INSTYTUT ŁĄCZNOŚCI
WARSZAWA-MIEDZESZYN

PROBLEMY ŁĄCZNOŚCI

97
1973

MINISTERSTWO ŁĄCZNOŚCI

PROBLEMY ŁĄCZNOŚCI

ROK 13 WARSZAWA 1973 NR 97

INSTYTUT ŁĄCZNOŚCI
Branżowy Ośrodek
Informacji Naukowo-Technicznej i Ekonomicznej

Redakcja Problemów Łączności

Redaktor Naczelny - mgr inż. Jerzy Rutkowski

Redaktorzy działów:

mgr inż. Władysław Cetner, mgr inż. Adam Moniuszko,
mgr inż. Józef Możejko

Adres Redakcji:
Instytut Łączności
Branżowy Ośrodek
Informacji Naukowo-Technicznej i Ekonomicznej
Warszawa-Miedzeszyn, ul. Szachowa 1

NA PRAWACH RĘKOPISU

Redaktor: J. Borkowska Montaż tekstu: B. Drabik

Dział Wydawniczy Instytutu Łączności
Format B5. Nakład 700. Wpłynęło do
Działu Wydawniczego 23.02.1973 r.
Druk ukończono w maju 1973 r.

PROBLEMY ŁĄCZNOŚCI

Opracowanie tłumaczenia

WPŁYW ENERGII PROMIENIOWANIA NIE JONIZUJĄCEGO NA CZŁOWIEKA - POTENCJALNE RYZYKO I PRZEPISY BEZPIECZEŃSTWA

Opracował J. Zygierewicz

SPIS TREŚCI

614.898

WPŁYW ENERGII PROMIENIOWANIA NIE JONIZUJĄCEGO NA CZŁOWIEKA - POTENCJALNE RYZYKO I PRZEPISY BEZPIECZEŃSTWA

Opracował J. Zygierewicz na podstawie artykułu S.M. Michaelsona: Human exposure to nonionizing radiant energy - potential hazards and safety standards. Proc. IEEE 1972 t. 60 nr 4, s. 389-421.

WSTĘP

Liczba produkowanych i stosowanych w przemyśle, wojsku, łączności, medycynie oraz w gospodarstwach domowych urządzeń, promieniujących energię elektromagnetyczną w różnych zakresach częstotliwości, nieustannie wzrasta. Promieniowanie to obejmuje: ultrafiolet /UF/, podczerwień /P.CZ./, światło widzialne, mikrofale oraz fale radiowe /F.R./. Z tego też względu wzrasta zainteresowanie wpływem, jaki promieniowanie to może wywierać na organizm ludzki oraz sposobami ochrony przed szkodliwymi skutkami tego promieniowania. Dowodem tego są m.in. opracowane w Stanach Zjednoczonych przepisy dotyczące zasad zgłaszania, rejestrowania, eksploatacji i kontroli wszelkich urządzeń elektronicznych, które mogą w sposób pożądany lub niepożądany być źródłami jakiegokolwiek rodzaju jonizującego lub nie jonizującego promieniowania elektromagnetycznego. Do przestrzegania tych przepisów zobowiązani są producenci, dystrybutorzy i użytkownicy tego typu urządzeń, z których dla przykładu można wymienić odbiorniki telewizyjne, kuchnie mikrofalowe, aparaty rentgenowskie,

lasery, diatermie, aparaty do czyszczenia, działające na zasadzie fal naddźwiękowych itp. Specjalnie powołane Biuro do Ochrony Radiologicznej /BHR/ jest w związku z powyższym zobowiązane do: 1/ prowadzenia badań w celu określenia szkodliwości biologicznej promieniowania elektromagnetycznego; 2/ określenia standardów bezpieczeństwa dla niektórzych urządzeń elektronicznych; 3/ kierowania specjalnym laboratorium do badań i kontroli urządzeń; 4/ opracowywania przyrządów i metod pomiaru promieniowania; 5/ kontroli urządzeń i wydawania atestów stwierdzających dopuszczalność ich użytkowania; 6/ ustalania zasad wykonywania urządzeń, które umożliwiałyby ich produkcję zgodnie z obowiązującymi przepisami w zakresie dopuszczalnych wartości energii promieniowania. Specjalne przepisy określają zasady bezpieczeństwa i higieny pracy przy promieniujących urządzeniach elektronicznych. Dotyczą one trzech grup zagadnień: 1/ stale ulepszanych i modyfikowanych norm co do warunków pracy dla zapewnienia bezpieczeństwa i zdrowia pracowników, 2/ zobowiązań pracodawców do rejestracji i zgłaszania wszelkich przypadków chorobowych, uszkodzeń ciała i zgonów mogących mieć związek z warunkami pracy w polu promieniowania elektromagnetycznego, 3/ ustalenia zasad pracy z materiałami toksycznymi i innymi szkodliwymi materiałami promieniotwórczymi oraz określania dopuszczalnych ich stężeń dla różnych okresów czasu pracy personelu. Zagadnienia szkodliwości promieniowań elektromagnetycznych przy pracy w przemyśle są bliżej rozpatrzone w opracowaniu [1].

BIOFIZYKA

Promieniowanie elektromagnetyczne /tabela 1, rys.1/[x] rozchodzi się w postaci fal, przy czym zgodnie z teorią korpuskularną następuje to na zasadzie emisji małych "porcji" energii, zwanych fotonami lub kwantami. Energia fotonu /E/ jest wprost proporcjonalna do częstotliwości oscylacji ν zgodnie z wzorem $E = h \cdot \nu$, /gdzie h stała Plancka/, jest więc odwrotnie proporcjonalna do długości emitowanej fali. Energia ta wyrażana jest w elektronowoltach /eV/. Dla zobrazowania bardzo małych wartości tej energii można na przykład podać, że 1 MeV jest równoważny energii potrzebnej do podniesienia ciężaru 1 mg na wysokość 1 mm. Energia termiczna cząsteczki w temperaturze pokojowej wynosi około 1/30 eV, energia więzów międzyatomowych w cząsteczce lub w związku chemicznym zawiera się w granicach od części elektronowoltu do 4 eV, podczas gdy energia wewnątrzatomowa wiążąca protony i neutrony sięga aż milionów elektronowoltów.

W miarę zmniejszania się energii fotonu /częstotliwości emitowanej fali/ maleje prawdopodobieństwo wybicia elektronów z orbity atomu i powstawania jonów. Minimalna energia fotonów niezbędna do jonizacji atomów wodoru, tlenu, azotu i węgla wynosi od 12 do 15 eV. Ponieważ atomy tych pierwiastków stanowią główny element budowy tkanek istot żywych, przeto energia 12 eV może być traktowana jako dolna granica możliwości powstawania jonizacji w ciele człowieka [1].

Energia promieniowana w postaci fotonów może powodować konkretne efekty fotochemiczne lub termiczne tylko w przypadku jej pochłaniania przez cząsteczki ciała, na które ona pada [1]. Nie

x/ Rysunki 1 ... 3 są zamieszczone na końcu artykułu

Tabela 1

Nie jonizujące promieniowanie elektromagnetyczne

Promieniowanie	Długości fal	Częstotliwości	Energia fotonu /eV/	Skutki absorpcji
Ultrafiolet	180 - 400 nm	10^6 GHz	7 - 3,1	pobudzanie podwalencyjnych i walencyjnych elektronów w atomie
Widzialne	400 - 780 nm	$5 \cdot 10^5$ GHz	3,1 - 1,5	pobudzanie elektronów walencyjnych w atomie
Bliska podczerwień	780 - $2,5 \cdot 10^4$ mm	$3 \cdot 10^5$ - 10^4 GHz	1,5 - 0,04	wzrost energii kinematycznej wibracji i rotacji cząsteczek /wzrost temperatury/
Daleka podczerwień	$2,5 \cdot 10^4$ - $1,25 \cdot 10^5$ nm	$3 \cdot 10^4$ - $2 \cdot 10^3$ GHz	0,04 - 0,008	wzrost energii kinematycznej wibracji i rotacji cząsteczek /wzrost temperatury/
Mikrofale	3 mm - 10 cm	10^5 - 300 MHz	$4 \cdot 10^{-4}$ - $1,2 \cdot 10^{-6}$	wzrost energii kinematycznej rotacji cząsteczek /wzrost temperatury
Fale radiowe /radiofonia i telewizja rozsiewcza/	1 - 1000 m	300 kHz - 300 MHz	$1,2 \cdot 10^{-6}$ - $1,2 \cdot 10^{-9}$	nie znane

jonizująca energia promieniowania elektromagnetycznego powoduje albo wzrost poziomów energetycznych atomów albo zmianę energii rotacyjnej i wibracyjnej cząsteczek. W układach biologicznych może to się wyrazić w postaci rozpadu cząsteczek, rozproszenia pochłanianej energii w postaci fluorescencji lub fosforoscencji, powstawania wolnych rodników /free radicals/ lub zmiany temperatury tkanek. Wpływ promieniowania na układy biologiczne zależny jest od energii fotonów i możliwości ich penetracji w głąb tych układów oraz od zdolności poszczególnych cząsteczek podlegania termicznym i chemicznym zmianom pod wpływem pochłanianego promieniowania. Poza natężeniem promieniowania ma na to również wpływ czas napromieniowania, czyli ilość ogólnie pochłoniętej energii.

Chociaż przy większych długościach fal można uzyskać wysokie wartości tej energii, to jednak nie jest ona dostateczna do wywoływania jonizacji i może jedynie powodować wzrost temperatury ciała. Reakcje fotochemiczne w zasadzie występują tylko przy pochłanianiu energii fal świetlnych widzialnych i ultrafioletowych, natomiast reakcje termiczne - podczerwonych, mikrofal i radiowych.

Ponadto efekty napromieniowania nawet przy tym samym jego natężeniu i czasie trwania mogą być różne w zależności od wielu różnorodnych czynników biologicznych i fizycznych.

WSKAZÓWKI OCHRONY I STANDARDOWE WARTOŚCI

Jest rzeczą niezbędną ustalenie granicznych wartości energii, jaką istota ludzka może wchłonąć bez uszczerbku dla zdrowia, ale

określenie konkretnych liczb jest sprawą bardzo skomplikowaną, zwłaszcza gdy idzie nie o skutki bezpośrednie, a o efekty wtórne, późniejsze. Standardowe wartości ochronne powinny być zasadniczo ustalone na przykładzie naukowych badań, lecz w wielu przypadkach są tylko wynikiem doświadczalnej oceny różnych zagadnień w świetle istniejącej niepełnej i subiektywnej znajomości rzeczy, a nie obiektywnych pomiarów przyczyn i skutków [5]. Problem ustalenia standardowych wartości uprościłby się bardzo, gdyby istniała bezpośrednia zależność pomiędzy poziomem napromieniowania a żjawiskiem patofizjologicznym, niestety trzeba wziąć w praktyce pod uwagę nie tylko wiele różnych złożonych zależności, lecz również pogodzić się w wielu przypadkach z niemożnością uzyskania konkretnych danych niezbędnych do wyciągnięcia ogólnych wniosków. Istnieje ponadto szeroki przedział pomiędzy poziomami napromieniowania nie powodującymi efektów i powodującymi wyraźne wykrywalne efekty, co dodatkowo utrudnia ustalenie dopuszczalnych gęstości energii promieniowania, padającej na żywy organizm ludzki o przeciętnych właściwościach biologicznych.

Teoretycznie wpływy napromieniowania i wartości progowe powinny być określane w oparciu o badania na ludziach. Gdy to jest niemożliwe lub utrudnione, można się oprzeć na ekstrapolacji danych uzyskanych poprzez dobrze zaprogramowane i przeanalizowane badania na zwierzętach. Dodatkowo przy badaniach trzeba uwzględnić możliwość powstawania różnych wpływów w zależności od rozpatrywanej części widma fal elektromagnetycznych, biorąc pod uwagę częstotliwość, rodzaj modulacji, czas ekspozycji, gęstość mocy, rodzaj polaryzacji fali.

Przy ustalaniu wartości standardowych dla różnych grup ludności, na przykład zatrudnionych w wojsku, przemyśle, służbie zdrowia, rolnictwie, gospodarstwie domowym itp., trzeba ponadto mieć zdolności wyciągania wniosków i trzeźwego osądu w stosunku do konkretnych przypadków, zwłaszcza gdy się pragnie ocenić prawdopodobieństwo ryzyka przekroczenia dopuszczalnych wartości granicznych napromieniowania oraz jego konsekwencje [6].

Niektórzy sądzą [5], że dopuszczalne napromieniowanie określonych grup ludności powinno być utrzymane na poziomie nieco niższym od tego, jaki wywołuje wyraźnie obserwowalne efekty. W przypadku wartości większych od tej wartości minimalnej mogą przy tym istnieć różne zależności pomiędzy przekroczoną dozą napromieniowania i wywołanym tym efektem w zależności od rodzaju efektu i sposobu "dostarczenia" tej dozy napromieniowania. Dlatego przy określaniu wartości dopuszczalnej dozy trzeba brać pod uwagę zarówno ryzyko powstania szkodliwych uszczerbków dla zdrowia człowieka przy jej przekroczeniu jak i konieczność dopuszczenia w pewnych warunkach przekroczenia minimalnej dopuszczalnej dozy, podobnie jak to dzieje się w wielu innych dziedzinach życia, w których akceptuje się istnienie pewnego stopnia ryzyka, licząc się z mniej lub bardziej poważnymi konsekwencjami [7]. Do oceny stopnia tego ryzyka konieczna jest znajomość zależności pomiędzy efektem a dozą napromieniowania również przy stosunkowo słabym napromieniowaniu, a w szczególności zarówno szybkości i zasięgu powstawania zmian w organizmie, jak i zdolności powrotu do stanu normalnego. Pożądana jest możliwość ekstrapolacji na człowieka wyników badań nad zwierzętami. Na szczęście w odniesieniu do promieniowania nie jonizującego wyni-

ki badań wskazują na istnienie pewnych progowych wartości napromieniowania dla poszczególnych efektów, co powinno ułatwić określenie dopuszczalnych standardowych wartości promieniowania i analizę ryzyka związanego z przekroczeniem tych wartości.

Ważnym czynnikiem jest ponadto konieczność uświadomienia poszczególnych grup ludności o konieczności ochrony przed promieniowaniem, nawet na drodze nadrzędnej kontroli administracyjnej wszelkich urządzeń mogących potencjalnie wytwarzać szkodliwe promieniowanie [8].

Jest rzeczą oczywistą, że wiele jest jeszcze do zrobienia w zakresie ustalenia dopuszczalnych, standardowych wartości napromieniowań, nie tylko w odniesieniu do wartości całkowicie bezpiecznych, ale również wartości związanych z wystąpieniem różnych rodzajów i stopni ryzyka [9]. Powinni to wykonać specjaliści którzy potrafią ocenić wpływ napromieniowania na całe ciało lub poszczególne jego organy. Ponadto należy wprowadzić wyraźne rozróżnienie pomiędzy efektami biologicznymi "samymi w sobie", które nie prowadzą do takich krótkotrwałych lub ukrytych pogorszeń funkcjonowania organizmu, z którymi nie mógłby się sam uporać, oraz uszkodzeniami, które mogą prowadzić do stałego upośledzenia normalnego funkcjonowania organizmu lub powodować zaburzenia genetyczne.

PROMIENIOWANIE ULTRAFIOLETOWE

Wiele materiałów w temperaturach powyżej 2500°K może promieniować energię w zakresie fal ultrafioletowych, podczas gdy wzbudzone elektrony orbitalne atomów powracają do normalnego

stanu, oddając swoją energię. Energia emitowana zawiera się w granicach od 3,26 eV /długość fali 380 nm/ do 123 eV /10 nm/. Z punktu widzenia biologicznego granica pomiędzy prawdopodobieństwem wzbudzenia i jonizacji cząsteczki przypada na długość fali około 100 nm.

Promieniowanie ultrafioletowe może być podzielone w zależności od długości fali na: tzw. próżniowe /100 ÷ 190 mm/, pochłaniane silnie przez powietrze [illegible] dalekie /190 ÷ 300 nm/, pochłaniane silnie przez większość tkanek biologicznych; bliskie /300 - 380 nm/, pochłaniane tylko przez niektóre z tych tkanek [10].

Z bezpośrednim biologicznym oddziaływaniem naturalnego promieniowania ultrafioletowego Słońca mamy do czynienia tylko przy długościach fal powyżej 300 nm, fale krótsze są skutecznie pochłaniane przez ozon zawarty w atmosferze, jednakże i ta część energii może wywierać wtórny wpływ biologiczny w wyniku reakcji fotochemicznych [11].

W warunkach sztucznych szkodliwe promieniowanie ultrafioletowe jest wytwarzane przede wszystkim przez lampy używane do sterylizacji i naświetlania, lasery oraz wszelkie łuki elektryczne, zwłaszcza powstające w trakcie procesów spawania. Ponadto jako źródła o mniejszym stopniu szkodliwości, ale szerszym zastosowaniu można wymienić: lampy fluorescencyjne, wskazówki i tarcze fosforyzujące, różnego typu syntezy i analizy chemiczne, urządzenia medyczne, lampy kineskopowe, procesy fotochemiczne itp. [12],[13].

Ostatnio zwłaszcza rozpowszechniło się wykorzystywanie lamp ultrafioletowych nie tylko do celów ściśle medycznych, ale rów-

nież do sterylizowania żywności i wody dzięki ich działaniu bakterio- i wirusobójczemu, a przewiduje się ich zastosowanie także do dezynfekcji powietrza w zagrożonych pomieszczeniach [14],[15], [17], [18].

Najważniejszym skutkiem oddziaływania promieniowania ultrafioletowego na człowieka jest powstanie oparzeń zewnętrznych /rumień/. Z tego też względu proponowane są różne wartości standardowe charakteryzujące to promieniowanie, na przykład minimalną dozą ze względu na powstawanie rumienia jest wielkość promieniowania, która przy krótkiej ekspozycji powoduje powstanie po 8 godzinach dostrzegalnego zaczerwienienia skóry,które znika po 24 godzinach [15], [16], [17], [20], [21].

Spotykane konkretne wartości liczbowe gęstości mocy promieniowania są następujące:

Jednostka "rumieniowa" - 100 $\mu W/cm^2$ promieniowania jednorodnego o długości fali 296,7 nm [11],[18].

Jednostka "sterylizująca" - 100 $\mu W/cm^2$ promieniowania o długości fali 253,7 nm [19].

Pośrednim skutkiem promieniowania ultrafioletowego są patochemiczne zmiany protein, czego dowodem jest efekt sterylizacyjny /działanie bakteriobójcze/ i wytwarzanie w powietrzu ozonu oraz tlenków azotu [12]. Dla zdrowia człowieka najbardziej szkodliwe są procesy spawania, w trakcie których wytwarzane są fotony o energiach ponad 5 eV /250 nm/, zdolne do przekształcenia cząsteczek tlenu w cząsteczki ozonu, oraz fotony o energiach 6,5 ÷ 9,5 eV, mogące powodować zerwanie więzów w połączeniach

cząsteczkowych typu N-O i N-N, co z kolei może prowadzić do powstania tlenków azotu [22], [23].

Promieniowanie słoneczne docierające do powierzchni Ziemi zawiera składowe ultrafioletowe o długościach fal 300 - 400 mm, które nie jest uważane za szkodliwe biologicznie /pomijając nadmierne opalenie się/, a przeciwnie warunkujące powstawanie podstawowych dla życia procesów fotosyntezy [12].

Patofizjologia

Biofizyczne aspekty skutków promieniowania ultrafioletowego są rozpatrywane szczegółowo w literaturze [10], [18], [24], [25]. Biologiczne objawy tego promieniowania są przedstawione w tabeli 2. Należy podkreślić wyraźną zależność skutków promieniowania od długości fali [26].

