizmu na znacznie mniejsze wartości natężeń pól zdolne wywoływać efekty pozatermiczne. Istnieniu efektów pozatermicznych jest poświęcona w literaturze światowej większa liczba prac niż efektom termicznym [13, 14, 15, 21]. Wynika to chyba z tego, że część badaczy zaprzecza istnieniu tych efektów [17, 40], podczas gdy druga część uparcie dowodzi ich istnienia. Niezmiernie interesujące jest przy tym, że jeszcze przed kilku laty niektórzy uczeni amerykańscy podważali celowość wprowadzenia tak rygorystycznych ograniczeń dopuszczalnych wartości natężeń pól elektromagnetycznych, jak przyjęto w ZSRR i innych krajach demokracji ludowej. Tymczasem obecnie właśnie w USA coraz więcej osób poświęca się badaniom efektów biologicznych związanych z działaniem słabych pól, a więc pól o natężeniach znacznie mniejszych niż np. przyjęte w Polsce jako dopuszczalne. Przykładowo, na zlecenie Bureau of Radiological Health prowadzono w USA badanie pól elektromagnetycznych w szpitalach i próbowano znaleźć korelację pomiędzy zmierzonymi wartościami a stanem samopoczucia pacjentów [16, 37].

Generalizując można jednak stwierdzić, że jednoznaczne udowodnienie istnienia szkodliwych dla życia efektów pozatermicznych jest jeszcze niemożliwe. Niektórzy uczeni zaprzeczają istnieniu takich efektów w ogóle [17].

Z punktu widzenia ochrony środowiska wydają się o wiele bardziej interesujące efekty nietermiczne, których występowanie można z pewnym przybliżeniem ograniczyć do fal dłuższych od 0,1 mm /dla fal krótszych skóra i warstwa tłuszczu dają wystarczająco dobrą osłonę/, bowiem obszar zagrożony występowaniem tych efektów jest znacznie większy ze względu na mniejsze natężenia pola wywołujące te efekty. Skutkiem istnienia efektów nietermicznych wyjaśnia się np. takie naruszenie funkcji organizmu zwierzęcego, jak:

- zanik poprzednio wyrobionych odruchów warunkowych,
- zmiany fizjologicznych i biochemicznych procesów zachodzących w organizmie,
- naruszenie funkcji systemu nerwowego,
- zakłócenia w pracy systemu sercowo-naczyniowego.

Zmiany te mogą być skutkiem interakcji promieniowania z czynnościami bioelektrycznymi na poziomie komórkowym, a także molekularnym.

Przypuszcza się, że efekty pozatermiczne mogą powodować rezonanse makromolekuł, cząsteczek lub poszczególnych atomów w organizmie, co może być przyczyną zmian ich metabolizmu [10, 25, 34, 35].

Innym efektem pozatermicznym jest detekcja sygnałów w.cz. na błonach międzykomórkowych, co powoduje zmianę naturalnych potencjałów międzykomórkowych, bądź też możliwość bezpośredniego słyszenia modulacji w przypadku przebywania czło-

wieka w polu modulowanym amplitudowo [11, 14]. Możliwość pomiarowego stwierdzenia występowania tych efektów jest niewielka, dlatego też wielu badaczy, zwłaszcza lekarzy i biologów, bada skutki, jakie są związane z przebywaniem człowieka i zwierząt w polu elektromagnetycznym. Większość tych skutków ma charakter subiektywny, jak: uczucie zmęczenia, senności lub zdenerwowania, bóle głowy, utrata apetytu, zaburzenia pamięci i inne. Ze względu na możliwość występowania podobnych efektów także wskutek działania innych bodźców fizyko-chemicznych trudne jest powtarzanie podobnych doświadczeń z różnymi grupami, a także uogólnienie uzyskanych rezultatów lub wyciąganie ostatecznych wniosków.

Ujęcie wszystkich czynników wpływających na absorpcję energii przez żywy organizm jest w chwili obecnej niemożliwe. Ponadto, większość tych czynników jest związana w sposób niekiedy trudny do określenia z innymi czynnikami, przy czym parametry elektryczne materii żywej zależą od czynników fizykochemicznych otoczenia, czynników o charakterze psycho i fizjologicznym oraz własności pola działającego na organizm. Powoduje to poważne trudności w prowadzeniu badań oraz wyciąganiu jednoznacznych wniosków dotyczących działania promieniowania na organizm żywy.

Zwystępowaniem pól o tak dużych natężeniach jest związany cały szereg efektów, które mogą być tym groźniejsze, że powodują niekiedy całkowitą dezorientację nie obeznanego z zagadnieniem obserwatora. W polu silnych źródeł promieniowania radiowego obserwowano takie np. efekty, jak łuk grający /łuk elektryczny pomiędzy dwoma znajdującymi się w polu przewodnikami, przy czym łuk ten wydaje dźwięki odpowiadające mowie czy muzyce nałożonej na przebieg wielkiej częstotliwości/ czy świecenie żarówek nie podłączonych do sieci. Napromieniowanie ptaków czy psów prowadzi do ich całkowitej dezorientacji i właśnie napromieniowaniu ptactwa przez radary samolotowe przypisuje się kolizje ptactwa z samolotami. Podobnie przypuszcza się, że napromieniowanie pilotów lądujących samolotów przez radary lotniskowe mogły być przyczyną katastrof lotniczych. Zaobserwowano również znacznie szybszy wzrost roślin poddanych napromieniowaniu. Z bogatej gamy zastosowań pól elektromagnetycznych w życiu codziennym można wymienić diatermie stosowane w niektórych dolegliwościach w medycynie, urządzenia do sterylizacji, niszczenia szkodników w drewnie i zbożu, a także kuchnie do wyleku pieczywa, mięs itp.