Szkodliwe skutki promieniowania ultrafioletowego na żywe organizmy są wynikiem jego absorpcji przez kwasy nukleinowe, wolne proteiny w komórkach oraz fotochemiczne reakcje, które zachodzą w niektórych receptorach. Natomiast ograniczone możliwości przenikania tego promieniowania w głąb organizmu zmniejsza obszar zagrożenia głównie do powierzchni skóry i oczu [1], tym bardziej że dodatkowym zabezpieczeniem jest normalne ubranie /głębokość wnikania promieniowania jest wprost proporcjonalna do długości fali/. Zjawisko rumienia występuje najsilniej przy długościach fal 260 nm i 290 nm, natomiast za opalenie najbardziej odpowiedzialny jest zakres 290 - 310 nm, przy czym nadmierne opalenie może być również szkodliwe, jak o tym wiedzą ludzie zmuszeni do długiego przebywania na wolnym powietrzu. Głównym

Tabela 2

Podstawowe skutki biologiczne promieniowania ultrafioletowego

Skutki	Rodzaj promieniowania /długości fal/
Właściwości sterylizujące	maksimum 260 nm - skutki maleją gwałtownie przy mniejszych i większych długościach fal w związku z selektywną charakterystyką absorpcji nukleoprotein
Rak skóry	200 - 400 nm, największy efekt przy 290 - 320 nm
Wytwarzanie ozonu	jak przy właściwościach sterylizujących
Fotosynteza	związana z tym długość fali ulega zmianie w zależności od składu chemicznego związków zaangażowanych w w reakcję
Pigmentacja /opalenie/	280 - 320 nm i 300 - 650 nm
Zwiększenie grubości zrogowaciałego naskórka	promieniowanie słoneczne 300-400 nm
Zwyrodnienie tkanki łącznej	promieniowanie słoneczne 300-400 nm
Rogowacenie naskórka	zwiększa się przy falach krótszych /energia $0,15.10^{-1}$ przy długości fali 288 nm/
Działanie przeciwkrzywiczne	wytwarzanie wit. D /1 jed. wit. D jest wytwarzana, gdy absorbowana jest energia 9×10^{5} przy długościach fal 249 - 313 nm/
Powstawanie rumienia	minimalna energia fali o długości 296,7 nm dla wywołania tego zjawiska wynosi 25000 $\mu Ws/cm^2$; przy falach krótszych lub dłuższych /w pewnych granicach/ wymagana moc jest większa

objawem są różnego typu uczulenia skórne, co może prowadzić do poważniejszych schorzeń w postaci zrogowacenia, uszkodzenia nabłonka itp. [29].

Nadmierne napromieniowanie może prowadzić nawet do powstania raka skóry [12],[30], [31], [32], ale należy na pocieszenie dodać, że nie stwierdzono jeszcze takiego przypadku u ludzi zatrudnionych przy urządzeniach emitujących fale ultrafioletowe.

Grupa zawodów, których przedstawiciele są najbardziej narażeni na promieniowanie ultrafioletowe:

załogi samolotów,

fryzjerzy,

hutnicy,

spawacze,

litografowie,

ludzie zatrudnieni przy pracach na wolnym powietrzu

elektrotechnicy,

pielęgniarki i operatorki urządzeń medycznych

ludzie zatrudnieni w niektórych działach przemysłu chemicznego,

ludzie zatrudnieni przy akceleratorach atomowych.

Najbardziej zagrożone części organizmu

Jak wspomniano poprzednio, najbardziej narażone są skóra i oczy. Zmiany skórne nie ograniczają się tylko do rumienia, ale mogą też powodować cięższe uszkodzenia w rodzaju bąbli. Chociaż wpływ promieniowania na skórę jest znany od dawna, to jednak mechanizm biologiczny tego zjawiska nie jest zbyt dogłębnie rozumiany [33],[34].

Szkodliwy wpływ dotyczy przede wszystkim rogówki, co wyraża się bolesnym światłowstrętem. Inne objawy, jak na przykład wzmożone łzawienie, związane są z podrażnieniem i przekrwieniem spojówek.

Wskazówki ochrony

Wyniki powyższych rozważań co do stopnia szkodliwości poszczególnych rodzajów promieniowania ultrafioletowego na skórę i oczy zostały zbiorowo przedstawione w tabeli 3.

Tabela 3

Wartości progowe dozy napromieniowania ultrafioletowego

	Wartości progowe dozy w $\mu Ws/cm^2$		
	Długość fali przy której występują najpoważniejsze skutki		Długość fali lamp sterylizujących
	288 nm		253,7 nm
Zapalenie rogówki	królik	$1,5 \times 10^4$	człowiek $1,2 \times 10^4$
	człowiek	$0,3 \times 10^4$	
Rumień	296,7 nm		
	człowiek /mierzone na ramieniu/	$2,0 \times 10^4$	człowiek $3,0 \times 10^4$
Czas trwania naświetlania na dobę			Całkowita doza na dobę przy fali 253,7 nm
7 godzin			$1,2 \times 10^3$
24 godziny			$0,9 \times 10^3$

Trzeba zwrócić uwagę, że wartość progowa dozy wywołującej rumień zależy zarówno od długości fali, jak i naświetlanej powierzchni ciała. Amerykańska służba medyczna proponuje przyjąć jako maksymalną dopuszczalną dozę napromieniowania 0,5 $\mu W/cm^2$ przy naświetleniu do 7 godzin na dobę i wartości podane w

tabeli odpowiadają całkowitej dozie promieniowania pochłoniętej w ciągu 7 godzin. Dane te odnoszą się oczywiście do zdrowej skóry, nie pokrytej dodatkowo środkami ochronnymi, na przykład w postaci odpowiedniego kremu.

Proponuje się również przyjąć pewne graniczne, progowe wartości dopuszczalnej dozy w odniesieniu do gęstości mocy lub energii padającego promieniowania, przy czym zgodnie z sugestiami amerykańskich organizacji odpowiedzialnych za ochronę zdrowia pracowników państwowych wartości te wynosić powinny:

1. Dla promieniowania w zakresie długości fal 320 - 400 nm gęstości mocy promieniowania padającego na nieochronioną skórę lub oczy nie powinny przekraczać 0,1 W/cm^2.
2. Dla promieniowania w zakresie długości fal 200 - 315 nm gęstości promieniowania nie powinny przekraczać od 100 mJ/cm^2 przy długości fali 200 nm do 1000 mJ/cm^2 przy 315 nm.

Przyjmuje się, że przy okresowym podleganiu takiemu promieniowaniu nie występują ujemne skutki u pracowników zatrudnionych przy urządzeniach mogących być źródłami promieniowania ultrafioletowego, wyłączając z rozważań Słońce i lasery. W przypadkach szczególnie krytycznych zaleca się stosowanie środków ochronnych w postaci okularów, ubrań, kremu kryjącego, plastykowych ekranów kryjących twarz itp. [41].

PROMIENIOWANIE ŚWIETLNE WIDZIALNE

Promieniowanie świetlne widzialne obejmuje widmo fal elektromagnetycznych w zakresie długości fal 380 do 750 nm, a określenie "widzialne" wynika stąd, że są na nie uczulone fotoreceptory

oka. Oddziaływanie tego promieniowania na układ biologiczny może być rozpatrywane zarówno w kategoriach korpuskularnego /fotony/, jak i falowego charakteru światła [42].

Fale tego zakresu docierają do siatkówki oka praktycznie bez pochłaniania przez pozostałe jego części. Cechą charakterystyczną własności wizualnych oka jest zdolność przystosowywania się do dużych zmian zewnętrznego oświetlenia. Wynika to stąd, że w siatkówce występują dwa rodzaje receptorów, z których jedne reagują na silne oświetlenie /z równoczesnym rozróżnianiem barw/, a drugie działają przy słabym oświetleniu [43].

Mechanizm fotochemicznych reakcji zachodzących w trakcie pochłaniania promieniowania świetlnego przez siatkówkę nie jest jeszcze całkowicie znany, wiadomo jednak, że substancjami podlegającymi zmianom chemicznym są pigmenty w połączeniu ze specjalnymi rodzajami protein [1], [43 - 49].

Źródłami intensywnego promieniowania widzialnego poza Słońcem są lasery, silne lampy oświetlające, w tym lampy błyskowe, oraz szereg procesów, w trakcie których wytwarzają się łuki elektryczne, na przykład przy spawaniu. Przy zbyt dużym natężeniu promieniowania /powodujących absorpcję mocy powyżej 50 cal/cm^2/ /min/ może nastąpić nadwyrężenie oczu. Najczęściej ma to miejsce przy zbyt jasnych lampach używanych przy czytaniu, lampach projekcyjnych oraz lampach do oświetlania punktowego [50].

Nomenklatura

Dla lepszego zrozumienia zjawisk związanych z absorpcją promieniowania świetlnego widzialnego warto zapoznać się ze stosowaną w tym przedmiocie nomenklaturą, przedstawioną w tabeli 4.

Natomiast związki zachodzące pomiędzy natężeniem światła a oświetleniem są podane w tabelach 5 i 6 [51], [52].

Tabela 4

Jednostki świetlne

Nazwa	Definicja
Lumen	Jednostka strumienia świetlnego równa liczbowo wielkości strumienia wysyłanego w kącie bryłowym 1 stereoradiana przez źródło światła o natężeniu jednego kandela /lm/.
Lux	Jednostka oświetlenia odpowiadająca jednemu lumenowi na metr kwadratowy /lx/.
Kandela	Jednostka natężenia światła /światłości/ równa jest 1/60 wartości natężenia światła wysyłanego w kierunku prostopadłym przez powierzchnię 1 cm^2 ciała doskonale czarnego w temperaturze krzepnięcia platyny /1769°C/ /cd/.
Nit	Jednostka jaskrawości równa jednemu kandelowi na metr kwadratowy /nt/.
Stilb	Jednostka jaskrawości równa jednemu kandelowi na centymetr kwadratowy /sb/.
Lampert	Jednostka jaskrawości odpowiadająca równomiernemu oświetleniu jednego centymetra kwadratowego przez jeden lumen; jeden mililambert równa się 1/1000 lamberta.
Apostilb	Jednostka jaskrawości odpowiadająca równomiernemu oświetleniu jednego metra kwadratowego przez jeden lumen /asb/.

Ponadto w krajach anglosaskich są stosowane odmienne jednostki wynikające z niedostosowania w tych krajach systemu metrycznego /np. zamiast metr kwadratowy stopa kwadratowa/.

Tabela 5

Zależności pomiędzy jednostkami natężenia światła i jednostkami oświetlenia

Natężenie /I/	1 lumen/stereoradian = 1 świeca = 1,02 kandeli
Oświetlenie /E/	1 lumen/m^2 = 1 lux = 1 metro-świeca 1 lumen/stopę^2
Jasność /L/	lumen/cm^2 lumen/m^2 lumen/stopę^2
Jaskrawość /B/	lumen/stereoradian/m^2 /lub cm^2/ lambert /L/ = 10^3 x mililambert /mL/ = 10^6 x mikrolambert /µL/ stopo-lambert /ft-L/ = lumen/stereoradian/stopę^2 = 1,076 mL

Tabela 6

Jednostki jaskrawości

	cd/m^2	cd/cm^2	cd/stopę^2	stopo-lamb.	asb
Kandele na m^2 /nity/	1	0,0001	0,0929	0,2919	3,1416
Kandele na cm^2 /stilby/	10.000	1	929	2919	31416
Kandele na stopę^2	10,76	0,001076	1	3,1416	33,82
Stopo-lamberty	5,426	0,0003426	0,3183	1	10,764
Apostilby /asb/	0,3183	0,00003183	0,02957	0,0929	1

Patofizjologia

Promienie świetlne odbite od obserwowanego obiektu przechodzą przez rogówkę oka, ciecz wodną wypełniającą komorę przednią gałki ocznej, soczewkę, ciecz wodną wypełniającą komorę tylną gałki ocznej i wreszcie docierają do powierzchni siatkówki, której pręciki i stożki przekształcają promienie świetlne w bodźce nerwowe, doprowadzane do odpowiedniego centrum w mózgu [42], [54].

Właściwości oka są powszechnie określane właściwościami progowymi, przy czym rozumie się przez to 50% prawdopodobieństwa dostrzeżenia danej właściwości obserwowanego przedmiotu. Normalne oko odznacza się progiem widzialności przy 10^{-5} mL, zdolnością odróżniania kontrastu 1%, odróżnienia barwy około 1 nm oraz ostrością widzenia 0,008' [53].

Szereg interesujących właściwości dotyczących zdolności adaptacyjnych oka i widzenia przy słabym oświetleniu są szczegółowo opisane w literaturze [42], [43], [55], [56].

Promieniowanie świetlne nie jest uważane w warunkach normalnych za niebezpieczne dla człowieka, aczkolwiek są sytuacje, w których niebezpieczeństwo takie może zaistnieć, na przykład stwierdzono ujemne wpływy psychologiczne światła pulsującego, mogące nawet prowadzić do epilepsji. Najbardziej szkodliwe jest światło o wyjątkowo dużym natężeniu, które może doprowadzić do chwilowej utraty zdolności widzenia /ślepota błyskowa/ lub nieodwracalnych termicznych uszkodzeń soczewki [13]. Intensywne źródła światła jak Słońce, łuki elektryczne itp. mogą powodować chwilowe lub trwałe uszkodzenie pewnych obszarów siatkówki [29], a mo-

gą nawet wywołać zaćmę oczną. Zjawisko to, obserwowane od dawna, jest bez wątpienia spowodowane nadmiernym nagrzaniem soczewki intensywnym promieniowaniem świetlnym widzialnym lub podczerwonym. Natomiast często powtarzające się oślepiające światło, nawet o natężeniu nie powodującym powstania trwałych zmian w soczewce, może prowadzić do takich objawów wtórnych, jak uczucie zmęczenia, irytacji, bólu głowy itp.

"Ślepota błyskowa" jest stosunkowo nowym pojęciem, które pojawiło się dopiero w momencie wynalezienia przez człowieka źródeł światła o większej jaskrawości niż Słońce [13].

Jest ona powodowana oślepiającym światłem, które jest niczym innym jak tak dużą dozą oświetlenia, że przeszkadza to, a nie pomaga lepszemu widzeniu [42]. Oko reaguje na to m.in. chwilowym zmniejszeniem czułości siatkówki, które może trwać jeszcze dość długo po ustaleniu przyczyny powodującej oślepienie.

W zależności od intensywności tego błyskowego światła może wystąpić albo odczucie przykrości, albo zakłócenie zdolności widzenia, lub też oba te przypadki na raz. O ile zjawisko zakłócenia zdolności widzenia może powodować już samo w sobie poważne konsekwencje, to również powtarzające się odczucie przykrości może prowadzić do wtórnych, niemniej groźnych objawów ubocznych, przyczym należy uwzględnić dużą subiektywność tego odczucia [42], [58].

"Ślepota błyskowa" jest wynikiem "wybielenia" pigmentu zawartego w siatkówce oka, który wraca do normalnego stanu dopiero po upływie pewnego czasu, a którego długość zależna jest od intensywności i czasu trwania naświetlenia. Jedynym środkiem zaradczym może być noszenie okularów ochronnych o odpowiednim stopniu zaciemnienia [13], [42], [51].

Prowadzone wszechstronne badania [25], [35] nie wykazały natomiast, aby promieniowanie świetlne /z niekoherentnych źródeł/ mogło prowadzić do powstania katarakty.

Najbardziej zagrożone części organizmu

Z wyjątkiem oczu prawdopodobieństwo poważniejszych ujemnych skutków naświetlenia promieniowaniem widzialnym jest w przypadku człowieka bardzo małe.

Wartości progowe

Ze względu na omówione właściwości oka /małe pochłanianie promieniowania widzialnego przez rogówkę/ energia cieplna wydzielona na jednostkę powierzchni małego wycinka soczewki może być do około 10^5 razy większa niż na jednostkę powierzchni rogówki. W przypadku światła widzialnego przy gęstości mocy 1 W/cm^2 wartość progowa uczucia bólu zostanie przekroczona po upływie 1 s; przy termicznej stałej czasu 0,1 s wartością progową w przypadku oświetlenia impulsowego będzie 0,1 J/cm^2. Nieprzekroczenie tych wartości musi być szczególnie przestrzegane w przypadku koherentnych źródeł światła /laserów/.

Trzema podstawowymi czynnikami decydującymi o stopniu zagrożenia oka są: 1/ intensywność padającego światła, 2/ szerokość średnicy /wielkość oświetlonego obszaru soczewki/, 3/ czas trwania naświetlenia. Jeżeli czynniki powyższe będą tak wzajemnie kontrolowane, aby wartość pochłanianej energii przypadała poniżej 40 - 50 $cal/cm^2/min$, to nie należy obawiać się uszkodzeń

oka [13], [42], [59 - 62]. Wzajemne zależności w tym zakresie są przedstawione na rys. 3.

Wskazówki ochrony

W normalnych warunkach intensywne oświetlenie słoneczne powoduje silne zwężenie źrenicy, zmniejszając tym samym ilość energii świetlnej padającej na soczewkę. Ponadto związane z tym uczucie bólu nie pozwala na bezpośrednie lub dłuższe patrzenie na Słońce, co również jest formą samoobrony organizmu. Samoczynne zamknięcie powieki /w czasie około 150 ms/ jest jeszcze jednym środkiem zaradczym, zapobiegającym uszkodzeniu oka poprzez wypalenie całej lub części powierzchni soczewki [35], [65]. Z drugiej strony dla zapobieżenia nadwyrężenia oczu przy pracy w warunkach niedostatecznego oświetlenia opracowano pewne normy w tym zakresie, przedstawione poglądowo w tabeli 7 [64], [65].

Tabela 7

Zalecane minimalne wartości oświetlenia dla różnych rodzajów zajęć

Rodzaj zajęcia	Minimalne oświetlenie /lumeny/ stopę^2; stopo-świece/	Typowe przykłady
Doraźne widzenie	2	Pozwala na swobodne poruszanie się przy małym ruchu
	10	Kotłownie, magazyny, schowki

c.d. tabl.7

Rodzaj zajęcia	Minimalne oświetlenie /lumeny/ stopę^2; stopo-świece/	Typowe przykłady
Zwyczajne, proste zajęcie	15	Prosta robota ręczna i maszynowa, z grubsza kontrola i liczenie materiałów
Umiarkowanie skomplikowane zajęcie	30	Umiarkowanie trudna robota ręczna i maszynowa, kontrola. Zwykła praca biurowa - czytanie, pisanie, wykonywanie druków
Skomplikowane zajęcie	70	Precyzyjna robota ręczna i maszynowa. Dokładne malowanie, szycie ciemnych materiałów
Bardzo skomplikowane zajęcie	150	Obsługa i kontrola precyzyjnych mechanizmów. Wyrób narzędzi, drobne szlifowanie, obserwacja wskaźników
Nadzwyczaj trudne i ważne zajęcie	300 i więcej	Produkcja i naprawa zegarków

Promieniowanie podczerwone

Promieniowanie noszące nazwę podczerwonego obejmuje widmo od fal widzialnych /750 nm/ do fal o długości około 1.10^6 nm. Widmo tego promieniowania jest często dzielone na trzy podzakresy: bliska podczerwień /750 - 3000 nm/; środkowa podczerwień /3.10^3 - 3.10^4 nm/ i daleka podczerwień /3.10^4 do około 1.10^6 nm/.

Promieniowanie podczerwone jest wytwarzane przez wszystkie ciała gorące. Bezpośrednim ujemnym skutkiem tego promieniowania jest wzrost temperatury pochłaniających je tkanek, zależny od takich czynników, jak: długość fali padającego promieniowania, właściwości przewodzących i rozpraszających ciała napromieniowanego, czasu napromieniowania [1]. Pochłanianie energii prowadzi do wzrostu energii kinetycznej cząsteczek wyrażającej się wzrostem temperatury tkanek, natomiast mało jest dowodów na to, żeby fotony promieniowania podczerwonego /o energii poniżej 1,5 eV/ mogły powodować reakcje fotochemiczne - prawdopodobnie energia ich jest za mała do zmiany poziomów energetycznych elektronów w atomach [1].

Zagrożeni promieniowaniem podczerwonym są szczególnie przedstawiciele tych zawodów, gdzie przy pracy występują materiały o wysokich temperaturach /przy temperaturach 1800-8000°K następuje emisja promieniowania w zakresie długości fal 750 - 5000 nm/, a więc w hutach żelaza, szkła itp. lub stosowane są specjalne źródła tego promieniowania, na przykład w chemii, astronomii, psychoterapii, fotografii itp. Szczególne zagrożenie ma miejsce w przypadku systemów łączności na falach świetlnych oraz biernych i czynnych systemów wykrywania, pracujących przy wykorzystaniu fal podczerwonych. Systemy bierne działają na zasadzie wykrywania własnego promieniowania obiektów /celów/, natomiast systemy czynne działają na zasadzie podobnej do radaru, tzn. odbicia wysyłanego promieniowania podczerwonego. Generowane w tym celu wąskie wiązki promieniowania o dużym natężeniu są bardzo groźne dla personelu obsługującego i w celu zapobieżenia niebezpieczeństwom trzeba stosować specjalne środki ochronne [66].

Patofizjologia

Ze względu na prawie całkowite pochłanianie fal krótszych od 1500 nm przez wodę większość tkanek biologicznych jest nieprzezroczysta dla promieniowania fal w tym zakresie i promieniowanie to może być szkodliwe jedynie dla głębszych warstw skóry oraz oczu. Fale najkrótsze są pochłaniane przez powierzchniowe warstwy skóry, a wytwarzane w ten sposób ciepło jest szybko oddawane przez rozproszenie, jedynie fale nieco dłuższe, około 1100 nm, powodują docieranie około 20% energii do głębokości 5 mm, przy czym wartość ta może ulec pewnemu zwiększeniu przy dużej zawartości pigmentu w skórze [1], [67]. Tak więc jedynym skutkiem działania tego napromieniowania może być opalenie skóry, powstanie rumienia i wzmożona pigmentacja, utrzymująca się stosunkowo bardzo długo. Szczególnie szkodliwe jest przy tym oparzenie powiek. Na szczęście związane z tym uczucie ciepła i bólu zapobiega zbyt długiemu przebywaniu w polu promieniowania podczerwonego, jednakże zbyt częste opalanie się na Słońcu może na skutek oddziaływania fal podczerwonych doprowadzić do przewlekłego zapalenia brzegów powiek [1]. Stwierdzono również blokadę działania niektórych nerwów [68], ale zjawisko to wymaga dalszych badań. Natomiast podobnie jak w przypadku termicznego oddziaływania innych rodzajów promieniowania najbardziej należy chronić od napromieniowania gałki oczne, a zwłaszcza ich soczewki, ponieważ ze względu na małe ukrwienie tych organów samoczynne ich chłodzenie dzięki przepływowi krwi jest bardzo utrudnione [69].

Grupa zawodów, których przedstawiciele są najbardziej narażeni na promieniowanie podczerwone [29]:

kowale	operatorzy laserów
piekarze	operatorzy kinowi
chemicy	spawacze
elektrycy	wytapiacze
lakiernicy	galwanizerzy
hutnicy metali	odlewnicy
pracownicy zatrudnieni przy różnego rodzaju pracach w hutach szkła	pracownicy cegielni

Najbardziej narażone części organizmu

Rogówka oka jest przezroczysta dla fal zakresu 750-1300 nm i staje się zupełnie nieprzezroczysta dla fal o długości powyżej 2000 nm. Stwierdzono, że minimalne uszkodzenie rogówki zachodzi przy dozie pochłoniętej energii promieniowania 7,6 W s/cm^2 dla fal zakresu 880-1100 nm i 2,8 Ws/cm^2 dla fal zakresu 1200 - - 1700 nm, co zgodne jest z powyższymi właściwościami absorpcyjnymi. Przy zwiększeniu intensywności lub czasu trwania napromieniowania może nastąpić całkowite uszkodzenie zewnętrznego nabłonka z następującą koagulacją protein zawartych w warstwach głębszych, co oczywiście prowadzi do zaburzeń widzenia. Na szczęście prawdopodobieństwo takich uszkodzeń jest niewielkie, ponieważ na ogół sygnałem o nadmiernym napromieniowaniu jest ból w otaczających oko tkankach skóry [1].

Tęczówka zawiera dużo pigmentu i z tego względu pochłania prawie całe docierające do niej promieniowanie podczerwone, co

ma miejsce przy falach krótszych od 1300 nm. Wydzielona w ten sposób energia cieplna może być odprowadzona tylko przez konwekcję do otaczającego ośrodka - rogówki i płynu ocznego. Minimalna doza szkodliwa wynosi około 4 Ws/cm^2 w zakresie fal 800 - - 1100 nm [71], przy czym można przyjąć, że uszkodzenia rogówki i tęczówki zachodzą prawie jednocześnie. Stwierdzono chroniczne przypadki takich uszkodzeń, zwłaszcza wśród personelu obsługującego czynne systemy wykrywania na falach podczerwonych, stosowane coraz powszechniej w służbach wojskowych, chociaż właściwe przeszkolenie obsługi w tym zakresie znacznie zmniejsza niebezpieczeństwo [66]. Właściwości przepuszczające lub pochłaniające poszczególnych części oka, zwłaszcza soczewki, zmieniają się przy tym z wiekiem; im człowiek starszy, tym mniejsze właściwości przepuszczania krótszych fal zakresu promieniowania podczerwonego.

Katarakta

Pojęciem tym określa się zmętnienie soczewki oka i warstw ją otaczających, ograniczające możność przepuszczania światła. Przyczyną mogą być zmiany strukturalne związane ze starzeniem się, zmiany chorobowe lub zmiany spowodowane pochłanianiem energii promieniowania. Określone zostały szczegółowe kryteria różnych typów katarakty i powodowanych nią upośledzeń wzroku, ale omawianie ich nie wydaje się tutaj konieczne.

Przez wiele już lat bada się uszkodzenia soczewki oka na skutek promieniowania podczerwonego, przy tym najwięcej przypadków zmętnienia soczewek stwierdzono u długoletnich pracowników hut szkła [74 - 78].

W normalnych warunkach soczewka oka jest całkiem przezroczysta dla promieniowania podczerwonego w zakresie długości fali poniżej 1300 nm. Z tego względu istnieją wątpliwości co do możliwości powstawania katarakty na skutek bezpośredniego pochłaniania energii przez soczewkę, prawdopodobnie podwyższenie temperatury soczewki związane jest z oddawaniem ciepła przez tęczówkę, która absorbuje w dużym stopniu energię promieniowania fal podczerwonych [70]. Tak więc ogólnie biorąc, zmiany termiczne w soczewce są wtórnym zjawiskiem nagrzewania się całej gałki ocznej, przy czym degeneracja obejmuje najpierw powierzchnię soczewki, a następnie przechodzi i na włókna soczewkowe. Tak czy inaczej jest już obecnie rzeczą niewątpliwą, że właśnie wydzielanie ciepła jest powodem powstawania katarakty przy naświetlaniu promieniami podczerwonymi [78], [79].

Doświadczalne wywoływanie tą metodą katarakty u zwierząt /przy natężeniu promieniowania znacznie większym od tego, na które może być zazwyczaj narażony człowiek/ wykazało, że uszkodzenie soczewki raczej zachodzi na skutek lokalnych efektów termicznych niż na skutek selektywnego oddziaływania fal o różnej długości [25], [78], [79], [81].

Ze względu na to, że pochłanianie energii przez siatkówkę oka jest najsilniejsze przy bardzo krótkich falach promieniowania podczerwonego, trudno oddzielić efekty tym powodowane od efektów wywołanych oddziaływaniem promieniowania widzialnego. Na pewno jednak wiadomo, że stopień "wypalenia" siatkówki zależny jest bezpośrednio od pochłoniętej dozy promieniowania, podobnie jak dla pozostałych elementów oka. "Wypalenia" o średnicy 1 mm były doświadczalnie wywoływane przy naświetleniu siatkówki przez

okres 0,1 s promieniowaniem o gęstości mocy od 20 do 40 W/cm^2. Zakładając średnicę otworu tęczówki 5 mm, prawdopodobną dozą niszczącą byłaby gęstość energii 1 Ws/cm^2 [1]. Należy jednak podkreślić, że istnieją duże rozbieżności w wynikach badań, ale wszyscy są zgodni co do tego, że istnieje bezpośrednia zależność pomiędzy pochłoniętą dozą promieniowania i stopniem uszkodzenia siatkówki [60], [82], [83].

Zdolność postrzegania

Uczucie ciepła lub zimna jest wywołane przez wymianę ciepła między skórą a otoczeniem [84], przy czym na zmiany temperatury reagują specjalne układy zakończeń nerwowych [85 - 92]. Reagują one w ten sam sposób na każdą zmianę temperatury ciała wywołaną różnymi czynnikami, w tym również i naświetleniem promieniowaniem podczerwonym.

Progowa wartość czułości receptorów zmian temperatury skóry wynosi 0,001 - 0,002°C/s w zakresie temperatur 32-37°C. Wartość progowa i związane z tym subiektywne odczucie nagrzewania lub ochładzania zależy w dużym stopniu od rozmiaru powierzchni skóry, na której następuje zmiana temperatury. Podobnie minimalny czas nagrzewania skóry niezbędny do wywołania uczucia ciepła zależy nie tylko od wielkości tej powierzchni, ale również i od gęstości rozmieszczenia receptorów zmian temperatury zależnej od rodzaju tej powierzchni. Badania wykazały, że absolutna temperatura skóry ma mały wpływ na odczuwanie stopnia jej zmian, natomiast jest czynnikiem istotnym przy powstawaniu uczucia bólu /na podstawie pomiaru temperatury termicznych receptorów bólu znaj-

dujących się pod powierzchnią skóry [93], [94]. Tak czy inaczej wartość natężenia promieniowania niezbędna do wywołania uczucia ciepła lub bólu maleje wraz ze wzrostem wymiarów napromieniowanej powierzchni, zakładając że odczucia te zależą tylko od temperatury warstw zewnętrznych [94].

Należy przy tym podkreślić, że temperatura skóry/i prawdopodobnie również odpowiednich receptorów/ może być zmieniona i utrzymana następnie na pewnym poziomie, wyższym lub niższym od początkowego. Odczucia zmian temperatury, początkowo wyraźnie zauważalne, stopniowo zanikają i człowiek poddany badaniom stwierdza, że temperatura jego jest normalna. Wynika z tego, że absolutna temperatura zakończeń nerwowych nie jest wcale czynnikiem powodującym odczuwanie sensacji temperaturowych [95]. Stwierdzono ponadto, że temperatura skóry, przy której występuje uczucie bólu, jest sprawą dość indywidualną, niezależną ani od ilości krwi przepływającej w danym obszarze skóry, ani od jej temperatury przed poddaniem napromieniowaniu [97 - 104]. Wartość progowa bólu zmienia się nie tylko w zależności od indywidualnych właściwości organizmu, ale i od obszaru naświetlanego ciała.

Wykazano na drodze doświadczalnej [68], że uczucie bólu przy nagrzewaniu opuszki palca występowało przy temperaturze skóry od 49,3 do 52°C. W przypadku oka ludzkiego /zwłaszcza rogówki i tęczówki/ odczucie sensacji temperaturowych następowało przy podwyższeniu temperatury o około 10°C, co odpowiadało naświetlaniu rogówki promieniowaniem podczerwonym, powodującym pochłanianie energii w ilości 2/cal/cm^2/s [105], [106].

Wartości progowe

Przeprowadzono serie doświadczeń [107] dla określenia wpływu temperatury skóry na wartość progową odczucia sensacji cieplnych. Temperaturę otaczającego powietrza zmieniano w granicach 15 - 45°C i mierzono wartość progową jako mcal/cm^2/s, nie stwierdzając poważniejszych zmian wartości progowych w zależności od zmian temperatury otoczenia i związanych z tym zmian temperatury skóry.

Spośród sensacji wywołanych napromieniowaniem podczerwonym najistotniejsze wydaje się uczucie bólu. Przeprowadzone w tym zakresie badania wartości progowych metodą subiektywnego odczucia bólu przy zmianie dóz napromieniowania wykazały, że wartość ta jest prawie jednakowa dla badanych mieszkańców Stanów Zjednoczonych, niezależnie od ich płci i wieku, gdy napromieniowaniu poddawano skórę czoła lub dłoni [89]. Wartość progowa bólu dla dowolnej początkowej temperatury skóry odpowiada takiej wartości energii napromieniowania, która prowadzi do wzrostu temperatury skóry do 45°C, nie zależy natomiast od tempa zmian tej temperatury [89]. Gdy narzewanie skóry postępuje nadal, zwiększa się szybko również odczucie bólu aż do osiągnięcia temperatury około 52°C, po czym tempo wzrostu odczucia bólu maleje, przy czym ból osiąga swoje maksimum przy temperaturze skóry około 65°C [109 - 112].

Należy podkreślić, że intensywność odczuwania bólu zależy nie tylko od wartości sygnałów wysyłanych przez receptory bólu, ale również od wielu innych czynników wpływających w tym czasie na

centralny układ nerwowy, jak sugestia, nastawienie wewnętrzne itp. [113].

Granice tolerancji ciała ludzkiego na promieniowanie podczerwone były przedmiotem badań wielu naukowców [114 - 116]. Najważniejszym wnioskiem tych badań jest stwierdzenie, że maksymalna dopuszczalna gęstość mocy promieniowania powinna być taka, przy której ciepło wydzielane w skórze nie przekracza wartości 0,03 cal/cm^2/s. Maksymalny wzrost temperatury skóry prowadzący do oparzeń wynosił od 56°C przy naświetlaniu przez 0,5 s promieniowaniem o gęstości energii 5,6 Ws/cm^2 do 15°C przy naświetlaniu przez 100 s promieniowaniem o gęstości energii 13 Ws/cm^2.

Dopuszczalne wartości dóz napromieniowania podczerwonego ze względu na oczy powinny być znacznie mniejsze od dóz prowadzących do minimalnych uszkodzeń poszczególnych elementów oka, które zgodnie z [1], [70], [71] wynoszą:

1. Doza powodująca uszkodzenie rogówki: 7,6 ws/cm^2 w zakresie 880 - 1100 nm i 2,8 Ws/cm^2 w zakresie 1200-1700 nm
2. Doza powodująca uszkodzenie tęczówki: 10,8 Ws/cm^2 w zakresie 800-1000 nm
3. Doza prowadząca do "wypalenia" siatkówki: 1 Ws/cm^2.

Powszechnie uważa się, że najbardziej szkodliwe dla oczu jest promieniowanie w zakresie długości fal 900 - 1100 nm [117].

Wskazówki ochrony

Najważniejsza jest ochrona oczu, zwłaszcza ze względu na możliwość wywoływania katarakty, ale niestety dozy promieniowania

mogące do niej doprowadzić nie są ściśle określone ze względu na trudność ekstrapolacji wyników osiągniętych przy badaniach oczu królików na oczy człowieka [73]. Ponadto stwierdzono wyraźną nieliniowość zależności pomiędzy wzrostem dozy a powodowanymi uszkodzeniami oka. Poważne uszkodzenia oka stwierdzono w przypadku gorących ciał w przemyśle, promieniujących fale podczerwone o gęstości energii 4 - 8 Ws/cm^2 /1 - 2 cal/cm^2/, przy czym która część oka uległa największemu uszkodzeniu zależało od długości promieniowanych fal. Na tej podstawie wydaje się słuszne przyjęcie maksymalnej dopuszczalnej dozy promieniowania podczerwonego około dziesięciu razy mniejszej od wyżej wymienionej, tj. 0,4 - 0,8 Ws/cm^2 /0,1 - 0,2 cal/cm^2/ [1], przy czym należy zaznaczyć, że w hutach stali i szkła należy się liczyć z występowaniem promieniowania podczerwonego o natężeniu około 1 W/cm^2.

LASERY

Pojęcie to dotyczy urządzeń, których zasada pracy polega na emisji promieniowania na skutek wymuszanych zmian poziomów energetycznych elektronów w atomach i cząsteczkach. Do urządzeń tych zalicza się masery, masery optyczne i lasery, emitujące koherentne promieniowanie świetlne ultrafioletowe, widzialne i podczerwone w zakresie długości fal 200 nm - 2.10^4 nm. Przez właściwy dobór materiałów aktywnych laserów oraz parametrów obwodów można uzyskać promieniowanie ciągłe lub impulsowe, poczynając od pojedynczych impulsów o czasie trwania zaledwie 10^{-12} s [35], z czym związana jest pośrednio również dopuszczalna długość czasu podleganiu naświetlenia tym promieniowaniem [118].

Szczególne właściwości promieniowania świetlnego laserów, jego koherentności, a zwłaszcza monochromatyczność doprowadziły do wszechstronnego i coraz bardziej powszechnego stosowania tego rodzaju urządzeń w służbach cywilnych i wojskowych, a zwłaszcza w telekomunikacji, przemyśle, medycynie, systemach radarowych i nawigacyjnych, holografii i wielu innych dziedzinach.

Z punktu widzenia biologicznego promieniowanie laserowe stanowi poważne zagrożenie dla człowieka ze względu na bardzo duże gęstości energii w dających się wytworzyć bardzo wąskich wiązkach wysyłanego promieniowania koherentnego. Przy ocenie stopnia szkodliwości promieniowania laserowego trzeba brać pod uwagę takie parametry, jak rodzaj pracy /w przypadku pracy impulsowej trzeba określić czas trwania poszczególnych impulsów i przerw między nimi/, długość emitowanej fali i gęstość energii w wiązce promieniowania. Stopień szkodliwości zależy od rodzaju i obszaru napromieniowanych tkanek, a zwłaszcza ich zdolności pochłaniania promieniowania na konkretnych długościach fal oraz zdolności odprowadzania ciepła /ukrwienia/ [1].

Uwzględniając parametry stosowanych urządzeń, największe zagrożenia mogą wystąpić wśród personelu wojskowego, pracowników naukowych i przemysłowych ośrodków badawczych oraz personelu i pacjentów ośrodków medycznych [118].

Dla ułatwienia oceny stopnia zagrożenia przyjęto powszechnie określać promieniowanie lasera pracującego impulsowo w jednostkach energii /joule/, a pracującego falą ciągłą w jednostkach mocy /waty/, przy czym dla określenia gęstości promieniowanej energii lub mocy stosuje się joule/cm^2 lub wat/cm^2 [1].

Patofizjologia

Na temat biologicznych skutków oddziaływania promieniowania laserowego i związanych z tym niebezpieczeństw dla organizmu istnieje już bogata literatura [51], [60], [61], [119], [127].

Oddziaływanie biologiczne promieniowania można podzielić na dwie zasadnicze grupy: 1/ zjawiska termiczne; 2/ zjawiska innego rodzaju, które też mogą być pośrednio wywołane zjawiskami termicznymi. Tak na przykład pochłanianie energii promieniowania przenikającego przez tkanki nie jest równomierne, bo nie wszystkie tkanki mają jednakowe właściwości absorpcyjne. Silna, selektywnie zlokalizowana absorpcja powoduje gwałtowny lokalny wzrost temperatury, który przy bardzo dużych dozach napromieniowania może prowadzić aż do wytworzenia w tkankach pary, która, w przypadku zamkniętego organu ciała o ograniczonej objętości, na przykład oka, może doprowadzić do rozsadzenia tkanek. Innym przykładem szkodliwego i bardzo niebezpiecznego oddziaływania, występującego tylko przy promieniowaniu impulsowym, jest powstawanie w organizmie akustycznych fal, które na skutek powstawania mechanicznych naprężeń mogą prowadzić do rozerwania tkanek [128].

W odniesieniu do oddziaływania termicznego, podobnie jak w omawianych w poprzednich rozdziałach przypadkach, najbardziej zagrożone są skóra i oczy, jednakże ze względu na specyficzne właściwości promieniowania koherentnego nie jest rzeczą pewną, czy inne powodowane tym promieniowaniem uszkodzenia tkanek lub niszczenia całych organów nie są znacznie bardziej niebezpieczne, chociaż sprawy te są jeszcze za mało zbadane.

Najbardziej zagrożone części organizmu

Najbardziej zagrożone są oczy i można jednoznacznie stwierdzić, że jeżeli nie przekracza się dozy promieniowania niebezpiecznej dla oka, to nie ma obawy szkodliwego oddziaływania na inne tkanki i organy ciała. Uszkodzenie oka może zawierać się w granicach od małych oparzeń siatkówki poprzez poważne uszkodzenia połączone z częściowymi zaburzeniami zdolności widzenia, aż do całkowitej utraty oka. Również długotrwałe naświetlanie siatkówki promieniami widzialnymi o poziomie poniżej wartości progowej, powodującej powstawanie oparzeń, może prowadzić do powstania nieodwracalnych zmian. Podobny skutek może mieć promieniowanie podczerwone na siatkówkę oraz promieniowanie ultrafioletowe na rogówkę, prowadząc do bolesnych jej zapaleń. Szczególnie niebezpieczne jest przekroczenie dopuszczalnych wartości promieniowania w przypadku rodzaju pracy lasera "Q-switching"[x/] [118].