Jak widać, z jednej strony pole elektromagnetyczne może mieć korzystny wpływ na organizm żywy, z drugiej jednak jest zdolne do jego całkowitego zniszczenia [13].

Omówiono powyżej w dużym skrócie niektóre tylko zjawiska związane z oddziaływaniem promieniowania niejonizującego na organizmy zwierzęce. Podobne mechanizmy o nieco innej skali i zasięgu występują w świecie roślinnym. Problem bezpośredniego oddziaływania promieniowania niejonizującego na skały budujące litosferę nie był dotychczas szczegółowo rozpatrywany z punktu widzenia ochrony środowiska. Moż-

na jednak przypuszczać, że oddziaływanie promieniowania na skały może iść w dwóch kierunkach: działania termicznego /suszenie, kruszenie, wietrzenie fizyczne/, oraz działania katalitycznego /przyspieszenie lub zwalnianie niektórych reakcji chemicznych powodujących wietrzenie chemiczne/.

3. DOPUSZCZALNE WARTOŚCI NATĘŻEŃ PÓL

Dla ochrony ludzi przed szkodliwym działaniem promieniowania niejonizującego w wielu krajach ustalono przepisy ograniczające wartości natężeń pól dopuszczalnych dla ludzi [44, 45, 46, 47, 48]. Podstawowym celem ustalenia tych przepisów była ochrona personelu przed skutkami, jakie może wywołać w organizmie człowieka długotrwałe przebywanie w polu elektromagnetycznym. Dotychczasowa wiedza medyczna i techniczna nie pozwala jednak na określenie skutków biologicznych związanych z działaniem promieniowania w sposób zupełnie jednoznaczny. Wartości natężeń pól dopuszczalne przez różne przepisy znacznie się różnią między sobą, co wynika z różnej oceny biologicznej aktywności promieniowania niejonizującego. Ustalenie więc dokładnej wartości natężeń pól dopuszczalnych dla ludzi wydaje się w tej chwili niemożliwe do zrealizowania, między innymi ze względu na [40, 41]:

- 1/ różniącą się wrażliwość różnych osób na działanie bodźców fizycznych /bezpośrednie działanie promieniowania/ i chemicznych /pośrednie działanie promieniowania/;
- 2/ brak bezpośredniej zależności pomiędzy poziomem napromieniowania a metabolizmem człowieka i zjawiskami fizjopatologicznymi;
- 3/ niemożliwość ustalenia wartości pola w obszarze badanego ciała ze względu na jego skomplikowaną warstwową strukturę;
- 4/ szeroki przedział pomiędzy poziomami napromieniowania, które są wyraźnie szkodliwe, a poziomami uważanymi obecnie za zupełnie nieszkodliwe;
- 5/ niemożliwość bezpośredniego uogólniania wyników doświadczeń ze zwierzętami na zjawiska występujące u ludzi;
- 6/ konieczność przeprowadzenia szeroko zakrojonych badań na ludziach;
- 7/ całkowitą lub prawie całkowitą nieznajomość zależności występujących skutków biologicznych od rodzaju promieniowania, tj. jego częstotliwości, rodzaju modulacji, polaryzacji pola, a także wpływu czasu naświetlania /działania kumulacyjne/.

Ustalane przepisy zostały więc oparte w głównej mierze na dążeniu do zabezpieczenia ludzi przed występowaniem skutków napromieniowania w przyszłości, kie-

dy dawniejszy kontakt z polem może ulec zapomnieniu lub może nie być brany pod uwagę w momencie wystąpienia dolegliwości spowodowanych przez patologiczne zmiany w organizmie wywołane napromieniowaniem [12].

Poniżej zostaną porównane dopuszczalne wartości natężeń pól elektromagnetycznych dla zakresu częstotliwości radiowych i mikrofalowych, ustalone przez przepisy amerykańskie i polskie.

3.1. Mikrofałe

Pod nazwą mikrofałe przyjęto w Polsce uważać zakres częstotliwości od 300 MHz do 300 GHz. Inne podziały widma częstotliwości, zwłaszcza amerykańskie, podają jako zakres częstotliwości mikrofalowych 10 MHz ÷ 100 GHz lub 100 MHz ÷ 300 GHz.

Pierwsze przepisy ochronne wprowadzone w U.S. Navy w 1953 r. dopuszczały przebywanie personelu w polu o gęstości mocy 10 mW/cm² [36]. Przepisy te uściślono w 1965 r., biorąc pod uwagę możliwość przebywania personelu przez krótki czas w polu o gęstości mocy przekraczającej 10 mW/cm². Zgodnie z tymi ustaleniami czas przebywania personelu w polu mikrofalowym /300 MHz ÷ 300 GHz/ wynosi:

$$T_p = \frac{6000}{x} \text{ /min/} \quad /4/$$

gdzie: T_p - dopuszczalny czas przebywania w polu
 x - gęstość mocy w mW/cm²

Wzór /4/ jest słuszny tylko do gęstości mocy nie przekraczających 100 mW/cm², przy czym ze względu na przewidywaną nieprzydatność praktyczną czasów krótszych od 2 minut rzeczywista maksymalna wartość gęstości mocy, na jaką jest narażony personel, nie przekracza 55 mW/cm². Napromieniowanie takie może występować w każdej godzinie. Podana wyżej zasada określania dopuszczalnego czasu przebywania w polu elektromagnetycznym obowiązuje do chwili obecnej w siłach zbrojnych USA [44]. Zalecenia Amerykańskiego Narodowego Instytutu Wzorców /American National Standards Institute /ANSI// opracowane przez Komitet C95.1. w roku 1966 mówią, że dla zakresu częstotliwości 10 MHz ÷ 100 GHz dopuszcza się średnią wartość gęstości mocy 10 mW/cm² w czasie każdej 0,1 godziny, czyli dopuszcza się ciągłe przebywanie w polu, którego gęstość mocy nie przekracza 10 mW/cm², lub też napromieniowanie wyższymi wartościami gęstości mocy, o ile nie przekroczy się dawki energetycznej 1 mW.h/cm² [9]. Przytoczone wyżej przepisy i zalecenia są obowiązujące do chwili obecnej.