Zawsze jest przy tym najbardziej narażona siatkówka, ponieważ ogniskujące działanie rogówki i soczewki powoduje, że gęstość energii promieniowania świetlnego na siatkówce jest 10^4 - - 10^6 razy większa od gęstości promieniowania padającego na powierzchnię źrenicy. Oko ludzkie jest przezroczyste dla promieniowania w zakresie długości fal od 400 do 1400 nm, tzn. nie tylko dla fal widzialnych, ale i sporej części fal podczerwonych, co

---

[x/] Impulsowa praca lasera polegająca na zmianie chwilowej wartości dobroci wnęki rezonansowej. Brak terminologii polskiej dla określenia tego rodzaju pracy.

jest szczególnie niebezpieczne ze względu na brak bezpośredniego odczucia tego promieniowania [128].

Część oka najbardziej narażona na uszkodzenie zależy od długości fali promieniowania. Tak na przykład przy promieniowaniu lasera rubinowego o długości fali 694 nm więcej niż 90% padającego promieniowania dociera do siatkówki, z czego około 60% jest pochłaniana przez warstwę ektodermalną, a 40% przez warstwę komórek zawierających pigment. Ponieważ grubość tej ostatniej warstwy wynosi zaledwie 10 µm, jest ona najbardziej narażona na uszkodzenie, chociażby same komórki receptorów wyszły z tego bez szwanku [122]. Natomiast promieniowanie lasera neodymowego o długości fali 1060 nm jest w przeważającej mierze pochłaniane przez płyn oczny o dużej zawartości wody, co może prowadzić do uszkodzeń na skutek powstawania pary wodnej [128].

Przy laserze CO_2 wytwarzającym promieniowanie o długości fali 10600 nm, dla którego oko nie jest zbyt przepuszczalne, istnieje z kolei największe prawdopodobieństwo uszkodzeń rogówki.

W odniesieniu do promieniowania ultrafioletowego aż do długości fali 300 nm prawie całe padające promieniowanie jest pochłaniane przez rogówkę, natomiast w przedziale 300 - 400 nm pewna część energii dociera jeszcze do soczewki, jednakże nie stanowi to zbyt dużego niebezpieczeństwa dla oka, chociaż zaobserwowano, że przy pracy z laserami promieniującymi fale w tym zakresie długości mogą wystąpić te same szkodliwe objawy, jakie się czasami obserwuje u spawaczy [130].

Stopień uszkodzenia siatkówki jest, podobnie jak w przypadku innych rodzajów promieniowań, funkcją gęstości mocy, długości fali, czasu trwania naświetlania i średnicy naświetlanego obszaru

na siatkówce oraz indywidualnych właściwości oka, jak zawartość pigmentu w siatkówce, średnica źrenicy, szybkość zamykania powieki itp.

Również rodzaje uszkodzeń siatkówki mogą być różne, przy czym badania wykazują, że ma się do czynienia nie tylko z uszkodzeniami na skutek zmian termicznych [62], [131], [132], lecz i na skutek jeszcze innych, pozatermicznych powodów, przy czym wspomniany rodzaj pracy lasera "Q-switching" jest w danym przypadku najbardziej niebezpieczny ze względu na bardzo duże gęstości energii w impulsie i krótkie czasy naświetlania, co zostało już niestety kilkakrotnie, lecz za późno stwierdzone [133]. Dlatego też trzeba zwracać szczególną uwagę na zastosowanie tego typu laserów w cywilnych /lotniska/ lub wojskowych systemach wykrywania ze względu na możliwość narażenia na niebezpieczeństwo szerokich kręgów ludności.

Nie można również lekceważyć szkodliwości oddziaływania promieniowania laserowego na skórę, które może prowadzić do powstania poważnych oparzeń, tym silniejszych, im większa jest zawartość pigmentu w skórze ze względu na większe pochłanianie energii promieniowania [1].

Wartości progowe

Ze względów zrozumiałych wartości progowe mogące prowadzić do uszkodzeń oka, zwłaszcza jego siatkówki, są określone na podstawie badań oczu doświadczalnych zwierząt, zwłaszcza królików, a potem ekstrapolowane dla oczu człowieka, co oczywiście zmusza do traktowania tych wartości z dużą ostrożnością

[134],[135]. Prowadzone badania dotyczą przy tym głównie promieniowania widzialnego wytwarzanego przez częściej stosowane rodzaje laserów, jak rubinowy, neonowo-helowy, neodymowy itd. [136-143].

Na podstawie tych badań uczeni doszli do pewnych ogólnych wniosków, które mogą być pożyteczne przy ustalaniu kryteriów bezpiecznej pracy przy urządzeniach laserowych. Okazało się na przykład, że gęstość mocy promieniowania odpowiadająca wartości progowej, przy której następuje uszkodzenie siatkówki wzrasta wraz ze zwężaniem impulsów promieniowania generowanego przez laser, przynajmniej w odniesieniu do impulsów dłuższych od 1 μs, co przemawiałoby na rzecz powstawania uszkodzeń na skutek wpływów termicznych. Z drugiej jednak strony niezrozumiałe w tych warunkach staje się silnie niszczące działanie promieniowania wytwarzanego przez laser w układzie "Q-switching". Większość jednak badaczy zgasza się co do tego, że wartość progowa, określona jako gęstość energii wywołująca wyraźne uszkodzenia siatkówki, po co najmniej 5-minutowym napromieniowaniu będzie wynosiła kilka dziesiątych dżula na centymetr kwadratowy w przypadku normalnej pracy impulsowej lasera /laser rubinowy lub ksenonowy/ oraz około dziesięciu razy mniej przy impulsowej pracy lasera "Q-switching" [144 - 143].

Brak dotychczas danych co do wartości progowych w przypadku generacji przez laser często powtarzających się impulsów. Biorąc pod uwagę jedynie równoważne wpływy temperaturowe wydaje się, że okresy przerwy pomiędzy impulsami 100 ms zapobiegają nadmiernemu nagrzaniu się siatkówki, która ma możność w tym czasie odprowadzenia ciepła. W tych warunkach laser wytwa-

rzający w odstępach nie mniejszych od 100 ms impulsy nie dłuższe od 10 ms może być rozpatrywany jako laser generujący tylko pojedyncze impulsy.

W odniesieniu do katarakty badania pozwoliły stwierdzić, że potrzebne do tego gęstości energii byłyby o kilka rzędów wielkości większe od powodujących wyraźne uszkodzenie siatkówki [144].

Wartości progowe określone w oparciu o wyniki badań doświadczalnych przeprowadzonych na zwierzętach są przedstawione w tabeli 8 [145].

Tabela 8

Wartości progowe powodujące uszkodzenie siatkówki oka

Rodzaj pracy lasera	Długość fali	Czas trwania impulsu	Poziom
Normalna impulsowa	694,3 nm	200 μs	0,85 J/cm^2
"Q-switching"	694,3 nm	30 μs	0,07 J/cm^2
Fala ciągła	światło białe	-	6 W/cm^2

Wskazówki ochrony

Aczkolwiek obecnie promieniowanie laserowe nie stanowi jeszcze powszechnego zagrożenia, to jednak w miarę coraz szerszego rozpowszechniania laserów, co odnosi się zwłaszcza do helowo-neonowych laserów o mocach 0,1 - 5 mW, niebezpieczeństwo stałego lub przypadkowego podlegania wpływom ich promieniowania będzie wzrastało. Dlatego też jest rzeczą niezbędną określenie dopuszczalnych ze względu na zdrowie człowieka wartości dóz

tego promieniowania, co z kolei wiąże się z potrzebą lepszego poznania skutków biologicznych oddziaływania promieniowania laserowego na człowieka [118], [146]. Zagadnienia te muszą być jeszcze przedmiotem dalszych badań, tym niemniej rzeczą bezsporną jest, że na warunki bezpiecznej pracy przy urządzeniach laserowych najważniejszy wpływ będą miały następujące czynniki:

1/ gęstość mocy /W/cm^2/ padającej na powierzchnię rogówki lub energia /J/ przenikająca do wnętrza oka,

2/ czas podlegania napromieniowaniu,

3/ długość fal promieniowania,

4/ przenikalność wnętrza gałki oka jako funkcja długości fali,

5/ średnica źrenicy,

6/ średnica obrazu wytworzonego na siatkówce,

7/ właściwości absorpcyjne pigmentu siatkówki jako funkcja długości fali,

8/ właściwości absorpcyjne naczyniówki jako funkcja długości fali.

W Stanach Zjednoczonych ustalono pewne kryteria bezpiecznej pracy przy urządzeniach laserowych, zwłaszcza odnoszące się do wojsk lądowych, morskich i powietrznych [3], [41], [145], [147], [148], ale nie są one jeszcze powszechnie stosowane. Najnowsze badania [129], [149] doprowadziły do określenia pewnych liczbowych wartości warunkujących bezpieczną pracę przy urządzeniach laserowych, które zostały zbiorczo przedstawione w tabelach 9 i 10.

Tabela 9

Wskazówki ochrony oczu przed promieniowaniem laserowym

Instytucja	"Q-switching" 694,3 nm 1 µs - 1 µs imp. J/cm^2	Normalna praca imp. 694,3 nm 1 µs - 0,1 s imp. J/cm^2	Fala ciągła 400-750 nm 0,1 s W/cm^2	Uwagi
Amerykańskie przepisy bezpieczeństwa w przemyśle państwowym [41]	$1 \cdot 10^{-7}$	$1 \cdot 10^{-6}$	$1 \cdot 10^{-5}$	
Wytwórnie laserów [150]	$1 \cdot 10^{-8}$	$1 \cdot 10^{-7}$	$1 \cdot 10^{-6}$	średnica źrenicy 7 mm
	$5 \cdot 10^{-8}$	$5 \cdot 10^{-7}$	$5 \cdot 10^{-6}$	średnica źrenicy 3 mm
Armia lądowa i morska USA [145], [147]	$1 \cdot 10^{-7}$	$1 \cdot 10^{-6}$	$1 \cdot 10^{-6}$	
Lotnictwo wojskowe USA [3]	$7,5 \cdot 10^{-6}$	$1 \cdot 10^{-5}$	$5 \cdot 10^{-3}$	rubin /694,3 nm/
	$45 \cdot 10^{-5}$	$5 \cdot 10^{-6}$	-	neodyn /1060 nm/

Tabela 10

Wskazówki ochrony skóry przed promieniowaniem laserowym

	Praca impulsowa		Praca ciągła	
	1 ns - 1 μs J/cm^2	1 μs - 1 s W/cm^2	5 s W/cm^2	5 s W/cm^2
Amerykańskie przepisy bezpieczeństwa w przemyśle państwowym [41]	0,1	0,1	1	1
Wytwórnie laserów [150]	0,1	0,1	1	0,1
Armia lądowa i morska USA [145], [147]	0,01	0,1	0,1	0,1

Podejście do zagadnienia bezpieczeństwa pracy przy urządzeniach laserowych jest przy tym dość różne w zależności od grupy zawodowej ludzi zajmujących się tym zagadnieniem. Na ogół przepisy bezpieczeństwa w przemyśle i ośrodkach badawczych kładą nacisk na odpowiednie przeszkolenie personelu, przy ewentualnych okresowych badaniach kontrolnych oczu. Przestrzega się raczej technicznych metod kontroli i pomiarów, niż stosowania lub nawet posiadania odpowiedniego ekwipunku ochrony osobistej, zwłaszcza specjalnych okularów, co nie zawsze wydaje się drogą właściwą [141 - 143].

Niezależnie od rodzaju i sposobu wykorzystywania urządzeń laserowych wydaje się konieczne przestrzeganie następujących podstawowych środków ostrożności:

1. Personel obsługujący nie powinien "zaglądać" do strumienia świetlnego lasera lub jego odbicia, kiedy gęstość jego mocy lub energii przekracza wartość dopuszczalną.

2. Personel powinien unikać "nacelowywania" promienia przy użyciu oka, aby nie dopuścić do spoglądania wzdłuż osi strumienia.

3. Praca przy laserach powinna się odbywać w pomieszczeniach o silnym oświetleniu dla zmniejszenia rozmiarów źrenicy, co zmniejsza skutki przypadkowego naświetlenia promieniowaniem laserowym.

4. Personel powinien być wyposażony w okulary ochronne /gogle/, które powinny być okresowo kontrolowane pod względem nieprzepuszczalności dla ustalonej długości fali /dla uniknięcia pomyłek zarówno ta długość fali jak i stopień zaciemnienia danego typu okularów powinny być na nich wyraźnie zaznaczone/.

5. Strumień laserowy powinien być skierowany na materiał niepalny, nie odbijający promieniowania, powinien być dobrze oznaczony obszar zagrożenia na wszystkie strony od przewidywanego kierunku przebiegu strumienia.

6. Należy zabezpieczyć personel przed niebezpieczeństwem porażenia przez stosowane w urządzeniu laserowym niskie i wysokie napięcia.

7. Specjalne środki ostrożności powinny być podjęte w przypadku stosowania lamp prostowniczych wysokiego napięcia /ponad 15 kV/ ze względu na możliwość wytwarzania promieniowania X.

MIKROFALE

Promieniowanie mikrofalowe obejmuje zakres częstotliwości od 300 MHz do 300 GHz. Podział tego zakresu na tzw. pasma radarowe przedstawia tabela 11 [66].

Tabela 11

Pasma mikrofalowe

Przeznaczenie		Częstotliwość /MHz/	Długość fali /cm/
Radio	Radar		
U.w.cz. - ultrawielkie częstotliwości 300-3000 MHz	P	220 - 390	133 - 76,9
	L	1390 - 1550	76,9 - 19,3
	S	1550 - 5200	19,3 - 5,77
S.w.cz. - superwielkie częstotliwości 3000-30000MHz	C	3900 - 6200	7,69 - 4,84
	X	520 - 10900	5,77 - 2,75
	K	10900 - 36000	2,75 - 0,834
N.w.cz. - nadzwyczaj wielkie częstotliwości 30000 - - 300000 MHz	Q	36000 - 46000	0,834 - 0,652
	V	46000 - 56000	0,652 - 0,536

Energia mikrofalowa może być promieniowana w sposób ciągły /CW/ lub impulsowy, przy czym ten drugi rodzaj pracy jest związany przede wszystkim z radarem oraz urządzeniami przemysłowymi i medycznymi. Absorpcja energii przez ciała, na które pada promieniowanie mikrofalowe, zależy od właściwości elektrycznych

tych ciał, a głównie stałej dielektrycznej i przewodności elektrycznej, przy czym właściwości te zależą od częstotliwości fali elektromagnetycznej.

Wartości omawianych stałych jak również głębokości wnikania dla różnych rodzajów tkanek zostały szczegółowo określone [151], [152].

Ciepło powstające na skutek zamiany energii mikrofalowej jest dla każdej głębokości wnikania wprost proporcjonalne do wartości tej energii. Powstające w ten sposób tzw. "objętościowe nagrzewanie" różni się całkowicie od nagrzewania na skutek zjawiska przewodności [153].

Nagrzewanie się ciała na skutek pochłaniania przez nie energii mikrofalowej jest wynikiem zjawiska wzrostu energii kinetycznej cząsteczek i związanej z tym liczby zderzeń z sąsiednimi cząsteczkami. Energia 1 kwantu mikrofal /$4 \times 10^{-4} \div 1,2 \times 10^{-6}$ eV/ jest przy tym za mała, aby pobudzić cząsteczki do jonizacji, niezależnie od pochłoniętej liczby kwantów przy promieniowaniu o dużej intensywności [154].

Na podstawie znajomości właściwości elektrycznych poszczególnych tkanek można obliczyć ich współczynnik absorpcji, który dla skóry wynosi 0,6 i 2,5 odpowiednio dla częstotliwości 3000 i 10000 MHz. Odwrotność tego współczynnika określa głębokość wnikania, dla której moc padającej fali elektromagnetycznej maleje do wartości 1/e /do około 37%/. Z powyższego wynika, że wynosi ona około 16 mm dla 3000 MHz i około 4 mm dla 10000 MHz. Z punktu widzenia wpływów biologicznych istotny jest przeto stosunek długości padającej fali elektromagnetycznej do wymiarów ciała poddanego wpływom tego promieniowania oraz do wymiarów

przekroju ciała w kierunku poprzecznym do kierunku źródła promieniowania. Gdyby na przykład tylko mała część ciała była wystawiona na promieniowanie z odległego źródła /tzn. gdy można przyjmować, że gęstość natężenia pola maleje odwrotnie proporcjonalnie do kwadratu odległości/ o stosunkowo długiej fali, to mogłoby się zdarzyć, że ta część pochłonęłaby więcej energii niż wynikałoby to z wartości energii padającej na jej "cieniowy" przekrój [155].

Jedną z zasadniczych trudności, jaką sprawia określenie szkodliwości pracy w polu promieniowania mikrofal jest ustalenie, jakie jest rzeczywiście pochłanianie energii przez tkanki, ponieważ jakiekolwiek ciało wprowadzone do równomiernego pola elektromagnetycznego powoduje zakłócenie rozkładu tego pola w sposób bliżej nieokreślony. Dlatego wszelkie uprzednie pomiary natężenia pola robione niezniekształcającymi zasadniczy rozkład pola małymi miernikami mogą mieć tylko charakter orientacyjny, ponieważ rozkład ten ulega natychmiast zmianie, gdy miernik ten zostanie zastąpiony ciałem pochłaniającym o znacznie większych wymiarach.

Bardziej szczegółowe rozważania na powyższe tematy podane są w opracowaniach [151], [152], [155 - 184]. Dodatkowe informacje można uzyskać w publikacjach [125], [187 - 193].

Patofizjologia

Wszechstronne badania w zakresie zjawisk biologicznych wywołanych promieniowaniem mikrofalowym [13], [146], [194 - 205] wykazały, że przy częstotliwościach w zakresie 1200-2450 MHz narażenie ciała ludzkiego na działanie pola o gęstości mocy 100 mW/cm^2 przez przeciąg co najmniej 1 godziny może wywołać

zjawiska patofizjologiczne o charakterze cieplnym. Przy gęstościach mocy mniejszych od 100 mW/cm^2 nie ma natomiast dowodów powstawania zmian patofizjologicznych i sprawy te wymagają dalszych badań.

Zgodnie z posiadanymi wiadomościami najważniejszym skutkiem pochłaniania energii mikrofalowej przez różnego rodzaju doświadczalne zwierzęta jest wzrost temperatury ciała, przy czym wielkość tego wzrostu zależy od procesów regulacyjnych i zdolności adaptacyjnych organizmu. Zmiany zachodzące mogą być odwracalne lub nieodwracalne zależnie od warunków napromieniowania i stanu psychicznego poddawanego próbom zwierzęcia.

W odniesieniu do innych, poza termicznym, wpływów pochłaniania energii mikrofal zdania są bardzo podzielone, a wyniki badań niepewne [201], [202], [206]. Rozważane są głównie wpływy biochemiczne, neurologiczne oraz możliwość powstawania katarakty. Wielu naukowców [154], [168], [173] sygnalizuje obserwacje zjawiska łączenia się pod wpływem napromieniowania mikrofalowego komórek krwi w łańcuchy, chociaż inni [184] kwestionują taką możliwość, stwierdzając że przy prawidłowej regulacji procesów cieplnych w organizmie ludzkim nie istnieją możliwości tworzenia się układów łańcuchowych. Podobnie kwestionowana jest możliwość zmiany orientacji podłużnych komórek w ciele ludzkim pod wpływem zewnętrznego pola mikrofalowego, po pierwsze z tego względu, że brak jest większej liczby wolnych cząsteczek tego typu w ciele człowieka lub dużych zwierząt, a po drugie dlatego, że byłoby to niemożliwe bez znacznego przegrzania tkanek, które samo w sobie powodowałoby bardzo szkodliwe skutki.

Wielu badaczy stwierdziło natomiast wyraźne oddziaływanie energii mikrofalowej na elementy układu nerwowego [207 - 211]. Jeden z nich [207] zaobserwował to na przykładzie nerwów słuchowych, których reakcja objawiała się okresowym "słyszeniem" brzęczenia, stukania itp. w zależności od czasu trwania i częstotliwości repetycji impulsowo-modulowanej fali elektromagnetycznej już przy gęstości mocy około 100 $\mu W/cm^2$. Wydawało się przy tym "słyszeniu", że źródło dźwięków znajduje się w środku lub też obok głowy. Selektywne ekranowanie różnych części czaszki pozwoliło na stwierdzenie, że najbardziej wrażliwy jest obszar nad skroniowym płatem mózgu, a najsilniejsze oddziaływanie występuje w zakresie częstotliwości 300-1200 MHz. Inni natomiast naukowcy [212] nie kwestionują co prawda występowania tego zjawiska, ale twierdzą, że jest ono spowodowane raczej zjawiskiem transdukcji elektromagnetycznej /pobudzanie błędnika przez siły pola elektromagnetycznego oddziaływujące poprzez powietrze lub kości/, niż bezpośredniego oddziaływania na nerwy słuchowe.