Ostatnio /ACGIH/ American Conference of Governmental Industrial Hygienists sugeruje wprowadzenie dla przedziału częstotliwości 100 MHz ÷ 100 GHz następujących ograniczeń:

- 1/ przy średniej gęstości mocy do 10 mW/cm^2 całkowity czas przebywania w polu mikrofalowym, przy ciągłej ekspozycji na działanie pola, powinien być ograniczony do 8 godzin na dobę;
- 2/ przy średnich gęstościach mocy $10 \div 25 \text{ mW/cm}^2$ czas przebywania w polu mikrofalowym nie może przekraczać 10 minut w czasie każdej godziny w ciągu 8 godzin pracy;
- 3/ przy średniej gęstości mocy ponad 25 mW/cm^2 przebywanie w polu jest niedopuszczalne.

Podstawą ustalenia przepisów i zaleceń amerykańskich było występowanie efektów termicznych. Zaskakujące jest tu przy tym niezmiernie małe zróżnicowanie wartości gęstości mocy [38]. Założeniami wyjściowymi przy opracowaniu tych ograniczeń było przyjęcie zasady, że działanie pola nie może spowodować przyrostu temperatury, a do rozważań przyjmowano średnie wartości przewodności i stałej dielektrycznej w przekroju "człowieka standardowego". Interesujące jest także, że dla kuchni mikrofalowych przyjęto jako dopuszczalną wartość promieniowania 1 mW/cm^2 w odległości 5 cm od kuchni.

Rozporządzenie Prezesa Rady Ministrów [47] obowiązujące w chwili obecnej w Polsce wprowadza następujące dopuszczalne, średnie gęstości mocy mikrofal w zakresie częstotliwości 300 MHz \div 300 GHz w miejscach przebywania ludzi:

- 1/ strefa bezpieczna, w której gęstość mocy nie przekracza $0,1 \text{ W/m}^2$, nie wymaga ograniczenia czasu przebywania lub pracy ludzi;
- 2/ strefa pośrednia, w której gęstość mocy zawarta jest w granicach $0,1 \div 2 \text{ W/m}^2$; w strefie tej dopuszcza się przebywanie tylko obsługi urządzeń promieniujących w czasie dnia pracy /8 godzin dziennie/;
- 3/ strefa zagrożenia odpowiadająca przedziałowi gęstości mocy $2 \div 100 \text{ W/m}^2$; czas przebywania ludzi w tej strefie jest ograniczony, w zależności od gęstości mocy;
- 4/ strefa niebezpieczna, w której gęstość mocy przekracza 100 W/m^2 ; przebywanie ludzi w tej strefie dopuszcza się tylko pod warunkiem stosowania osobistych środków ochrony przed promieniowaniem.

Dałej zgodnie z rozporządzeniem Ministra Zdrowia i Opieki Społecznej z dn. 9.08.1972 r.; w sprawie określenia pól elektromagnetycznych w zakresie mikrofalowym, oraz dopuszczalnego czasu pracy w strefie zagrożenia, dopuszczalny czas przebywania w strefie zagrożenia określa się ze wzoru:

$$t = \frac{32}{P}$$

gdzie: t - czas pracy w godzinach

p - gęstość mocy w W/m^2 .

W tabelicy 2 zestawiono obecnie obowiązujące [47] dopuszczalne gęstości mocy z gęstościami określonymi dla poszczególnych stref Rozporządzeniem Rady Ministrów z dnia 20.10.1961 r. /Dz.U. Nr 48, poz. 255/. Przepisy polskie, które obowiązywały od 1961 r. zostały przyjęte na podstawie przepisów radzieckich z niewielkimi tylko zmianami, które dotyczyły napromieniowania polem niestacjonarnym. Przepisy radzieckie, a za nimi i polskie przyjęte jako podstawę stwierdzone doświadczalnie zaburzenie czynności warunkowo-odruchowych przy gęstościach mocy od kilkuset $\mu W/cm^2$ do $1 mW/cm^2$, co po odniesieniu do 10-godzinnego dnia pracy i po przyjęciu dziesięciokrotnego współczynnika bezpieczeństwa daje $10 \mu W/cm^2$.

Różnica pomiędzy punktami widzenia amerykańskimi i radzieckimi jest znaczna. Istotą tej różnicy jest najprawdopodobniej to, że pracodawca radziecki brał pod uwagę głównie dobro ludzi, którzy mogą być narażeni na przebywanie w polu, natomiast pracodawca amerykański dążąc do ochrony ludzi kierował się także aspektami techniczno-ekonomicznymi tego zagadnienia.

3.2. Częstotliwości radiowe

Pod pojęciem częstotliwości radiowych uważa się tutaj zakres częstotliwości $0,1 \div 300$ MHz. Jak już poprzednio wspomniano, niektóre przepisy amerykańskie nazwą mikrofałe określają częstotliwości większe od 10 MHz. Przepisy te na częstotliwościach powyżej 10 MHz /do 100 MHz/ dopuszczają gęstości mocy $10 mW/cm^2$. W prawodawstwie polskim przedział częstotliwości $0,1 \div 300$ MHz jest dzielony na dwa zakresy, tj. zakres odpowiadający falom radiowym długim, średnim i krótkim /100 kHz \div 30 MHz/ i zakres fal ultrakrótkich $30 \div 300$ MHz.