Powodem tego zjawiska może być również zdolność prostowania fal elektromagnetycznych przez niektóre części żywego organizmu [213], co tłumaczyłoby na przykład "słyszenie" częstotliwości repetycji przy modulacji impulsowej. Biorąc rzecz ogólnie nie wydaje się, aby zjawisko to było specjalnie szkodliwe lub prowadziło do jakichś stałych uszkodzeń, ale konieczne jest uzyskanie całkowitej pewności w tej sprawie.

Wielu naukowców radzieckich [191], [200], [202], [203], [206], [214 - 236] sugeruje ponadto możliwość szkodliwego oddziaływania promieniowania mikrofalowego na centralny układ nerwowy oraz nietermiczne oddziaływanie na cząsteczki i komórki organizmu,

czym różnią się od naukowców ze Stanów Zjednoczonych, którzy główny nacisk kładą na fizjologiczne skutki przegrzania organizmu pod wpływem pochłaniania energii pola mikrofalowego. Uczeni radzieccy stale podkreślają, że centralny układ nerwowy musi być traktowany jako jedna z najbardziej narażonych części organizmu przy gęstości mocy pola powyżej 10 mW/cm^2, przy czym w twierdzeniu tym opierają się na teorii Pawłowa. Wynika z niej [195], że wszelkiego rodzaju reakcje w organizmie kontrolowane są przez centralny układ nerwowy i on jest odpowiedzialny za różne wywoływane w organizmie zjawiska na skutek oddziaływania pola mikrofalowego. Wszelkie poza-nerwowe oddziaływania tego pola są traktowane jako wpływy o drugorzędnym znaczeniu ze względu na tę podstawową kontrolną funkcję centralnego układu nerwowego. Zastrzeżenia jednak budzi fakt zbyt małego potwierdzenia powyższych sugestii wynikami udokumentowanych badań. Jeden z badaczy radzieckich [221] stwierdza przy tym, że być może różnica w skutkach między nagrzewaniem pochodzącym od pola mikrofalowego i normalnym nagrzewaniem nie jest spowodowana nieznanym, poza-termicznym oddziaływaniem tego pola, lecz może być wynikiem nierównomiernego rozprowadzenia ciepła w organizmie ze względu na selektywne termiczne oddziaływanie pola elektromagnetycznego na różne tkanki organizmu. Inny zaś badacz podobnie stwierdza, że różne sygnalizowane "nie-termiczne" zjawiska mogą być w rzeczywistości inną formą "mikro-termicznych" efektów [214], [216], [221].

Należy wyraźnie podkreślić, że szkodliwe oddziaływanie słabych pól mikrofalowych na centralny układ nerwowy nie zostało potwierdzone nigdzie przez badania prowadzone poza terenem Związ-

ku Radzieckiego. Jednakże brak odpowiednich urządzeń do precyzyjnego pomiaru temperatury tkanek oraz gęstości mocy pola mikrofalowego ma też swój niewątpliwy wpływ na niemożność jak na razie całkowicie pewnego stwierdzenia, że wszystkie skutki szkodliwego oddziaływania tego pola można sprowadzić do efektów termicznych. Wiodący w tym zakresie badań uczony radziecki Osipow [221] przyznaje, że jedynie bardzo rzadko stwierdzono, że oddziaływanie pól mikrofalowych było przyczyną halucynacji, jąkania się, spadku sił i innych podobnych objawów "zachwiania" centralnego układu nerwowego, jednakże również nie wyklucza możliwości oddziaływania bezpośrednio na centralny układ nerwowy.

Uczeni radzieccy opisali szereg różnych poza-termicznych efektów, jakie wywierało u człowieka przebywanie w mikrofalowym polu elektromagnetycznym [206], [214 - 221], [226], [229], [232], [233]. Większość tych efektów ma charakter subiektywny, jak uczucie zmęczenia, senności lub irytacji, bóle głowy, strata apetytu, zaburzenia pamięci. Wpływy bardziej konkretne to zmiany w układzie krążenia wyrażające się wahaniami pulsu i ciśnienia, powiększeniem serca, zmianami w zapisie EKG. Zanotowano również inne zjawiska, jak wypadanie włosów, zaburzenia węchowe, osłabienie potencji seksualnej, katarakta, zmiany psychiczne, hypohondria, podniecenie i niepokój. Jednakże zaburzenia typu nerwowego lub krążeniowego nie były zbyt poważne i nie pogarszały zdolności do pracy badanego personelu obsługi urządzeń mikrofalowych.

Podobnie jak uprzednio zarzuca się jednak przy tym uczonym z krajów Europy Wschodniej, że podają tylko rodzaje zaburzeń powodowanych przez mikrofale, nie określając bliżej ani sposobu

i czasu napromieniowania, ani uprzedniego stanu zdrowia osób, u których zaobserwowano zaburzenia, nie mówiąc już o metodach przeprowadzenia badań, pomiarów i obserwacji. Nie pozwala to na właściwą ocenę przeprowadzenia badań ani wysunięcia w stosunku do nich jakichś zastrzeżeń i uwag, a przede wszystkim ocenę wyciągniętych z nich wniosków oraz możliwości uogólnień wyników obserwacji w odniesieniu do skutków różnych rodzajów promieniowania mikrofalowego, jakie może ono wywierać w określonych warunkach u człowieka. Jedno jest pewne, że podawana w publikacjach radzieckich informacja wydaje się niewystarczająca do wyciągnięcia takich wniosków, jakie sugerują autorzy publikacji [236].

Subiektywne symptomy zaburzeń wywoływanych oddziaływaniem pola mikrofalowego są co prawda udokumentowane, ale jak stwierdzają sami lekarze radzieccy na podstawie badań klinicznych podobne symptomy mogą wystąpić również u pacjentów cierpiących na szereg schorzeń chronicznych, zwłaszcza w odniesieniu do centralnego układu nerwowego i układu krążenia, w związku z czym trzeba dużo materiału dowodowego dla prawidłowego postawienia diagnozy.

Jest ponadto rzeczą znaną, że pola elektromagnetyczne fal radiowych mogą ulec wzmocnieniu w tkankach nerwów obwodowych i wywołać wzrost ich temperatury oraz prowadzić do różnych zaburzeń neuropsychologicznych, chociaż muskuły i skóra nie zmieniły temperatury [237 - 239]. Wzajemne oddziaływanie pomiędzy systemami nerwowymi, centralnym i obwodowym, może z kolei prowadzić do objawów w postaci zmiany rytmu bicia serca, składu krwi itp., o których donoszą uczeni radzieccy, a które są w

rzeczywistości tylko powodowane wtórnie zmianami termicznymi.

Jeden z uczonych amerykańskich [237], [238] stwierdza, że niezależnie od zastosowanej metody nagrzewania uzyskano podobnego typu objawy u doświadczalnego kota, gdy temperatura wyizolowanych nerwów lub obszarów powierzchni skóry bogatych w zakończenia nerwowe przekraczała wartość progową temperatury 45°. Objawy powyższe polegały przede wszystkim na wzroście ciśnienia krwi, zaburzeniach oddechowych i zaburzeniach refleksu. Badania prowadzone przy zastosowaniu pola mikrofalowego o częstotliwości 3000 MHz wykazały, że na skutek wzrostu temperatury włókien nerwowych wywołanego działaniem tego pola objawy zaburzeń są takie same. Badania te pozwoliły również zwrócić uwagę na możliwość powstawania błędów przy ocenie wyników wpływu napromieniowania różnych części organizmu doświadczalnego zwierzęcia [240].

Odnosi się to zwłaszcza do różnego typu objawów, które uważa się za pochodzące z nietermicznego oddziaływania pola mikrofalowego [203]. Tak więc wszelkie wyniki badań w tym zakresie, uzyskane przez uczonych radzieckich i amerykańskich, aczkolwiek bardzo interesujące z punktu widzenia biologicznego, muszą być traktowane z dużą ostrożnością i powinny być potwierdzone dalszymi badaniami ze specjalnym zwróceniem uwagi na konkretne dane liczbowe.

Zanim przystąpimy do rozpatrzenia termicznych efektów oddziaływania pola mikrofalowego celowe będzie przypomnienie ogólnych patologicznych efektów nagrzewania. Otóż znaczne podwyższenie temperatury żywego organizmu może prowadzić do denaturacji białka, nieodwracalnego ścięcia białka, wzrastającej

przepuszczalności osłon komórkowych, uwolnienia toksyn, zwiększenia aktywności enzymów i innych tego typu zmian. Szybkość reakcji chemicznych w organizmie wzrasta przy tym bardzo szybko ze wzrostem temperatury /2-krotny wzrost przy wzroście temperatury o 10°/. Neurony, stanowiące podstawowy element funkcjonalny nerwów, ulegają poważnym uszkodzeniom i przy temperaturze około 41° centralny układ nerwowy przestaje pracować, co może prowadzić nawet do śmierci [241].

Wzrost temperatury ciała poddanego promieniowaniu mikrofalowemu zależy od następujących czynników: 1/ obszaru ciała wystawionego na promieniowanie oraz jego zdolności regulacji cieplnej; 2/ natężenia pola; 3/ czasu napromieniowywania; 4/ częstotliwości fali; 5/ grubości skóry i tkanek podskórnych [178], [179].

Wykazano na przykładzie mężczyzny, którego rękę poddano promieniowaniu mikrofalowemu o częstotliwości 3000 MHz, że przy energii 100 W skupionej na powierzchni 100 cm^2 następuje wzrost temperatury o 5° w przeciągu pierwszych 5 minut, natomiast wzrost temperatury w tempie $1^{o}C$/min odpowiada absorpcji 0,1 - 1 W/cm^2 [242].

Przy napromieniowywaniu tylko części ciała pozostała część działa "chłodząco" i stabilizuje temperaturę organizmu dzięki równowadze osiąganej pomiędzy wielkością pochłanianej i odprowadzanej z danego ciała energii cieplnej. Odprowadzanie nadmiernej energii cieplnej następuje głównie dzięki wzrostowi przepływu krwi do nienagrzewanych części ciała, których normalna temperatura jest utrzymywana dzięki termoregulacyjnym właściwościom organizmu oraz przez wydzielenie nadmiernej ilości ciepła poprzez promieniowanie, parowanie i konwekcję. Gdy energia cieplna po-

chłaniana jest większa od wydzielanej, następuje wzrost temperatury ciała, co objawia się w pierwszym okresie gorączką, a w następnym może prowadzić do lokalnych uszkodzeń tkanek, o których wspomniano uprzednio [178], [179].

Ilość energii cieplnej, jaką w normalnych warunkach może wydzielić ciało ludzkie wynosi około 0,01 W na cm^2 jego powierzchni, a może wzrosnąć nawet dziesięciokrotnie przy wybitnie sprzyjających okolicznościach. Oznacza to, że organizm ludzki może wchłonąć energię w granicach od 100 do 1000 W bez podwyższenia swojej temperatury [178], [179]. Te właśnie dane posłużyły głównie do określenia granicznych dopuszczalnych wartości gęstości mocy pola mikrofalowego, pod którego działaniem może znajdować się człowiek [94], [151], [152], [161 - 166], [176 - 179], [203], [241], [242].

Do tej pory mało jest informacji o innych skutkach nagrzewania mikrofalowego poza oparzeniami [195], [243] i być może powstaniem katarakty [244 - 246] u ludzi wystawionych na działanie silnych pól mikrofalowych. Zjawiska te zaobserwowano u ludzi mających do czynienia z urządzeniami mikrofalowymi, zwłaszcza radarowymi. Prowadzone w tym zakresie badania można z grubsza podzielić na 2 grupy: 1/mające na celu określenie wszelkich szkodliwych skutków napromieniowania [247], 2/ zmierzające głównie do stwierdzenia zmian powstających w soczewce oka. Dla porównania przeprowadzono m.in. badania grupy ponad 300 pracowników zatrudnionych przy urządzeniach mikrofalowych oraz reprezentatywnej grupy normalnej ludności. Nie stwierdzono różnic w odniesieniu do takich wskaźników jak stan zdrowotny, występowanie dolegliwości, subiektywne uskarżanie się pacjentów, śmiertelność,

jak również zmian w krwi i moczu oraz chorób oczu u osób narażonych na działanie pól mikrofalowych. Stwierdzono co prawda, że jeden z przypadków śmierci [248] był być może związany z podleganiem wpływom pola mikrofalowego, ale jest sprawą wątpliwą, czy rzeczywiście wpływ ten był aż tak poważny, jeżeli w ogóle istniał.

Inni autorzy [154], [249], [250] stanowczo wykluczają możliwość bezpośredniego związku pomiędzy zaobserwowanymi wypadkami śmiertelnymi i promieniowaniem mikrofalowym, stwierdzając, że opisywane przypadki zgonu są zupełnie możliwe, a nawet nie są niczym nadzwyczajnym w normalnych warunkach, bez uwzględnienia wtórnych skutków oddziaływania pola mikrofalowego.

Grupa zawodów, których przedstawiciele są najbardziej narażeni na promieniowanie mikrofalowe:

- inżynierowie elektronicy
- załogi samolotów
- operatorzy diatermii mikrofalowych
- operatorzy pieców mikrofalowych
- osoby zatrudnione przy sterylizacji medykamentów i żywności
- pracownicy badawczych laboratoriów mikrofalowych
- pracownicy zatrudnieni przy wystrzeliwaniu rakiet
- mechanicy i operatorzy radarów
- fizycy określonych specjalności

Najbardziej narażone części organizmu

Najbardziej narażone są części ciała o małym ukrwieniu ze względu na utrudnioną regulację ciepła dzięki wzmożonej cyrkulacji krwi, co powoduje lokalny wzrost temperatury ciała i może pro-

wadzić w efekcie do uszkodzeń tkanek. Typowym przykładem może tu być soczewka oka, którego wystawienie na wpływ promieniowania mikrofalowego o dostatecznie dużej gęstości /$\geqslant$100 W/cm^2/ i czasie trwania /$\geqslant$ 1 godziny/ może spowodować zmętnienie soczewki, a w końcowym efekcie kataraktę.

Prowadzono w tym zakresie badania na królikach [251 - 257] przy zastosowaniu pola o częstotliwości 2450 MHz. Wykazały one m.in. na możliwość nietermicznego mechanizmu powstawania katarakty w oparciu o fakt, że powtarzane napromieniowanie o małej gęstości mocy, nie prowadzące do znaczniejszego wzrostu temperatury oka, prowadziło do powstania katarakty, natomiast poddanie oka naświetleniu krótkotrwałym silnym promieniowaniem z towarzyszącym temu znacznym wzrostem temperatury nie powodowało powstania katarakty. Ostatnie jednak badania [258 - 260] wydają się potwierdzać pierwotne obserwacje, że właśnie ścinanie się białka pod wpływem wzrostu temperatury jest przyczyną powstawania katarakty.

Możliwe jest również, że może mieć miejsce zjawisko kumulacji przy powtarzanym naświetleniu oka promieniowaniem o gęstości poniżej wartości progowej, aczkolwiek stwierdza się, że istnieje małe tego prawdopodobieństwo, ponieważ nie może nastąpić wzrost temperatury na skutek zjawiska kumulacji, o ile tylko okresy przerwy pomiędzy powtarzanymi napromieniowaniami są na tyle długie, że w międzyczasie tkanki zdążą osiągnąć normalną temperaturę. Tak więc zjawisko kumulacji występuje prawdopodobnie tylko wówczas, gdy każde z indywidualnych, powtarzanych napromieniowań może samo w sobie prowadzić do powstania nie-

wielkich uszkodzeń [154], [201], [261] powodowanych zmianami termicznymi.

W przypadku istnienia dostatecznie długich przerw pomiędzy napromieniowaniami /rzędu wielu godzin lub nawet dni/ organizm jest sam w stanie zregenerować się i z tego względu te niewielkie uszkodzenia nie prowadzą do powstania wyraźnych, nieodwracalnych zmian w organizmie. Natomiast gdy okresy przerw są zbyt krótkie, organizm nie zdąży zregenerować się i stopniowo narastają nieodwracalne zmiany, co prawdopodobnie sugeruje istnienie zjawiska kumulowania się wpływów oddziaływania mikrofalowych pól elektromagnetycznych.

Jest przy tym rzeczą istotną podkreślenie, że zjawisko kumulacji jest całkowicie zrozumiałe w przypadku promieniowania jonizującego ze względu na jonizujące działanie każdego pochłanianego kwantu energii. Nawet jednak w tym przypadku występuje nie zupełnie zrozumiałe przez radiobiologów zjawisko samoregeneracji organizmu prowadzące do powstawania wyraźnych zależności pomiędzy intensywnością napromieniowania i częstością jej powtarzania a końcowym skutkiem napromieniowania organizmu. Tym niemniej zjawisko kumulacji w tym przypadku w pewnym stopniu na pewno istnieje, tzn. szkodliwe skutki rosną w miarę wzrostu częstości powtarzania napromieniowywania i nie zależą one już od czasu przerw pomiędzy tymi napromieniowaniami, skoro tylko zostaną przekroczone pewne określone zdolności regeneracji organizmu [262].

Ostatnie badania w tym zakresie zostały opisane szczegółowo w publikacji [146]. Poddawanie królików po jednej godzinie na dzień napromieniowaniu mikrofalowemu o częstotliwości 2450 MHz

i o gęstości od 15 do 50 mW/cm^2 przez okres od 12 do 34 dni nie prowadziło do powstawania zauważalnych zmian w oczach zwierząt. Zwiększenie gęstości mocy do 50 ÷ 120 mW/cm^2 przez umieszczenie w pobliżu oczu zwierzęcia reflektora tubowego wykazało zmienne reakcje, przy czym 16 naświetleń jednogodzinnych przy polu o gęstości mocy 110 mW/cm^2 prowadziło do powstawania umiarkowanych katarakt.

Inne doświadczenia [260] wykazały, że decydującym o powstawaniu katarakty czynnikiem jest moc średnia; im większą zastosowano moc średnią, tym krótszy był czas konieczny do wywołania zmętnienia soczewki. Wartość progowa dozy napromieniowania prowadzącego do powstania katarakty nie jest stała, lecz zależna od indywidualnych właściwości regulacji temperatury organizmu. W przypadku napromieniowywania poniżej wartości progowych istnieje pewne zjawisko kumulacji, przy czym zależy ono zarówno od wartości gęstości mocy pola, jak i czasu przerwy pomiędzy napromieniowaniami [203].

Badania prowadzone nad pracownikami zatrudnionymi przy urządzeniach mikrofalowych w USA [244 - 246] wykazały mały, lecz wyraźny wzrost przypadków zaburzeń soczewkowych w porównaniu do przeciętnych grup ludności, ale zaburzenia powyższe nie prowadziły do defektów klinicznych w sensie zakłóceń właściwości wzrokowych; zresztą wyniki tych obserwacji też są kwestionowane [202].

Zdolność postrzegania

Podleganie wpływom napromieniowania mikrofalowego jest sygnalizowane w rozmaity sposób, przede wszystkim przez powierz-

chniowe sensacje termiczne i uczucie bólu, przy czym najpoważniejszym sygnałem ostrzegawczym powinno być subiektywne uczucie wzrostu ciepła w organizmie [94], [153], [242], [263 - 266]. Różnice w sposobach i rodzajach napromieniowania, różnego wpływu napromieniowania na różne obszary ciała oraz indywidualny sposób reagowania każdego organizmu utrudniają przeprowadzenie szczegółowych porównań. Jednakże wyniki wielu obserwacji prowadzą do wniosku, że uczucie ciepła i bólu /i odpowiadający temu wzrost temperatury ciała/ występują wówczas, gdy ilość pochłanianej energii w krytycznej grubości tkanek powierzchniowych przekracza pewną wartość. Jest przy tym rzeczą godną uwagi, że chociaż tolerowana gęstość mocy promieniowania mikrofalowego jest ponad cztery razy większa niż przy promieniowaniu podczerwonym, to jednak ilość energii wydzielonej w pierwszej warstwie tkanek o grubości 1,5 mm jest w obu przypadkach prawie taka sama. Dzieje się tak dlatego, że w przypadku mikrofal tylko 20% energii jest pochłaniana przez tę warstwę, a 80% wnika głębiej i nie powoduje uczucia bólu, natomiast przy promieniowaniu podczerwonym w zakresie fal krótkich i długich ilość energii pochłaniana w warstwie zewnętrznej o grubości 1,5 mm wynosi odpowiednio od 90 do 100%.