Przez analogię do dopuszczalnej w zakresie mikrofalowej gęstości mocy $10 mW/cm^2$ przepisy amerykańskie dopuszczają dla częstotliwości poniżej 100 MHz natężenie składowej elektrycznej pola około 200 V/m, co wynika z odpowiedniości tych wartości dla fali płaskiej. Uważa się przy tym, że dla częstotliwości poniżej 30 MHz można dopuścić przebywanie ludzi w polu elektrycznym o natężeniu do 1000 V/m [36, 38].

Równocześnie uważa się, że w przypadku pól o bardzo złożonej konfiguracji, np. przy przebywaniu w polu wytwarzanym przez kilka źródeł pracujących na różnych częstotliwościach bądź przy wielotorowym docieraniu pola, najbardziej jest celowe określenie gęstości prądu indukowanego przez pole w tkankach. I tak przyjęto jako graniczną wartość gęstości prądu $3 mA/cm^2$ dla częstotliwości powyżej 10 MHz, co dla "standardowego człowieka" i pola o prostej konfiguracji odpowiada gęstości mocy $10 mW/cm^2$. Graniczna gęstość prądu dla częstotliwości o zakresie 10 kHz \div 10 MHz wynosiłaby $1 mA/cm^2$, a dla częstotliwości poniżej 10 kHz - $0,3 mA/cm^2$ [29].

Dopuszczalne gęstości mocy mikrofalowej według przepisów polskich 47

Strefa	Przepis	Rozporządzenie R.M. z dn. 20.X.1961 r.	Obecnie obowiązujące Rozp. R.M. z 25.V.1972 r.	
			pole stacjonarne	pole niestacjonarne
Strefa bez- pieczna	gęst. mocy	10 W/cm ²	0,1 W/m ²	1 W/m ²
	czas przeby- wania	nie ograniczony	nie ograniczony	
Strefa po- średnia	gęst. mocy	10 ÷ 100 W/cm ²	0,1 ÷ 2 W/m ²	1 ÷ 10 W/m ²
	czas przeby- wania	do 2 godzin na dobę	w czasie jednej zmiany roboczej	
Strefa zagro- żenia	gęst. mocy	100 ÷ 1000 W/cm ²	2 ÷ 100 W/m ²	10 ÷ 100 W/m ²
	czas przeby- wania	do 20 minut na dobę	czas pracy ulega skróceniu zależnie od gęsto- ści mocy	
Strefa nie- bezpieczna	gęst. mocy	1000 W/cm ²	100 W/m ²	1000 W/m ²
	czas przeby- wania	przebywanie w strefie niebezpiecznej jest dozwolone tylko w przypadku sto- sowania środków ochrony osobistej		

Gęstość mocy w tablicy zestawiono zgodnie z jednostkami stosowanymi w poszczególnych aktach prawnych.

Dopuszczalne natężenie pola elektromagnetycznego

	Według BN-65/9377 01:02	Według Rozporządzenia Ministrów Pracy, Płac i Spraw Socjalnych oraz Zdrowia i Opieki Społecznej [48]	Zakres czę- stotliwości	Strefa	Składowa		Dozwolony czas przeby- wania
					E	H	
Fale ultra- krótkie	5 V/m			bezpieczna pośrednia zagrożenia niebezpiecz- na	do 7 V/m 7 ± 20 V/m 20 ± 300 V/m ponad 300 V/m	- - - -	nie ograniczony zmiana robocza zmiana robocza skrócona przebywanie zabronione bez środków ochrony osobistej
Fale długie, średnie i krótkie	10 V/m			bezpieczna pośrednia zagrożenia niebezpiecz- na	do 20 V/m 20 ± 70 V/m 70 ± 1000 V/m ponad 1000 V/m	do 2 A/m 2 ± 10 A/m 10 ± 250 A/m ponad 250 A/m	nie ograniczony zmiana robocza zmiana robocza przebywanie zabronione bez stosowania środków ochrony osobistej

Pewnego wyjaśnienia wymaga tutaj przejście od określania dopuszczalnych gęstości mocy do natężenia składowej elektrycznej. Istnieją po temu dwa podstawowe powody:

- 1/ trudność pomiaru gęstości mocy na częstotliwościach poniżej około 100 MHz;
- 2/ założenie, że ciało ludzkie w zakresie częstotliwości radiowych stanowi dielektryk stratny, a więc głównie oddziałuje nań składowa elektryczna.

W chwili obecnej prowadzi się nadal badania nad możliwością pomiaru gęstości mocy na częstotliwościach poniżej 300 MHz, a niektórzy uczeni twierdzą, że oddziaływanie składowej magnetycznej pola na organizm jest znacznie większe niż dotychczas uważano [22].

Ograniczenia dopuszczalnych natężeń pól dla zakresu częstotliwości radiowych przewidziane przez Rozporządzenie Ministrów Pracy, Płac i Spraw Socjalnych oraz Zdrowia i Opieki Społecznej zestawiono w tablicy 3.

4. ZAGADNIENIA POMIARU PROMIENIOWANIA NIE JONIZUJĄCEGO

Dla jednoznacznego porównania wyników pomiarów promieniowania nie jonizującego jest konieczne wyrażenie natężenia promieniowania w jednakowych, bądź przeliczalnych jednostkach [4, 5, 6, 7, 28]. Pole elektromagnetyczne zarówno w obszarze promieniowania jak i w strefie bliskiej może być scharakteryzowane przez gęstość mocy P wyznaczoną wektorem Poyntinga:

$$P = E \times H \quad /5/$$

W obszarze dalekim obie składowe pola E i H są proporcjonalne do siebie i powiązane zależnością:

$$E = 120 \sqrt{\mu} H \quad /6/$$

W obszarze tym gęstość mocy można wyznaczyć na podstawie pomiaru jednej ze składowych pola, tj. E lub H . W obszarze dalekim mierzy się najczęściej składową E , przy czym niekiedy przez pomiar składowej H miernikiem pola wyposażonym w antenę ramową. W obszarze bliskim nie można określić gęstości mocy na podstawie jednej tylko składowej, bowiem w obszarze tym nie ma z góry ustalonego związku między składową elektryczną i magnetyczną pola. Dlatego też w obszarze bliskim do wyznaczenia gęstości mocy jest konieczna znajomość wartości obu składowych pola. Na częstotliwościach większych od około 300 MHz mierzy się zwykle moc wydzielaną w obciążeniu anteny pomiarowej, co jest podstawą do określenia gęstości mocy. Jednak przy takim pomiarze występują poważne trudności związane z tym, że zysk anteny pomiarowej, jej powierzchnia skuteczna, charakterystyka promieniowania, a także impedancja wejściowa są zwykle wyznaczone w warunkach odpowiadających

swobodnej przestrzeni. W obszarze Fresnela parametry te są funkcjami odległości pomiędzy źródłem promieniowania a anteną pomiarową, co zwłaszcza w przypadku pól uformowanych w warunkach wielotorowej propagacji, promieniowania wytwarzanego przez wiele źródeł pracujących na różnych częstotliwościach, przy pomiarach wykonywanych w pobliżu wielu przedmiotów o różnych kształtach i różnych parametrach elektrycznych sprawia poważne trudności interpretacyjne i jest źródłem dużych błędów pomiarowych.

W zakresie częstotliwości poniżej 300 MHz składowe elektryczną i magnetyczną pola mierzy się oddzielnie. Na podstawie pomiaru obu składowych można wyznaczyć gęstość mocy. Obecnie są prowadzone prace nad skonstruowaniem przyrządu do pomiaru obu składowych pola łącznie i wyznaczania gęstości mocy bezpośrednio, także dla częstotliwości mniejszych od 300 MHz [5]. Należy tu zwrócić uwagę na niewłaściwość prowadzenia pomiarów w obszarze Fresnela miernikami przeznaczonymi do pomiarów w strefie promieniowania. Wykonane w ten sposób pomiary są bądź całkowicie pozbawione wartości, bądź też obciążone dużym błędem. Do podstawowych błędów popełnianych tu przez niektórych badaczy należą:

- 1/ pomiar anteną rezonansową punktowej wartości natężenia pola w odległości od źródła znacznie mniejszej niż rozmiary anteny,
- 2/ pomiar anteną ramową natężenia składowej elektrycznej /zgodnie z krzywymi kalibracji sporządzonymi dla obszaru Fraunhofera/.

Niewłaściwość stosowania dotychczas produkowanych mierników natężenia pola do pomiarów promieniowania nie jonizującego w omawianym zakresie problematyki spowodowały konieczność opracowania odpowiedniej aparatury pomiarowej przeznaczonej specjalnie do pomiarów dużych natężeń pól, zwłaszcza w obszarze Fresnela. Do chwili obecnej konstrukcje takie zostały opracowane m.in. w ZSRR, USA i w Polsce [7, 9, 20, 27, 28, 42].

W związku ze stwierdzeniem przez biofizyków znacznie większej wrażliwości materii żywej na działanie pól magnetycznych niż to dotychczas przypuszczano jednym z najbardziej aktualnych problemów jest tu opracowanie aparatury do pomiaru pól magnetycznych o dużej czułości i pracującej w szerokim zakresie częstotliwości. Pewne prace wstępne w tej dziedzinie zostały już zrobione, a ich wyniki opublikowane [7].

5. ŚRODKI OCHRONY PRZED PROMIENIOWANIEM

Podstawowym środkiem ochrony ludzi przed promieniowaniem nie jonizującym jest ograniczenie do minimum szkodliwego promieniowania wytwarzanego przez urządzenia generujące duże m.c.z. Środki ograniczenia promieniowania są tu takie same jak w przypadku walki z zakłóceniami radioelektrycznymi, a więc staranne ekrano-

wanie urządzeń, stosowanie filtrów w układach doprowadzenia energii elektrycznej zasilającej urządzenia, stosowanie filtrów w układach wentylacji i chłodzenia, a także odsunięcia personelu od miejsc, gdzie występuje największe promieniowanie, następnie odpowiednia organizacja pracy, stosowanie wykładzin pochłaniających promieniowanie i inne. Wymienione środki mogą być z pełnym powodzeniem stosowane zwłaszcza przy urządzeniach służących do generacji prądów w.cz. I ich wykorzystania do celów przemysłowych /choć niekiedy stosowanie ekranów na wzbudniki jest zupełnie niemożliwe, lub znacznie utrudnia proces technologiczny/. Natomiast w przypadku wytwarzania mocy w.cz. przeznaczonych do wypromieniowania w przestrzeń, jak np. radiofonia, radiolokacja itp. możliwość stosowania wymienionych środków jest ograniczona. Istnieją tu natomiast inne możliwości polegające na odpowiednim doborze miejsca zainstalowania urządzeń antenowych oraz odpowiedniego ukształtowania charakterystyki promieniowania anten nadawczych /np. amerykańskie przepisy dotyczące telewizyjnych systemów antenowych zainstalowanych na dachach wieżowców wymagają, aby promieniowanie w dół było nie większe niż 2 mW/cm^2 [44], natomiast przy budowie radiostacji długofalowej w Konstancynie Sadyby ludzkie odsunięto na odległość około 10 km od anteny/.