Aczkolwiek gradient temperaturowy zmienia się wraz ze zmianą czasu napromieniowania i głębokości jego wnikania, to jednak ogólnie można stwierdzić, że gradient ten jest mały dla pierwszych kilku milimetrów zewnętrznych warstw tkanek zarówno w przypadku promieniowania mikrofalowego, jak i podczerwonego. Prowadzi to m.in. do wniosku, że odczucie bólu pojawia się dopiero wtedy, gdy organy położone w przybliżeniu na głębokości

1,5 cm pod powierzchnią skóry osiągną temperaturę około 46° C [94], [242], niezależnie od rodzaju napromieniowania wywołującego zjawiska cieplne.

Wartości progowe

Dla określenia bezpiecznych wartości gęstości mocy promieniowania mikrofalowego niezbędne jest ustalenie wartości progowych, poniżej których nie obserwuje się żadnych biologicznie szkodliwych skutków napromieniowania. Rozmaici uczeni próbowali określić tę wartość progową przy różnych warunkach napromieniowania /czas trwania, różne powierzchnie ciała, najczęściej skóra na czole, różne metody pomiarów/ i różnych długościach fal, dochodząc do dość zbieżnych wyników obserwacji, których przeciętne dla promieniowania mikrofalowego i podczerwonego przedstawiono w tabeli 12 [153], [263 - 266]. Jak wykazują dane podane w tabeli, przy napromieniowaniu około 40 cm^2 powierzchni twarzy można odczuć sensacje termiczne już po upływie czasu 1-2 sekund przy odpowiedniej gęstości mocy pola. Na tej podstawie można przypuszczać, że gdyby napromieniować całą twarz, to przy założeniu jednakowej wrażliwości całej powierzchni skóry na twarzy odczucie sensacji termicznej /czyli przekroczenie wartości progowej/ nastąpiłoby po 5 sekundach przy polu mikrofalowym o częstotliwości 10000 MHz i gęstości 4-6 mW/cm^2 [95].

Podobnie określana była wartość progowa odczucia bólu, przy czym wszystkie doświadczenia były przeprowadzane w temperaturze pokojowej, przy minimalnej cyrkulacji powietrza. Początkowa temperatura skóry wynosiła 31,5 - 33,5°C, a wzrost temperatury

Tabela 12

Gęstości mocy i towarzyszący temu wzrost temperatury powodujące przekroczenie wartości progowej odczucia ciepła przy napromieniowaniu skóry na czole o powierzchni 37 cm^2

Czas ekspozycji /sekundy/	3000 MHz	10000 MHz		Daleka podczerwień	
	Gęstość mocy /mW/cm^2/	Gęstość mocy /mW/cm^2	Wzrost temp. skóry /°C/	Gęstość mocy /mW/cm^2/	Wzrost temp. skóry /°C/
1	58,6	21	0,025	4,2 - 4,8	0,035
2	46,0	16,7	0,040	4,2	0,025
4	33,5	12,6	0,060	4,2	

warunkujący pojawienie się odczucia bólu wynosił 15°C [94]. Wyniki badań przedstawione są w tabeli 13.

Tabela 13

Wartość progowa odczucia bólu w funkcji czasu napromieniowania
/3000 MHz; 9,5 cm^2 powierzchni skóry/

Gęstość mocy /W/cm^2/	Czas ekspozycji /sekundy/
3,1	20
2,5	30
1,8	60
1,0	120
0,83	180

Powyższe dane oraz inne wyniki obserwacji promieniowania mikrofalowego wykazują, że pochłanianie mikrofal przez zewnętrzne warstwy skóry i wywołane tym sensacje stanowią sygnał alarmowy, zapobiegając dłuższemu napromieniowaniu głębszych warstw, co mogłoby prowadzić do ich uszkodzenia.

Doświadczenia przeprowadzane przy zastosowaniu pola mikrofalowego w zakresie częstotliwości 1000-24000 MHz wykazały, że patofizjologiczne efekty w soczewce oka mogą powstawać dopiero przy gęstości mocy promieniowania około 100 mW/cm^2, a inne organa wydają się być jeszcze mniej wrażliwe, co powinno znacznie uspokoić istniejące w tej mierze obawy.

Wskazówki ochrony

W oparciu o zwykłe rozważania fizjologiczne w roku 1953 wprowadzono w armii amerykańskiej [268] jako graniczną dopuszczalną wartość gęstości mocy promieniowania mikrofalowego 10 mW/cm^2. W 1965 roku ustalono nowe wartości graniczne, biorąc pod uwagę również czas przebywania w polu elektromagnetycznym [269]. Zgodnie z tymi ustaleniami dopuszczalny czas przebywania personelu w polu mikrofalowym [300 MHz - 300]GHz wynosi:

$$Tp = \frac{6000}{X^2} \quad /\text{minuty}/$$

gdzie Tp jest czasem przebywania w minutach w ciągu okresu dowolnej godziny, a X jest to gęstość mocy w mW/cm^2. Wzór ten jest słuszny tylko do gęstości mocy około 100 mW/cm^2, ponieważ czasu przebywania krótszego od 1 minuty trudno brać praktycznie pod uwagę.

Powyższe przepisy ochrony obowiązują w armii amerykańskiej do dziś i wydaje się, że przestrzeganie ich zapewnia zupełne bezpieczeństwo pracy, w tym również przy urządzeniach radarowych.

Wyniki tych doświadczeń i innych badań [194], [195] stanowiły podstawę do ustalenia w 1966 roku przepisów bezpieczeństwa przy pracy w polu mikrofalowym, obowiązujących we wszystkich gałęziach gospodarki narodowej w Stanach Zjednoczonych [270]. Podstawowym punktem przepisów jest stwierdzenie, że w przypadku normalnych warunków otoczenia i pola elektromagnetycznego w zakresie częstotliwości od 10 do 100000 MHz dopuszczalna, średnia gęstość mocy za okres 0,1 godziny wynosi 10 mW/cm^2, niezależna

leżnie od tego, czy promieniowanie ma charakter ciągły czy przerywany". W przypadku ciężkich warunków pracy, zwłaszcza wysokiej temperatury pomieszczeń oraz utrudnionego pocenia się jak również w odniesieniu do osób o zachwianej równowadze cieplnej, wartość ta powinna być odpowiednio obniżona. Należy zaznaczyć, że podana wartość odnosi się zarówno do przypadku napromieniowania całego ciała jak i tylko niektórych jego części ze względu na wyjątkową wrażliwość niektórych organów.

Niektórzy specjaliści [272] sugerują ponadto, że powinny być określone różne wartości dopuszczalnej gęstości mocy w zależności od temperatury i wilgotności w miejscu przebywania personelu, ale stosowanie tego typu przepisów w praktyce wydaje się być raczej nierealne ze względu na konieczność przeprowadzania ciągłych, dokładnych pomiarów.

Ostatnio rozważana jest sprawa wprowadzenia nowych przepisów bezpieczeństwa przy pracy w polu mikrofalowym w zakresie częstotliwości 100 MHz - 100 GHz [41], których najważniejsze postanowienia brzmiałyby:

1. Przy średniej gęstości mocy do 10 mW/cm^2 całkowity czas przebywania w polu mikrofalowym powinien być ograniczony do 8 godzin na dobę /praca ciągła/.
2. Przy średnich gęstościach mocy 10 - 25 mW/cm^2 czas przebywania w polu mikrofalowym nie może przekraczać 10 minut w okresie każdej godziny w ciągu 8 godzin pracy /praca przerywana/.

3. Przy średniej gęstości mocy ponad 25 mW/cm^2 przebywanie jest niedopuszczalne[x/].

Dla zapobieżenia przebywaniu w polu mikrofalowym o niedopuszczalnej gęstości mocy ustalono przy tym następujące przepisy porządkowe [273]:

1. Personel dozorujący powinien wyznaczyć obszary, na których gęstość mocy przekracza dopuszczalną wartość 10 mW/cm^2 i odpowiednio je oznakować. Wstęp do tych obszarów powinien być dozwolony tylko w pecjalnych przypadkach przy przestrze-

---

x/ Obowiązujące w Polsce przepisy bezpieczeństwa dotyczące ochrony od promieniowania mikrofalowego, oparte na Rozporządzeniu Rady Ministrów z dnia 25 maja 1972 r. określają następujące dopuszczalne, średnie gęstości energii pola elektromagnetycznego stacjonarnego mikrofal /300-300000 MHz/ w miejscach przebywania ludzi:

1. Gęstość strumienia energii do 0,1 W/m^2 /10 $\mu W/cm^2$/, przy której czas pracy lub przebywania w tym polu nie podlega ograniczeniu /strefa bezpieczna/.
2. Gęstość strumienia energii od 0,1 W/m^2 do 2 W/m^2, przy której dopuszczalne jest tylko przebywanie w tym polu obsługi /strefa pośrednia/.
3. Gęstość strumienia energii od 2 W/m^2 do 100 W/m^2, przy której czas pracy lub przebywania w polu mikrofalowym w ciągu doby jest ograniczony w zależności od średniej gęstości energii /strefa zagrożenia/.
4. Gęstość strumienia energii większa od 100 W/m^2, przy której przebywanie w polu mikrofalowym jest wzbronione bez stosowania środków ochrony osobistej /strefa niebezpieczna/.

/Dla zakresu częstotliwości poniżej 300 MHz istnieją tylko obowiązujące wewnętrzne przepisy Centralnego Instytutu Ochrony Pracy/. J.Z.

ganiu dodatkowych warunków ochrony osobistej i ograniczeniu czasu przebywania do minimum.

2. Nie należy dopuszczać do pracy personelu w pobliżu takich miejsc, gdzie dopuszczalna gęstość mocy może być przekroczona - dotyczy to zwłaszcza anten i linii zasilających.

3. Przy badaniach generatorów mikrofalowych dużej mocy nie należy podłączać ich do anteny promieniującej, lecz obciążać sztuczną anteną.

4. Gdy konieczne jest badanie promieniowania w wolnej przestrzeni, antena powinna być ustawiona tak, aby wiązka promieniowania nie była skierowana na budynki mieszkalne lub inne miejsca przebywania ludzi.

Ponadto przewidziano odpowiednie ubrania ochronne dla personelu, który musi przebywać przez pewien czas w obszarze zagrożenia [274].

Określone powyżej wartości graniczne budzą u wielu specjalistów poważne zastrzeżenia, przy czym większość z nich uważa, że powinny być one obniżone, chociaż nie podaje konkretnych dowodów na to, żeby gęstość mocy rzędu 10 mW/cm^2 spowodowała u kogokolwiek powstanie jakichś obrażeń.

Wynika z tego jednak, że konieczne są dalsze badania, które w szczególności powinny doprowadzić do wyraźnego rozgraniczenia pomiędzy pojęciem skutków biologicznych i rzeczywistego stanu zagrożenia. W odniesieniu do tego stanu jedynym dotychczas stwierdzonym skutkiem promieniowania mikrofalowego jest grzanie dielektryczne, stwarzające zagrożenie termiczne dla ciała

ludzkiego. Wartość 10 mW/cm^2, określona w oparciu o równowagę termiczną organizmu w przypadku narażenia całego ciała na promieniowanie, wynosi około 1/10 wartości, przy której mogą nastąpić uszkodzenia ciała na skutek zjawisk termicznych, zakładając odpowiednio długi, co najmniej 1/4 godziny, czas napromieniowania.

W związku z tym zarzut o zbyt arbitralnym narzuceniu tej wartości i nie wzięcie pod uwagę szeregu czynników nie wydaje się uzasadniony, chociaż lojalnie trzeba przyznać, że określenie dokładnej granicznej, bezpiecznej wartości gęstości mocy pola mikrofalowego jest sprawą trudną i złożoną. Tak więc na przykład w Związku Radzieckim ustalono dopuszczalną wartość gęstości mocy, przy której jest możliwa normalna 8-godzinna praca, na 0,01 mW/cm^2, przy czym wartość ta może być podwyższona nawet 100-krotnie przy 15-20 minutowych okresach ekspozycji. Wartości te zostały jednak określane raczej na podstawie wypowiedzi oraz subiektywnych efektów psychologicznych i neurostenicznych zatrudnionych osób przy urządzeniach mikrofalowych niż w oparciu o wyniki wszechstronnych badań i pomiarów.

Jest rzeczą bardzo wątpliwą, czy jakiekolwiek przeprowadzone ostatnio badania doświadczalne /i to na zwierzętach/ mogą służyć jako argument w dążeniu do obniżenia dopuszczalnych wartości 10 mW/cm^2 i dlatego wydaje się, że wartość ta powinna obowiązywać nadal do czasu uzyskania bardziej pewnych i wyczerpujących informacji co do różnych form szkodliwego działania na organizm ludzki promieniowania mikrofalowego. Równocześnie należy podkreślić, że przy ewentualnym ustalaniu niższych wartości granicznych niezbędne jest jednoznaczne określenie metod i przy-

rządów pomiarowych, które pozwoliłyby na dokładny pomiar w różnych warunkach małych gęstości mocy pól mikrofalowych, ponieważ bez ich określenia ustalone wartości liczbowe dopuszczalnych gęstości mocy mają tylko wartość teoretyczną.

CZĘSTOTLIWOŚCI RADIOWE

W literaturze spotyka się często rozważania na temat szkodliwości promieniowania elektromagnetycznego /$\leqslant$ 30 MHz/ fal radiowych [275], [276]. Częstotliwości tego zakresu są wykorzystywane nie tylko w radiokomunikacji [50], ale również w diatermiach - urządzeniach do nagrzewania głęboko położonych pod warstwą skóry tkanek - stosowanych w coraz szerszym zakresie nie tylko przez służbę medyczną.

Patofizjologia

Ekstensywne badania skutków promieniowania radiowego w zakresach częstotliwości 10,5; 19,3; 26,6 MHz i przy gęstościach mocy 100 - 200 mW/cm^2 prowadzone na małpach [277] nie wykazały szkodliwego oddziaływania biologicznego zarówno w sensie objawów zewnętrznych, jak i zaburzeń działania poszczególnych części organizmu lub w strukturze i pracy komórek różnych rodzajów tkanek. Jedynie przy częstotliwości 26,6 MHz i przy przekroczeniu gęstości mocy 400 mW/cm^2 dają się zauważyć pewne zjawiska termiczne.

Poszczególni uczeni [174], 175 , [183], [186], [201], [202], [206], [278], [279], [280] różnią się bardzo w opiniach o możliwo-

ściach nietermicznego oddziaływania pola elektromagnetycznego o częstotliwościach radiowych, przy czym jako przykład takiego oddziaływania jest najczęściej wymieniane zjawisko układania się cząsteczek w postaci łańcuchów w kierunku zgodnym z kierunkiem zewnętrznego pola elektrycznego, spowodowane tym, że pod wpływem pola elektromagnetycznego cząsteczki "zawieszone" w płynie o różnej stałej dielektrycznej ulegają polaryzacji [172], [182], [184], [281], [282]. Zjawisko to zaobserwowano wyraźnie w trakcie mikroskopowych obserwacji jednokomórkowych organizmów i mikroorganizmów [283], [284], [285]. Obserwacje w zakresie zmian struktury komórek żywych tkanek /np. w odniesieniu do aktywności enzymów, zaburzeń chromozomowych/ pod wpływem pochłaniania energii elektromagnetycznej dały jednak wyniki negatywne [286].

Niektórzy uczeni zaobserwowali pewne zmiany chemiczne w makrocząsteczkach [278], [279], ale wyniki tych obserwacji są kwestionowane.

Zasadnicze zmiany w tkankach żywego organizmu poddanego działaniu pola elektromagnetycznego wielkiej częstotliwości wynikają ze zjawiska nagrzewania płynów elektrolitycznych [287], [288]. Dały się również zaobserwować efekty biologiczne poza-termiczne w odniesieniu do aktywności bakterii umieszczonych w płynnym ośrodku przy nie wykrywalnych zmianach jego temperatury [289], [290], jednakże niektórzy uważają, że było to również spowodowane trudnymi do praktycznego ustalenia, lokalnymi zmianami termicznymi [206], [221], [280].

Wskazówki ochrony

Nie ma dowodów szkodliwości oddziaływania na człowieka pola elektromagnetycznego o częstotliwości radiowej; ogólnie uważa się, że promieniowanie radiowe jest pod względem biologicznym mniej niebezpieczne od promieniowania mikrofalowego. Z tego też względu ograniczenia na moce promieniowania nadajników służb radiodyfuzyjnych są ustalane raczej z punktu widzenia zmniejszenia niebezpieczeństwa wzajemnych interferencji, niż szkodliwego oddziaływania na ludzi przebywających w polu tego promieniowania. Z tego też na przykład względu przepisy amerykańskie ustalają, że w przypadku promieniowania telewizyjnych nadajników UKF gęstość mocy pola w pobliżu powierzchni Ziemi nie powinna przekraczać 2 mW/cm^2, chociaż nie wyklucza się znacznie wyższych poziomów w wysokich budynkach w pobliżu wieży nadajnika [50], nie uważa się jednak, żeby mogło to być szkodliwe dla ludzi postronnych, mieszkańców okolicznych domów.

Głównym przedmiotem zainteresowania stała się przede wszystkim sprawa ochrony pracowników przebywających w silnym polu w pobliżu anten nadawczych. Ze względu na bliskość źródła promieniowania niemożliwe jest przy tym operowanie pojęciem dopuszczalnej gęstości mocy, zwłaszcza w przypadku nadajników pracujących na częstotliwościach poniżej 30 MHz [291].

W przypadku dużej odległości od źródła rozkład pola w małym stopniu zależny jest od charakteru źródła, zwłaszcza od jego wymiarów, pomiar parametrów pola nie nastręcza trudności, a podanie gęstości mocy w mW/cm^2 jednoznacznie określa możliwości jego oddziaływania. Zgodnie z zasadą Maxwella istnieje ścisły

związek między wektorem pola elektrycznego i wektorem pola magnetycznego oraz pomiędzy tymi wektorami a wektorem wyznaczającym gęstość strumienia mocy. Pole ma rozkład sinusoidalny w czasie i przestrzeni, a gęstość mocy maleje odwrotnie proporcjonalnie do kwadratu odległości od źródła.

W pobliżu źródła rozkład pola ma charakter bardzo złożony, przy czym na rozkład ten mają wpływ nie tylko właściwości źródła promieniującego, ale również właściwości ośrodka bezpośrednio je otaczającego. Pole to jest w zasadzie sinusoidalne w czasie dla dowolnego punktu w przestrzeni, lecz nie koniecznie jest sinusoidalne w przestrzeni dla danego momentu czasu, Nie ma jednoznacznie określonego związku pomiędzy wektorem pola elektrycznego i wektorem pola magnetycznego, w związku z czym wektor gęstości mocy nie charakteryzuje w sposób właściwy tego pola. Odległość od źródła, do której nie można rozpatrywać wytwarzanego promieniowania jako pola jednorodnego, zależy od charakterystyki kierunkowej źródła promieniowania [183] oraz długości promieniowanej fali.

Jak poprzednio stwierdzono, w Stanach Zjednoczonych jako dopuszczalną normę promieniowania mikrofalowego o częstotliwościach w granicach 10 - 100000 MHz przyjęto wartość średniej gęstości mocy za okres 0,1 godziny równą 10 mW/cm^2 [270]. Dla promieniowania radiowego o częstotliwości poniżej 100 MHz wydaje się jednak możliwe i celowe znacznie podwyższyć wyżej podaną wartość graniczną [277].

Ze względu na dielektryczny charakter tkanek organizmu ludzkiego najbardziej szkodliwe oddziaływanie wywiera składowa elektryczna pola, w związku z czym proponuje się również zamiast sto-

sowania pojęcia gęstości mocy określenie maksymalnego dopuszczalnego natężenia pola elektrycznego, które w miejscu przebywania ludzi nie powinno przekraczać 100 V/m, co jest równoważne gęstości mocy 10 mW/cm^2 w przypadku fali płaskiej, tzn. w dużej odległości od źródła [291]. Niektórzy sugerują przy tym, aby dla zakresów częstotliwości mniejszych od 30 MHz powiększyć tę wartość graniczną do około 1000 V/m [291]. Należy uwzględnić jednak to, że w pewnych przypadkach, na przykład nakładania się pól od kilku źródeł, operowanie pojęciem gęstości mocy staje się nieuzasadnione [292]. W takich przypadkach proponuje się, aby jako wartość graniczną przyjąć prąd w tkankach o gęstości $3A/cm^2$ w przypadku podlegania wpływom promieniowania o częstotliwości powyżej 10 MHz i odpowiednio mniejsze wartości przy częstotliwościach poniżej 10 MHz.