Niekiedy jednak, pomimo stosowania przedstawionych wyżej sposobów ochrony ludzi przed promieniowaniem, mogą być miejsca czy sytuacje, w których jest konieczne wejście człowieka w pole o odpowiednio dużym natężeniu, bądź możliwość wystąpienia takiego pola [1, 2, 19]. Wówczas możliwe jest zastosowanie dwójakiego rodzaju zabezpieczenia Indywidualnego:

- 1/ Indywidualne środki ochrony przed promieniowaniem,
- 2/ Indywidualny Indykator promieniowania.

Równocześnie z rozwojem przyrządów do pomiarów promieniowania nie jonizującego zostały opracowanych i opublikowanych w literaturze kilka rozwiązań indywidualnych Indykatorów promieniowania, które służą do umieszczenia na stanowisku roboczym lub do umocowania na ubraniu roboczym. Indykator taki stanowi bardzo prosty rodzaj miernika z jednym zakresem pomiarowym bądź też układ sygnalizujący przekroczenie określonego poziomu natężenia pola. Między innymi w ITA Politechniki Wrocławskiej opracowano Indykator przeznaczony do pracy w zakresie częstotliwości $700 \pm 1300 \text{ MHz}$. Indykator ten nie wymaga zasilania i przy przekroczeniu gęstości mocy 1 mW/cm^2 wydaje dźwięk o częstotliwości około 800 Hz.

Podstawowym zadaniem indywidualnego indykatora promieniowania jest ostrzeżenie człowieka, że w jego otoczeniu natężenie pola przekroczyło poziom uważany za niebezpieczny dla zdrowia i jest konieczne opuszczenie zagrożonego obszaru.

Drugi rodzaj zabezpieczenia Indywidualnego to Indywidualne środki ochrony przed promieniowaniem, takie jak: okulary ochronne, kapłuszony ochronne, fartuchy i kombinizony ochronne [8, 20].

Wszystkie wymienione rodzaje odzieży ochronnej są wykonane z materiałów odbijających i stratnych, co powoduje zmniejszenie natężenia pola przez tę odzież nie mniej niż o 20 dB. Stosowanie odzieży jest szczególnie zalecane dla osób pracujących przy urządzeniach radarowych, mikrofalowych stacjach przekaźnikowych i innych urządzeniach, zwłaszcza mikrofalowych, gdzie niekiedy nawet przy małej mocy źródła mogą być w pobliżu anteny wytwarzane znaczne gęstości mocy wskutek dużego zysku energetycznego anteny.

6. ZAKOŃCZENIE

Niewątpliwą w chwili obecnej jest biologiczna aktywność promieniowania nie jonizującego, niewątpliwie jest także szkodliwe działanie tego promieniowania na organizm ludzki. Do chwili obecnej nie stwierdzono jednak w sposób obiektywny faktów bezspornych trwałego uszkodzenia zdrowia u ludzi wskutek napromieniowania. Nie znaczy to jednak, że uszkodzenia takie nie mogły powstać lub też, że ich symptomy nie mogą wystąpić w przyszłości. Można przypuszczać, że zagrożenie wytwarzane przez promieniowanie nie jonizujące jest porównywalne z innymi zagrożeniami stworzonymi przez współczesną cywilizację, jednak wokół działania tego promieniowania wytworzyła się pewna psychoza, której skutki są niekiedy wręcz niemożliwe do wyjaśnienia, jak np. niechęć do konsumowania kurczaków pleczonych mikrofalami.

Jednym z podstawowych zadań na najbliższą przyszłość jest chyba rozpowszechnienie obecnego stanu wiedzy na temat zagrożenia stwarzanego przez promieniowanie nie jonizujące i przeciwdziałanie w ten sposób subiektywnie odczuwanemu stanowi nadmiernego zagrożenia. Kolejnym niezmiernie ważnym działaniem jest dalsze prowadzenie badań nad biologiczną aktywnością pól elektromagnetycznych, co w efekcie końcowym mogłoby doprowadzić do naukowo uzasadnionych przepisów ochronnych. Obecnie stosowane przepisy ochronne ograniczające dopuszczalne wartości promieniowania są często przyjmowane na drodze arbitralnej, w oparciu o spekulacje niekiedy luźno związane z doświadczeniem.

Wydaje się więc celowe dalsze prowadzenie badań nad wpływem takich parametrów pola, jak: częstotliwość, rodzaj polaryzacji i modulacji, gęstość mocy, natężenie składowych E i H, czas napromieniowania i in. na aktywność biologiczną, a także badanie sposobów wpływania poszczególnych parametrów pola na powstawanie odwracalnych i nieodwracalnych zmian w organizmie.

Jest także konieczne zmniejszenie promieniowania, na jakie jest narażony człowiek przez odpowiednią konstrukcję urządzeń generacyjnych i innych elementów w.c.z., przez odpowiednią organizację pracy oraz przez środki ochrony osobistej. Warunkiem prowadzenia większości z wymienionych prac jest doprowadzenie do końca prac nad opracowaniem metod pomiarowych promieniowania, konstrukcją odpowiednich przyrządów i metod ich wzorcowania.

Ochrona środowiska przed promieniowaniem nie jonizującym jest związana z eliminacją lub ograniczeniem destrukcyjnego wpływu tego promieniowania na biosferę, a także na litosferę. Dążenia te wymagają wyeliminowania z życia codziennego lub przynajmniej ograniczenia liczby źródeł promieniowania i ich mocy. Tymczasem obserwuje się sytuację odwrotną, tj. gwałtowny wzrost liczby i mocy źródeł promieniowania nie jonizującego, pracujących w bardzo szerokim widmie częstotliwości. Tendencja ta powoduje wzrost zagrożenia napromieniania środowiska i wystąpienia efektów pochodnych. Niekiedy ograniczenie mocy emitowanej przez źródła promieniujące jest związane ze znacznym zmniejszeniem efektywności pracy takich źródeł i jest nieomal nie do przyjęcia z technicznego punktu widzenia. Przykładowo - znaczniejsze ograniczenie mocy promieniowanej przez stacje radiowe czy telewizyjne, a także przez stacje radiolokacyjne czy radionawigacyjne prowadzi do odpowiedniego ograniczenia zasięgu ich działania. Można wprowadzić większość pracujących na ziemi wymienionych urządzeń przenieść na orbity okołozemskie, jednak wtedy cała powierzchnia ziemi znajdowałaby się w polu promieniowania urządzeń satelitarnych, co stwarza hipotetyczną możliwość powstania deformacji genetycznych poprzez oddziaływanie na poziomie komórkowym czy molekularnym w biosferze całej Ziemi.

Z drugiej strony już dzisiaj planuje się umieszczenie na orbitach okołozemskich urządzeń przetwarzających energię promieniowania słonecznego na promieniowanie mikrofalowe lub laserowe przekazywane w postaci silnie zogniskowanej wiązki w kierunku ziemi. Stacja taka byłaby źródłem promieniowania o dużym natężeniu, stanowiącym potencjalne zagrożenie dla środowiska na obszarze wielu kilometrów kwadratowych. W wielu krajach istnieją co prawda przepisy ograniczające dopuszczalne wartości natężenia promieniowania dla różnych zakresów częstotliwości, jednak bardzo często nie są one przestrzegane. Można również przyjąć, że w chwili obecnej zagrożenie naruszenia naturalnego środowiska przez promieniowanie nie jonizujące jest stosunkowo niewielkie i wydaje się być bez porównania mniejsze niż zagrożenia wywołane przez współczesną chemię, energetykę czy przez niewłaściwe gospodarowanie zasobami bogactw naturalnych. Kiedy jednak mowa o kompleksowej ochronie środowiska, to nie może zabraknąć najmniejszego elementu stanowiącego tę ochronę, tym bardziej, że dotychczas są całkowicie nie znane skutki "kompleksowego" zanieczyszczenia środowiska i wzajemnego współdziałania poszczególnych czynników naruszających to środowisko.

WYKAZ LITERATURY

1. Babij T., Trzaska H.: Pola elektromagnetyczne aktywne biologicznie w pobliżu przemysłowych urządzeń przebiegających wielkich częstotliwości. Przegl. Elektrotechn. nr 2, s. 52-56.
2. Babij T., Trzaska H.: Oddziaływanie biologiczne urządzeń radionadawczych stosowanych na PKP. Przegl. Kolejowy Elektrotechn. nr 4, s. 28-33.
3. Babij T., Trzaska H.: Problemy ochrony środowiska przed biologicznym działaniem promieniowania niejonizującego. Materiały Konferencji "Nietelekomunikacyjne Zastosowania Mikrofal". Wrocław IX/1973 s. 155-181.
4. Babij T., Trzaska H.: The problem of measurements of electromagnetic field strength of nonionizing radiation. Materiały Konferencji Generalnej URSI, Warszawa 1972.
5. Babij T., Trzaska H.: Zagadnienie konstrukcji mierników promieniowania niejonizującego. Medycyna Lotnicza nr 39, s. 153-163.
6. Babij T., Trzaska H.: Zagadnienia pomiaru dużej, aktywnej biologicznie gęstości strumienia mocy mikrofalowej. Medycyna Lotnicza nr 39, s. 163-169.
7. Babij T., Trzaska H.: Zagadnienia pomiaru pola elektromagnetycznego w obszarze Fresnela. Materiały I Konferencji Kompatybilności Elektromagnetycznej, Wrocław 1972.
8. Badian L.: Okulary mikrofalowe i technika pomiaru tłumienia. Prace PIT 1961 nr 32-33, s. 83.
9. Baird R.C.: Recent developments in the measurement and control of non-ionizing electromagnetic radiation in the United States. Materiały Konferencji Generalnej URSI, Warszawa 1972.
10. Barański S., Czerski P.: Swoiste efekty biologiczne oddziaływania mikrofal. Medycyna Lotnicza, nr 39 s. 11-19.
11. Bigu del Blanco J., Romero-Sierra C.: Bird feathers as dielectric receptors of RF fields. IEEE G-MTT Int. Microwave Symposium Boulder. 1973.
12. Czerski P., Piotrowski M.: Założenia do ustalenia dopuszczalnych dawek promieniowania mikrofalowego. Medycyna Lotnicza nr 39, s. 127-141.
13. Ely T.S.: Microwave death. J. Amer. Med. Assn, 1971 vol. 214 s. 1394-1406.
14. Frey A.H.: Biological function as influenced by low power modulated RF energy. IEEE Trans. Microwave Theory Techn., 1971, vol. MTT-19, s. 153-164.
15. Guy A.W.: Analysis of electromagnetic field induced in biological tissues, by