WNIOSKI

W ostatnich latach znacznie wzrosło zastosowanie w różnych dziedzinach życia rozmaitego typu urządzeń wytwarzających pola elektromagnetyczne, których wpływu na organizm człowieka nie można pominąć. Biologiczna szkodliwość zależy przede wszystkim od charakteru wytwarzanego promieniowania /częstotliwość, gęstość mocy, czas trwania/, ale również w pewnym stopniu i od indywidualnych właściwości organizmu. Konieczne jest określenie zarówno dopuszczalnych wartości emisji, jak i sposobów jej kontrolowania. W związku z tym jednak pojawia się szereg pytań, a mianowicie: w jakim stopniu szkodliwe są różne rodzaje promieniowania i jakie mogą wywołać odwracalne i nieodwracalne zmiany w organiz-

mie? jak można zmniejszać wartości szkodliwych promieniowań? jakimi sposobami ograniczyć czas przebywania ludzi w szkodliwym polu? w jakim stopniu można ulepszyć obowiązujące przepisy, aby zmniejszyć ryzyko szkodliwego wpływu promieniowania na ludzi, zarówno na personel obsługujący, jak i osoby postronne?

Wymaga to zarówno teoretycznej analizy zagadnień, jak i wielu badań doświadczalnych w świetle obecnej znajomości wskaźników jakościowych i ilościowych. Jeżeli istnieje wyraźny związek pomiędzy wielkością pola elektromagnetycznego i czasem przebywania w nim a szkodliwymi wpływami patofizjologicznymi na organizm ludzki, ustalenie obowiązujących standardów nie jest sprawą trudną. Jednakże w większości przypadków tak nie jest, trzeba bowiem wziąć pod uwagę szereg różnych i zmiennych czynników, a ponadto nie wszystkie one dadzą się liczbowo określić za pomocą analizy teoretycznej lub ustalić za pomocą pomiarów. Trzeba jednak podjąć wszelkie możliwe wysiłki, aby określić jednoznacznie warunki, w których może istnieć zagrożenie zdrowia człowieka oraz określić sposoby zapobiegania temu zagrożeniu. Ma to na celu zarówno uniknięcie niepotrzebnego, szkodliwego oddziaływania różnych rodzajów promieniowania elektromagnetycznego na organizm ludzki jak i położenia kresu wszelkim niepewnościom i niedomówieniom na ten temat, aby ludzie nie odczuwali subiektywnie nadmiernego stanu zagrożenia. Zagrożenie to pomimo wszystko nie wydaje się zbyt duże w porównaniu do innych niebezpieczeństw czyhających na zdrowie, a nawet życie człowieka w dobie dzisiejszego rozwoju cywilizacji, przy coraz większych zakłóceniach środowiska biologicznego człowieka w szerokim i różnorodnym tego słowa znaczeniu.

WYKAZ LITERATURY

[1] I. Matelsky, "Non-ionizing radiations," in *Industrial Hygiene Highlights*, vol. 1, L. V. Cralley and G. D. Clayton, Eds. Pittsburgh, Pa.: Industrial Hygiene Foundation of America, Inc., 1968, pp. 140–179.

[2] E. J. Casey, *Biophysics Concepts and Mechanisms*. New York: Rheinhold, 1962.

[3] *Laser Health Hazards Control*. Air Force Manual, AFM 161-8, U. S. Dept. of Air Force, Apr. 1969.

[4] B. G. Ferris, "Environmental hazards. Electromagnetic radiation," *New Eng. J. Med.*, vol. 275, pp. 1100–1105, 1966.

[5] L. Taylor, "The development of exposure guidelines," in *Proc. Conf. on Estimation of Low-Level Radiation Effects in Human Populations* (Argonne Nat. Lab., Dec. 1970, Rep. ANL-7811), May 1971, pp. 27–28.

[6] National Council on Radiation Protection and Measurements, "Basic radiation protection criteria," NCRP Rep. 39, Washington, D. C., 1971.

[7] R. E. Lapp and H. L. Andrews, *Nuclear Radiation Physics*, 3rd ed. Englewood Cliffs, N. J.: Prentice-Hall, 1963.

[8] L. S. Taylor, "Radiation protection trends in the United States," *Health Phys.*, vol. 20, pp. 499–504, 1971.

[9] *Radiosensitivity and Spatial Distribution of Dose*. ICRP Publ. 14 (reports prepared by two Task Groups of Committee I of the International Commission on Radiological Protection). London, England. Pergamon. 1969, p. 115.

[10] W. M. Leach, "Biological aspects of ultraviolet radiation, a review of hazards," Div. of Biological Effects, Bureau of Radiological Health, U. S. Dep. Health, Education, and Welfare (USDHEW), Rep. BRH/DBE 70-3, 1970; "Biological effects of ultraviolet radiation," in *Dig. IEEE 1971 Int. Conv.* (New York, Mar. 1971, p. 400.)

[11] A. E. S. Green, Ed., *The Middle Ultraviolet: Its Science and Technology*. New York: Wiley, 1966.

[12] *Occupational Health Facts About Ultraviolet Energy*. USDHEW, Nat. Inst. for Occupational Safety and Health, Apr. 1971.

[13] *1969 Annual Report to the Congress on the Administration of the Radiation Control for Health and Safety Act of 1968 Public Law 90-602*. USDHEW, Tech. Rep. BRH/OBD 70-3, Apr. 1970, pp. 1–54.

[14] J. H. Epstein, "Ultraviolet light in office practice," *Postgrad. Med.*, vol. 37, 1965, pp. 170–174.

[15] M. A. Everett, R. M. Sayre, and R. L. Olson, "Physiologic response of human skin to ultraviolet light," in *The Biological Effects of Ultraviolet Radiation (With Emphasis on the Skin) (Proc. 1st. Int. Conf. 1966)*, F. Urbach, Ed. New York: Pergamon, 1969, pp. 181–186.

[16] L. R. Koller, *Ultraviolet Radiation*, 2nd ed. New York: Wiley, 1965.

[17] J. R. Prince, "A general consideration of the biological hazards of occupational exposure to ultraviolet radiation," in *Electronic Product Radiation and the Health Physicist*. USDHEW, Tech. Rep. BRH/DEP 70-26, Oct. 1970, pp. 391–406.

[18] F. Urbach, Ed., *The Biological Effects of Ultraviolet Radiation (With Emphasis on the Skin) (Proc. 1st. Int. Conf. 1966)*. New York: Pergamon, 1969.

[19] Council on Physical Therapy "Acceptance of ultraviolet lamps for disinfecting purposes," *J. Amer. Med. Ass.*, vol. 122, pp. 503–504, 1943.

[20] K. J. K. Buettner, "The effects of natural sunlight on human skin," in *Biological Effects of Radiation (With Emphasis on the Skin)*, F. Urbach Ed. New York: Pergamon, 1969, pp. 237–249.

[21] H. Brodthagen, "Seasonal variations in ultraviolet sensitivity of normal skin," in *Biological Effects of Radiation (With Emphasis on the Skin)*, F. Urbach, Ed. New York: Pergamon, 1969, pp. 459–467.

[22] M. Kleinfeld, C. Giel, and I. R. Tabershaw, "Health hazards associated with inert-gas-shielded metal arc welding," *Amer. Med. Ass. Arch. Ind. Health*, vol. 15, pp. 27–31, 1957.

[23] A. G. Gaydon, *Dissociation Energies and Spectra of Diatomic Molecules*, 2nd ed. London, England: Chapman and Hill, 1953.

[24] A. R. Buchanan, H. C. Heim, and D. W. Stilson, *Biomedical Effects of Exposure to Electromagnetic Radiation. Part I. Ultraviolet*. Wright Air Develop. Ctr., Wright-Patterson AFB, Ohio, WADD Tech. Rep. 60-376, ASTIA Doc. 244-786, May 1960, pp. 1–181.

[25] S. Lerman, "Radiation cataractogenesis," *N. Y. State J. Med.*, vol. 62, pp. 3075–3085, 1962.

[26] I. Matelsky, "The non-ionizing ultraviolet radiations. Refresher course," in *Proc. Amer. Ind. Hyg. Ass. Conf.* (Toronto, Canada, May 1971).

[27] M. A. Everett, R. L. Olson, and R. M. Sayer, "Ultraviolet erythema," *Amer. Med. Ass. Arch. Dermatol.*, vol. 92, pp. 713–719, 1965.

[28] J. M. Knox, R. G. Freeman, and R. Ogura, "The destructive energy of sunlight," *Dermatol. Invest.*, vol. 4, pp. 205–212, 1965.

[29] M. M. Key, T. H. Milby, D. A. Holaday, and A. Cohen, "Physical hazards," in *Occupational Diseases. A Guide to Their Recognition*, W. M. Gafafer, Ed. USDHEW, PHS Publ. 1097, 1964, pp. 259–297.

[30] H. F. Blum, *Carcinogenesis by Ultraviolet Light*. Princeton, N. J.: Princeton Univ. Press, 1959.

[31] ——, "Quantitative aspects of cancer induction by ultraviolet light: Including a revised model," in *Biological Effects of Ultraviolet Radiation (With Emphasis on the Skin)*, F. Urbach, Ed. New York: Pergamon, 1969, pp. 543–549.

[32] W. L. Epstein, K. Fukuyama, and J. H. Epstein, "Ultraviolet light, DNA repair and skin carcinogenesis in man," *Fed. Proc.*, vol. 30, pp. 1766–1771, 1971.

[33] D. G. Pitts, J. E. Prince, W. I. Butcher, K. R. Kay, R. W. Bowman, H. W. Casey, D. G. Richey, L. H. Mori, J. E. Strong, and T. J. Tredici, *The Effects of Ultraviolet Radiation on the Eye*. USAF School of Aerospace Medicine, Aerospace Med. Div. (AFSC), Brooks AFB, Tech. Rep. SAM-TR-69-10, Feb. 1969.

[34] D. G. Pitts, W. R. Bruce, and T. J. Tredici, *A Comparative Study of the Effects of Ultraviolet Radiation on the Eye*. USAF School of Aerospace Medicine, Aerospace Med. Div. (AFSC), Brooks AFB, Tech. Rep. SAM-TR-70-28, July 1970.

[35] W. J. Geeraets, "Radiation effects on the eye," *The Sight-Saving Rev.*, vol. 39, pp. 181–196, Winter 1969–1970; "Radiation effects on the eye," *Ind. Med.*, vol. 39, pp. 441–450, 1970.

[36] K. W. Hausser and W. Vahle, "Sonnenbrand and Sonnenbraunung," *Wiss. Veroeff. Siemens-Werke*, vol. 6, pp. 101–120, 1927; also in *Biologic Effects of Ultraviolet Radiation (With Emphasis on the Skin)*, F. Urbach, Ed. New York: Pergamon, 1969, pp. 3–21.

[37] F. Urbach, R. E. Davies, and P. D. Forbes, "Ultraviolet radiation and skin cancer in man," in *Advances in Biology of the Skin*, vol. 7. Oxford, England: Pergamon, 1966, pp. 195–214.

[38] A. Bachem, "Ophthalmic ultraviolet action spectra," *Amer. J. Ophthalmol.*, vol. 41, pp. 969–975, 1956.

[39] D. G. Cogan and V. E. Kinsey, "Action spectrum of keratitis produced by ultraviolet radiation," *Arch. Ophthalmol.*, vol. 35, pp. 670–677, 1946.

[40] "Report of the council on physical medicine," *J. Amer. Med. Ass.*, vol. 137, pp. 1600–1603, Aug. 1948.

[41] *Threshold Limit Values of Physical Agents with Intended Changes Adopted by ACGIH for 1971* (Amer. Conf. of Governmental Industrial Hygienists Publ., Cincinnati, Ohio, 1971).

[42] E. M. Roth and S. Finkelstein, "Light environments," in *Compendium of Human Responses to the Aerospace Environment*, vol. 1, sec. 2, E. M. Roth, Ed. NASA Rep. CR-1205(1), Washington, D. C., Nov. 1968, pp. 2-1–2-160.

[43] K. D. Fisher, C. J. Carr, J. E. Huff, and T. E. Huber, "Dark adaptation and night vision," *Fed. Proc.*, vol. 29, pp. 1605–1638, 1970.

[44] S. L. Bonting and A. D. Bangham, "On the biochemical mechanism of the visual process," *Exp. Eye Res.*, vol. 6, pp. 400–413, 1967.

[45] D. G. McConnell and D. G. Scarpelli, "Rhodopsin: an enzyme," *Science*, vol. 139, p. 848, 1963.

[46] B. Rosenberg, "A physical approach to the visual receptor process," *Advan. Radiat. Biol.*, vol. 2, pp. 193–241, 1966.

[47] G. Wald, "The biochemistry of visual excitation," in *Enzymes: Units of Biological Structure and Function*, O. H. Gaebler, Ed. New York: Academic Press, 1956, p. 355.

[48] J. J. Wolken, *Vision. Biophysics and Biochemistry of the Retinal Photoreceptors.* Springfield, Ill.: Thomas, 1966.
[49] F. H. Adler, *Physiology of the Eye*, 4th ed. St. Louis, Mo.: Mosby, 1965.
[50] J. Y. Harris, "National inventory of electronic products," in *Electronic Product Radiation and the Health Physicist.* USDHEW, Tech. Rep. BRH/DEP 70-26, Oct. 1970, pp. 70–93.
[51] *Loss of Vision from High Intensity Light.* Symp. sponsored by Aerospace Medical Panel of AGARD–NATO, Advisory Group for Aerospace Research and Development (Paris, France, Mar. 1966), Rep. AGARD-LP-11, 1966. ASTIADOC. AD-653917.
[52] F. W. Sears, "Principles of physics," in *Optics*, vol. III, F. W. Sears, Ed. Cambridge, Mass.: Addison-Wesley, 1946, pp. 1–323.
[53] P. Webb, *Bioastronautics Data Book.* STID, Nat. Aeronautics and Space Admin., Washington, D. C., Rep NASA SP-3006, 1964.
[54] E. A. Boettner, *Spectral Transmission of the Eye.* Univ. of Michigan, Contract AF41(609)-2966, School of Aerospace Medicine, Brooks AFB, July 1967.
[55] C. H. Graham, Ed., *Vision and Visual Perception.* New York: Wiley, 1965.
[56] *A Study of Vision as Related to Dark Adaptation and Night Vision in the Soldier.* Bethesda, Md.: Fed. Amer. Soc. Exp. Biol., Life Sci., 1969.
[57] K. Buettner and H. W. Rose, "Eye hazards from an atomic bomb," *Sight-Saving Rev.*, vol. 23, pp. 194–197, 1953; *Excerpts. Med. Ophthalmol.*, vol. 8, p. 221, 1954; *Abstr. Mil. Aviat. Ophthalmol. Vis. Sci.*, vol. 5, pp. 182–183, 1960.
[58] M. Luckiesh and S. K. Guth, "Brightness in visual field at borderline between comfort and discomfort," *Illum. Eng.*, vol. 44, pp. 650–670, 1949.
[59] D. W. DeMott and T. P. Davis, "An experimental study of retinal burns: Part I. The irradiance thresholds for chorio-retinal lesions. Part II. Entopic scatter as a function of wavelength," *Arch. Ophthalmol.*, vol. 62, pp. 653–656, 1959.
[60] W. T. Ham, Jr., H. Wiesinger, F. H. Schmidt, R. C. Williams, R. S. Ruffin, M. C. Schaffer, and D. Guerry, III, "Flash burns in the rabbit retina as a means of evaluating retinal hazard from nuclear weapons," *Amer. J. Ophthalmol.*, vol. 46, pp. 700–723, 1958.
[61] W. T. Ham, Jr., R. C. Williams, H. A. Mueller, R. S. Ruffin, F. H. Schmidt, A. M. Clarke, J. J. Vos, and W. J. Geeraets, "Ocular effects of laser radiation," *Acta Ophthalmol.*, vol. 43, pp. 390–409, 1965.
[62] J. J. Vos, *Some Considerations on Eye Hazards With Lasers.* Nat. Defense Res. Council, T.N.O., Medical Biological Lab., Rijswijk, The Netherlands, Rep. TDCK-46027, 1966.
[63] H. Davson, Ed., *The Eye* (*Vegetative Physiology and Biochemistry*, vol. 1; *The Visual Process*, vol. 2; *Muscular Mechanisms*, vol. 3; *Visual Optics and the Optical Space Sense*, vol. 4). London, England: Academic Press, 1962.
[64] J. C. Lowson, *Artificial Lighting in Factory and Office.* CIS Inform. Sheet 11, Melbourne, Australia, 1965.
[65] *American Standard Practice for Industrial Lighting.* Illuminating Engineering Society, Rep. RP-7, New York, 1965; *Lighting Handbook*, 4th ed., Illuminating Engineering Society. Baltimore, Md.: Waverly Press, 1966.
[66] *Electromagnetic Radiation Hazards.* Ground Electronics Engineering Installation Agency Standard (GEEIA Standard), USAF Rep. 3/10/69-550, T.O.31Z-10-4, 1966.
[67] W. E. Forsythe and F. Christison, "The absorption of radiation from different sources by water and body tissue," *J. Opt. Soc. Amer.*, vol. 20, p. 693, 1930.
[68] J. F. Lehmann, G. D. Brunner, and R. W. Stow, "Pain threshold measurements after therapeutic application of ultrasound, microwaves and infrared," *Arch. Phys. Med. and Rehab.*, vol. 39, pp. 560–565, 1958.
[69] J. Gersten, K. G. Wakim, R. W. Stow, and F. H. Krusen, "A comparative study of the heating of tissues by near and far infrared radiation," *Arch. Phys. Med.*, vol. 30, pp. 691–699, 1949.
[70] J. H. Jacobson, B. Cooper, N. W. Najac, and A. Kohtiao, "The effects of thermal energy on anterior ocular tissues," 6570th Aerospace Med. Res. Lab., Wright-Patterson AFB, Ohio, Tech. Rep. AMRL-TDR-63-53, 1963.
[71] H. C. Weston, "Illumination and the variation of visual performance with age," in *Proc. Int. Comm. on Illum.*, vol. 2 (Stockholm, Sweden, 1951).
[72] K. Laxar, *Preliminary Investigation of Effects of Near Infrared on Visual Performance.* U. S. Naval Submarine Med. Ctr. Rep. 588, Groton, Conn., 1969.