- thermographic studies on equivalent phantom models. IEEE Trans. Microwave Theory Techn. 1971, vol. MTT-19, nr 2, s. 205-214.
16. Hoff J.R.: EMC measurements in hospitals. Proc. 1975 IEEE/EMC Intl. Symp. San Antonio, TX., s. 5B11c1-5B11c5.
 17. Justesen D.R.: A rose by another name is a cabbage? Proc. 1975 USNC/URSI meeting, Boulder, CO, s. 46.
 18. Kucia H.R.: Electromagnetic radiation safety in Poland. Materiały Konferencji Generalnej URSI, Warszawa 1972.
 19. Kucia H.: Biologicznie aktywne pola elektromagnetyczne w grzejnictwie wielkiej częstotliwości. Przegląd Elektrotechniczny nr 6, s. 285-288.
 20. Kryłow W.A., Juczienkoła T.W.: Zaszczita ot elektromagnitnyh izluczenii. Moskwa 1972.
 21. Liu L.M., Skwes G.W., Rosenbau F.J.: Further experiments seeking evidence of nonthermal biological effects of microwave radiation. IEEE, G-MTT Int. Microwave Symp. 1973.
 22. Lin J.C., Johnson C.C., Guy A.W.: Power deposition in a spherical model of man exposed to 1 ÷ 20 MHz EM fields. IEEE G-MTT Int. Microwave Symp. 1973.
 23. Manczarski S.: Szkodliwości związane z przebywaniem człowieka w polach szybkozmennych. Zdrowie Publiczne, nr 6 s. 12-18.
 24. Manczarski S.: Początki badań w Polsce biologicznego działania pól elektromagnetycznych i dalsze perspektywy. Medycyna Lotnicza, nr 39, s. 7-11.
 25. Manczarski S., Mikke D.: Badania szkodliwego oddziaływania pól szybkozmiennych na organizm ludzki. Prace IŁ, 1963, nr 1, s. 55-92.
 26. Minecki L.: Promieniowanie elektromagnetyczne wielkiej częstotliwości. Działanie biologiczne i ochrona zdrowia. CRZZ 1967.
 27. Mikołajczyk H.: Pola elektromagnetyczne. Warszawa: PWN 1974.
 28. Marha S.: Elektromagnetické pole a životní prostředí. Praha 1965 r.
 29. Michaelson S.M.: Human exposure to nonionizing radiant energy potential hazards and safety standards. Proc. IEEE 1972, vol. 60, nr 4, s. 389-421.
 30. Michaelson S.M., Dodge C.H.: Soviet views on the biological effects of microwaves - An analysis, Health Phys., 1971, vol. 21, s. 108-111.
 31. Michaelson S.M., Schwan H.P.: Comparative aspects of radio frequency and microwave biomedical research. IEEE G-MTT Int. Microwave Symp. 1973.

32. Mumford W.W.: Some technical aspects of microwave radiation hazards. Proc. IRE, 1961, vol. 49 nr 2, s. 427-447.
33. Presmen A.S.: Pole elektromagnetyczne a żywa przyroda. Warszawa: WNT 1968.
34. Rabinowitz J.R.: Possible mechanisms for the biomolecular absorption of microwave radiation with functional implication. IEEE G-MTT Int. Micr. Symp. 1973.
35. Rosenthal S.W.: Review of RF and microwave hazard standards in the United States and research on the biological effects of microwaves at P.I.N.Y. Proc. 5-th Colloquium on Microwave Communication, Budapest 1974.
36. Ruggera P.S.: Radiofrequency E-field measurements within a hospital environment. Proc. 1975 IEEE/EMC Intl. Symp. San Antonio, TX, str. 5B11d1 - 5B11d3.
37. Schwan H.P.: Microwave radiation: biophysical considerations and standards criteria. IEEE Trans. Biomed. Eng. 1972, vol. BME-10, nr 5, s. 532-541.
38. Schwan H.P.: Interaction of microwave and radiofrequency radiation with biological systems. IEEE Trans. Microwave Theory Techn. 1971, vol. MTT-19, nr 2, s. 146-152.
39. Schwan H.P., Piersol G.M.: The absorption of electromagnetic energy in body tissues, a review and critical analysis, part I. Biophysical aspects. Amer. J. Phys. Med., 1954, vol. 33, s. 371-404.
40. Schwan H.P., Piersol G.M.: The absorption of electromagnetic energy in body tissues, a review and critical analysis, part II. Physiological and clinical aspects. Amer. J. Phys. Med. 1955, vol. 34, s. 425-448.
41. Wacker P.F., Bowman R.R.: Quantifying hazardous electromagnetic fields: scientific basis and practical considerations. IEEE Trans., Microwave Theory Techn., 1971, vol. MTT-19, nr 2, s. 178-187.
42. Zagajewski T.: Elektronika przemysłowa. Warszawa: PWN 1962.
43. Radiation Control for Health and Safety Act of 1968 /PL-90-602/.
44. Occupational Safety and Health Act of 1970 /PL-91-596/.
45. Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 20 października 1961 r. w sprawie bezpieczeństwa i higieny pracy przy używaniu urządzeń mikrofalowych /Dz. U. Nr 48 z dnia 14 listopada 1961 r., poz. 255/.
46. Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 25 maja 1972 r. w sprawie bezpieczeństwa i higieny pracy przy stosowaniu urządzeń wytwarzających pola elektromagnetyczne w zakresie mikrofalowym /Dziennik Ustaw PRL Nr 21 z dnia 8 czerwca 1972 r., poz. 153/.

47. Rozporządzenie Ministrów Pracy, Płac i Spraw Socjalnych oraz Zdrowia i Opieki Społecznej z dnia 19 lutego 1977 r. w sprawie bezpieczeństwa i higieny pracy przy stosowaniu urządzeń wytwarzających pola elektromagnetyczne w zakresie od 0,1 MHz do 300 MHz /Dziennik Ustaw PRL Nr 8 z dnia 19 marca 1977 r., poz. 33/.