[73] C. M. Edbrooke and C. Edwards, "Industrial radiation cataracts: The hazards and the protective measures," *Arch. Occup. Hyg.*, vol. 10, pp. 293–304, 1967.
[74] W. Robinson, "On bottle-maker's cataract," *Brit. Med. J.*, vol. 2, pp. 381–384, 1907; *Ophthalmoscope*, vol. 18, p. 538, 1915.
[75] K. L. Dunn, "Cataract from infrared rays. 'Glass workers' cataract'—A preliminary study on exposures," *Arch. Ind. Hyg. and Occup. Med.*, vol. 1, pp. 166–180, 1950; "A preliminary study on 'glass worker's cataract' exposures," *Trans. Amer. Acad. Ophthalmol. Otolaryngol.*, vol. 54, pp. 597–605, 1950.
[76] G. F. Keatinge, J. Pearson, J. P. Simons, and E. E. White, "Radiation cataract in industry," *Arch. Ind. Health*, vol. 11, pp. 305–315, 1955.
[77] D. G. Cogan, D. D. Donaldson, and A. B. Reese, "Clinical-pathological characteristics of radiation cataract," *Arch. Ophthalmol.*, vol. 47, pp. 55–70, 1952.
[78] H. Goldmann, "The genesis of the cataract of the glass blower," *Ann. Ocul.*, vol. 172, pp. 13–41, 1935; *Amer. J. Ophthalmol.*, vol. 18, pp. 590–591, 1935.
[79] H. Goldmann, H. Koenig, and F. Maeder, "The permeability of the eye lens to infrared," *Ophthalmologica*, vol. 120, pp. 198–205, 1950.
[80] A. Vogt, "Fundamental investigation of the biology of infrared," *Klin. Monatsbl. Augenheilk.*, vol. 89, pp. 256–260, 1932
[81] R. K. Langley, C. B. Mortimer, and C. McCullock, "The experimental production of cataracts by exposure to heat and light," *Amer. Med. Ass. Arch. Ophthalmol.*, vol. 63, pp. 473–488, 1960.
[82] H. G. Bredemeyer, O. A. Wiegmann, A. Bredemeyer, and H. R. Blackwell, "Radiation thresholds for chorioretinal burns," 6570th Aerospace Med. Res. Lab., Wright-Patterson AFB, Ohio, Tech. Rep. AMRL-TDR-63-71, 1963.
[83] J. H. Jacobson, B. Cooper, and H. W. Najac, "Effects of thermal energy on retinal function," 6570th Aerospace Med. Res. Lab., Wright-Patterson AFB, Ohio, Tech. Rep. AMRL-TDR-62-96, 1962.
[84] J. D. Hardy and T. W. Oppel, "Studies in temperature sensation. IV. The stimulation of cold sensation by radiation," *J. Clin. Invest.* vol. 17, pp. 771–777, 1938.
[85] T. H. Bullock and F. P. J. Diecke, "Properties of an infrared receptor," *J. Physiol.*, vol. 134, pp. 47–87, 1956.
[86] D. C. Sinclair, "Cutaneous sensation and the doctrine of specific energy," *Brain*, vol. 78, pp. 584–614, 1955.
[87] G. Weddell, "Studies related to the mechanism of common sensibility," in *Advances in Biology of Skin, Cutaneous Innervation*, vol. 1. New York: Pergamon, 1960, pp. 112–160.
[88] H. Hensel, "Electrophysiology of thermosensitive nerve endings," in *Biology and Medicine* (pt. 3. *Temperature: Its Measurement and Control in Science and Industry*), J. D. Hardy, Ed. New York: Reinhold, 1963, p. 191.
[89] J. D. Hardy, "Thermal radiation, pain and injury," in *Therapeutic Heat*, vol. 2, S. Licht, Ed. New Haven, Conn.: Elizabeth Licht, 1958, pp. 157–178.
[90] Weber, 1846, cited in E. Hendler, "Cutaneous receptor response to microwave irradiation," in *Thermal Problems in Aerospace Medicine*, J. D. Hardy, Ed. Surrey, England: Unwin, 1968, p. 159.
[91] J. D. Hardy and T. W. Oppel, "Studies in temperature sensation. III. The sensitivity of the body to heat and the spatial summation of the end organ responses," *J. Clin. Invest.*, vol. 16, pp. 533–540, 1937.
[92] E. Hendler and J. D. Hardy, "Temporal aspects of temperature sensation," ASME Paper 58-A-220, 1958; "Infrared and microwave effects on skin heating and temperature sensation," *IRE Trans. Med. Electron.*, vol. ME-7, pp. 143–152, July 1960.
[93] E. Fischer and S. Solomon, "Physiological responses to heat and cold," in *Therapeutic Heat*, S. H. Licht, Ed. New Haven, Conn.: Elizabeth Licht, 1958, pp. 116–156.
[94] H. F. Cook, "The pain threshold for microwave and infrared radiations," *J. Physiol.*, vol. 118, pp. 1–11, 1952.
[95] E. Hendler, private communication.
[96] J. D. Hardy, H. G. Wolff, and H. Goodell, "Studies on pain, a new method for measuring pain threshold: Observations on spatial summation of pain," *J. Clin. Invest.*, vol. 19, pp. 649–657, 1940.
[97] P. O. Andrell, "Cutaneous pain elicited in man by thermal radiation: Dependence of threshold intensity on stimulation time, skin temperature and analgesics," *Acta Pharmacol. Toxicol.*, vol. 10, pp. 30–37, 1954.

[98] F. N. Bilisoly, H. Goodell, and H. G. Wolff, "Vasodilatation, lowered pain threshold, and increased tissue vulnerability: Effects dependent upon peripheral nerve function." *Amer. Med. Ass. Arch. Intern. Med.*, vol. 94, pp. 759–773, Nov. 1954.

[99] J. D. Hardy, H. Goodell, and H. G. Wolff, "Influence of skin temperature upon pain threshold as evoked by thermal radiation," *Science*, vol. 114, pp. 149–150, 1951.

[100] M. Wertheimer and W. D. Ward, "Influence of skin temperature upon pain threshold as evoked by thermal radiation—a confirmation," *Science*, vol. 115, pp. 499–500, 1952.

[101] J. W. Clark and D. Binda, "Individual difference in pain thresholds," *Can. J. Psychol.*, vol. 10, p. 69, 1956.

[102] J. D. Hardy, H. G. Wolff, and H. Goodell, *Pain Sensations and Reactions*. Baltimore, Md.: Williams and Wilkins, 1952, pp. 87–122.

[103] G. A. Schumacher, H. Goodell, J. D. Hardy, and H. G. Wolff, "Uniformity of pain threshold in man," *Science*, vol. 92, pp. 110–112, 1940.

[104] H. G. Wolff, J. D. Hardy, and H. Goodell, "Studies on pain measurement of the effect of morphine, codine, and other opiates on the pain threshold and an analysis of their relation to the pain experience," *J. Clin. Invest.*, vol. 19, pp. 659–680, 1940.

[105] H. Davson, *The Physiology of the Eye*, 2nd ed. Boston, Mass.: Little, Brown, 1963.

[106] P. P. Lele and G. Weddell, "The relationship between neurohistology and corneal sensibility," *Brain*, vol. 79, pp. 119–154, 1956.

[107] F. G. Ebaugh, Jr., and R. Thauer, "Influence of various environmental temperatures on the cold and warmth thresholds," *J. Appl. Physiol.*, vol. 3, pp. 173–182, 1950.

[108] J. D. Hardy, "Thresholds of pain and reflex contraction as related to noxious stimulation," *J. Appl. Physiol.*, vol. 5, pp. 725–739, 1953.

[109] J. D. Hardy, H. Wolff, and H. Goodell, "Studies on pain: Discrimination of differences in intensity of a pain stimulus as a basis of a scale of pain intensity," *J. Clin. Invest.*, vol. 26, pp. 1152–1158, 1947.

[110] A. R. Moritz and F. C. Henriques, Jr., "Studies of thermal injury. II. Relative importance of time and surface temperature in causation of cutaneous burns," *Amer. J. Pathol.*, vol. 23, pp. 695–720, 1947; F. C. Henriques, Jr., and A. R. Mortiz, "Studies of thermal injury. 1. The conduction of heat to and through skin and the temperatures attained therein. A theoretical and experimental investigation," *Amer. J. Pathol.*, vol. 23, pp. 531–549, 1947.

[111] F. C. Henriques, Jr., "Studies of thermal injury: V. Predictability and significance of thermally induced rate processes leading to irreversible epidermal injury," *Arch. Pathol.*, vol. 43, pp. 489–502, 1947.

[112] E. C. Gregg, Jr., "Physical basis of pain threshold measurements in man," *J. Appl. Physiol.*, vol. 4, pp. 351–363, 1951.

[113] H. G. Wolff and J. D. Hardy, "On the nature of pain," *Physiol. Rev.*, vol. 27, pp. 167–199, 1947.

[114] D. L. Lloyd-Smith and K. Mendelssohn, "Tolerance limits to radiant heat," *Brit. Med. J.*, no. 4559, pp. 975–978, May 22, 1948.

[115] H. M. Whyte, "The effect of aspirin and morphine on heat pain," *Clin. Sci.*, vol. 10, pp. 333–345, 1951.

[116] W. L. Derksen, T. I. Monohan, and G. P. Delhery, "The temperatures associated with radiant energy skin burns," in *Temperature, Its Measurement and Control in Sciences and Industry*, vol. 3, pt. 3, J. D. Hardy, Ed. New York: Rheinhold, 1963, p. 171.

[117] S. Duke-Elder, *Textbook of Ophthalmology*, vol. VI (*Injuries*). St. Louis, Mo.: Mosby, 1954, p. 6476.

[118] W. T. Ham, Jr., A. M. Clarke, W. J. Geeraets, S. F. Cleary, H. A. Mueller, and R. C. Williams, "The eye problem in laser safety," *Arch. Environ. Health*, vol. 20, pp. 156–160, 1970.

[119] A. M. Clarke, "Ocular hazards from lasers and other optical sources," *CRC Critical Reviews in Environmental Control*, pp. 307–339, Nov. 1970.

[120] L. Goldman, *Biomedical Aspects of the Laser*. New York: Springer, 1967.

[121] C. L. Hu and F. S. Barnes, "The thermal-chemical damage in biological material under laser irradiation," *IEEE Trans. Biomed. Eng.*, vol. BME-17, pp. 220–229, July 1970.

[122] W. T. Ham, R. C. Williams, H. A. Mueller, D. Guerry, III, A. M. Clarke, and W. J. Geeraets, "Effects of laser radiation on the mammalian eye," *Trans. N. Y. Acad. Sci.*, vol. 28, pp. 517–526, 1966.

[123] W. L. Makous and J. D. Gould, "Effects of lasers on the human eye," *IBM J. Res. Develop.*, vol. 12, pp. 257–271, 1968

[124] M. L. Wolbarsht, Ed., *Laser Applications in Medicine and Biology*. New York: Plenum, 1971.

[125] *Radiation Control for Health and Safety Act of 1967.* Hearings before the Committee on Commerce United States Senate, Ninetieth Congress, Second Session on S. 2067, S. 3211, and H.R. 10790, 1968.

[126] "Papers read before the second international laser safety conference and workshops" (Cincinnati, Ohio, Mar. 24–25, 1969) in *Arch. Environ. Health*, vol. 20, pp. 146–211, 1970.

[127] M. S. Litwin and K. M. Earle, Eds., *Proc. 1st Ann. Conf. Biologic Effects of Laser Radiation.* Washington, D. C.; AFIP, May 1964; *Fed. Proc.*, vol. 24, pt. 3, suppl. 14, pp. S1–S177, 1965.

[128] W. F. Van Pelt, H. F. Stewart, R. W. Peterson, A. M. Roberts, and J. K. Worst, *Laser Fundamentals and Experiments.* USDHEW, PHS, BRH Publ. BRH/SWRHL 70-1, May 1970.

[129] C. H. Powell, H. E. Bell, V. E. Rose, L. Goldman, and T. K. Wilkinson, "Current status of laser threshold guides," *Amer. Ind. Hyg. Ass. J.*, vol. 31, pp. 485–491, 1970.

[130] M. B. Landers, "The laser eye hazard," *Surv. Ophthalmol.*, vol. 14, pp. 338–341, 1970.

[131] J. Hayes and M. Wolbarsht, "Thermal model for retinal damage induced by pulsed lasers," *Aerosp. Med.*, vol. 39, pp. 474–480, 1968.

[132] C. A. Pitha, "Laser damage: A selected literature survey," Air Force Cambridge Res. Lab., L. G. Hanscom Field, Bedford, Mass., Tech. Rep. AFCRL-67-137, 1967.

[133] T. L. Curtin and D. G. Boyden, "Reflected laser beam causing accidental burn of retina," *Amer. J. Ophthalmol.*, vol. 65, pp. 188–189, 1968.

[134] W. A. Mills, "Bioeffects of non-ionizing electronic product radiation," in *Conference on Federal-State Implementation of Public Law 90-602*, J. W. Miller and T. M. Gerusky, Eds. USDHEW, Rep. ORO 69-4, Mar. 1969, pp. 13–25.

[135] H. C. Zweng, "Thresholds of laser eye hazards," Presented at 33rd Ann. Meet. of the Industrial Hygiene Foundation, 1968; cited in J. A. Carpenter, D. J. Lehmiller, and T. J. Tredici, "U. S. Air Force permissible exposure levels for laser irradiation," *Arch. Environ. Health*, vol. 20, pp. 171–176, 1970.

[136] W. J. Geeraets, "Some aspects of laser coagulation," *Int. Ophthalmol. Clin.*, vol. 6, pp. 263–273, 1966.

[137] W. J. Geeraets, W. T. Ham, Jr., R. C. Williams, H. A. Mueller J. Burkhart, D. Guerry, III, and J. Vos, "Laser vs light coagulation: A fundoscopic and histologic study of chorioretinal injur as a function of exposure time," *Fed. Proc.* (Suppl. 14), vol. 24, p. S-48, 1965.

[138] A. Vassiliadis, R. C. Rosan, R. S. Peabody, H. C. Zweng, and R. C. Honey, "Investigation of retinal damage using a Q-switched ruby laser," Wright-Patterson AFB, Ohio, Spec. Tech. Rep. SRL Proj. 5571, 1966.

[139] A. Vassiliadis, N. A. Peppers, R. R. Peabody, R. C. Rosan, H. C. Zweng, M. Flocks, and R. C. Honey, *Technical Report AFAL-TR-67-170*, Wright-Patterson AFB, Ohio, 1967.

[140] H. C. Zweng, R. C. Rosan, R. R. Peabody, R. M. Shuman, A. Vassiliadis, and R. C. Honey, "Experimental Q-switched ruby laser retinal damage," *Arch. Ophthalmol.*, vol. 78, pp. 634–640, 1967.

[141] G. M. Wilkening, "A commentary on laser-induced biological effects and protective measures," *N. Y. Acad. Sci.*, vol. 68, pt. 3, pp. 621–626, 1970.

[142] ——, "Laser hazard control procedures," in *Electronic Product Radiation and the Health Physicist.* USDHEW, Rep. BRH/DEP 70-26, Oct. 1970, pp. 275–290.

[143] G. M. Wilkening, T. Behrendt, J. A. Carpenter, W. T. Ham, P. W. Lappin, W. Mautner, R. W. Neidlinger, A. E. Sberr, C. H. Swope, A. Vassiliadis, and H. C. Zweng, "Eye," *Arch. Environ. Health*, vol. 20, pp. 197–199, 1970.

[144] H. M. Leibowitz and A. J. Luzzio, "Laser-induced cataract," *Arch. Ophthalmol.*, vol. 83, pp. 608–612, 1970.

[145] D. H. Sliney and W. A. Palmisano, "The evaluation of laser hazard," *Amer. Ind. Hyg. Ass. J.*, vol. 29, pp. 425–431, 1968.

[146] *Message from the President of the United States Transmitting the Annual Report on the Administration of the Radiation Control for Health and Safety Act of 1968 (Public Law 90-602), Covering 1970* (presented at 92nd Congress, 1st Session), House Doc. 92-113. Washington, D. C.: U. S. Govt. Printing Office, May 20, 1971.

[147] "Control of hazards to health from laser radiation," U. S. Departments of the Army and the Navy, Tech. Rep. TB MED 279/NAVMED P-5052-35, Feb. 24, 1969.

[148] *A Guide for Uniform Industrial Hygiene Codes or Regulations for Laser Installations.* Amer. Conf. of Governmental Industrial Hygienists, Cincinnati, Ohio, 1968.

[149] L. R. Setter, D. R. Snavely, D. L. Solem, and R. F. VanWye, "Regulations, standards and guides for microwaves, ultra-violet radiation, and radiation from lasers and television receivers—An annotated bibliography," USDHEW, Publ. 999-RH-35, Apr. 1969, pp. 1–77.

[150] *International Laser Safety Conference and Workshops.* Univ. of Cincinnati, Cincinnati, Ohio, 1968, 1969.

[151] H. P. Schwan and K. Li, "Capacity and conductivity of body tissues at ultrahigh frequencies," *1953 IRE Nat. Conv. Rec.*, pt. 9, pp. 121–128; *Proc. IRE*, vol. 41, pp. 1735–1740, Dec. 1953.

[152] ——, "Hazards due to total body irradiation by radar," *Proc. IRE*, vol. 44, pp. 1572–1581, Nov. 1956.

[153] E. Hendler, "Cutaneous receptor response to microwave irradiation," in *Thermal Problems in Aerospace Medicine*, J. D. Hardy, Ed. Surrey, England: Unwin, 1968, pp. 149–161.

[154] H. Kalant, "Physiologic hazards of microwave radiation, survey of published literature," *Can. Med. Ass. J.*, vol. 81, pp. 575–582, 1959.

[155] A. Anne, M. Saito, O. M. Salati, and H. P. Schwan, "Relative microwave absorption cross sections of biological significance," in *Proc. 4th Ann. Tri-Service Conf. Biol. Effects of Microwave Radiating Equipments; Biological Effects of Microwave Radiations*, M. F. Peyton, Ed. New York: Plenum, 1961; Tech. Rep. RADC-TR-60-180, pp. 153–176.

[156] A. W. Guy and J. F. Lehmann, "On the determination of an optimum microwave diathermy frequency for a direct contact applicator," *IEEE Trans. Biomed, Eng.*, vol. BME-13, pp. 76–87, Apr. 1966.

[157] A. W. Guy, J. F. Lehmann, J. A. McDougall, and C. C. Sorensen, "Studies on therapeutic heating by electromagnetic energy," in *Thermal Problems in Biotechnology.* New York: Amer. Soc. of Mech. Eng., 1968, pp. 26–45.

[158] A. W. Guy, "Analyses of electromagnetic fields induced in biological tissues by thermographic studies on equivalent phantom models," *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol. MTT-19, pp. 205–214, Feb. 1971.

[159] ——, "Electromagnetic fields and relative heating patterns due to a rectangular aperture source in direct contact with bilayered biological tissue," *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol. MTT-19, pp. 214–223, Feb. 1971.

[160] J. F. Lehmann, "Diathermy," in *Handbook of Physical Medicine and Rehabilitation*, F. H. Krusen, F. J. Kottke, and P. Ellwood, Eds. Philadelphia, Pa.; Saunders, 1965, pp. 244–327 .

[161] J. F. Lehmann, A. W. Guy, V. C. Johnston, G. D. Brunner, and J. W. Bell, "Comparison of relative heating patterns produced in tissues by exposure to microwave energy at frequencies of 2450 and 900 megacycles," *Arch. Phys. Med.*, vol. 43, pp. 69–76, Feb. 1962.

[162] J. F. Lehmann, V. C. Johnston, J. A. McMillan, D. R. Silverman, G. D. Brunner, and L. A. Rathbun, "Comparison of deep heating by microwaves at frequencies of 2456 and 900 megacycles," *Arch. Phys. Med.*, vol. 46, pp. 307–314, Apr. 1965.

[163] J. F. Lehmann, J. A. McMillan, G. D. Brunner, and A. W. Guy, "A comparative evaluation of temperature distributions produced by microwaves at 2456 and 900 megacycles in geometrically complex specimens," *Arch. Phys. Med.*, vol. 43, pp. 502–507, Oct. 1962.

[164] J. F. Lehmann, J. A. McMillan, G. D. Brunner, and V. C. Johnston, "Heating patterns produced in specimens by microwaves of the frequency of 2456 megacycles when applied with the "A," "B," and "C" directors," *Arch. Phys. Med. Rehab.*, vol. 43, pp. 538–546, 1962.

[165] J. F. Lehmann, J. A. McMillan, G. D. Brunner, D. R. Silverman, and V. C. Johnston, "Modification of heating patterns produced by microwaves at the frequencies of 2456 and 900 mc. by physiologic factors in the human," *Arch. Phys. Med.*, vol. 45, pp. 555–563, Nov. 1964.

[166] J. F. Lehmann, D. R. Silverman, B. A. Baum, N. L. Kirk, and V. C. Johnston, "Temperature distributions in the human thigh, produced by infrared, hot pack and microwave applications," *Arch. Phys. Med. Rehab.*, vol. 47, pp. 291–299, May 1966.

[167] E. Kresch, L. D. Sher, and H. P. Schwan, "Transient behavior of pearl-chain formation with implications for exposure of man to pulsed, electromagnetic radiation," *Fed. Proc.*, vol. 29, p. 953, 1970.

[168] M. Saito and H. P. Schwan, "The time constants of pearl-chain formation," in *Biological Effects of Microwave Radiation*, M. F. Peyton, Ed. New York: Plenum, 1961, pp. 85–97.
[169] M. Saito, H. P. Schwan, and G. Schwarz, "Response of nonspherical biological particles to alternating electric fields," *Biophys. J.*, vol. 6, pp. 313–327, 1966.
[170] H. P. Schwan, "Electrical properties of tissue and cell suspension," *Advances in Biological and Medical Physics*, vol. 5, J. H. Lawrence and C. A. Tobias, Eds. New York: Academic Press, 1957, pp. 147–209.
[171] ——, "Characteristics of absorption and energy transfer of microwaves and ultrasound in tissues," in *Medical Physics*, vol. 3, O. Glasser, Ed. Chicago, Ill.: Yearbook Medical Publ., 1960, pp. 1–7.
[172] ——, "Biophysics of diathermy," in *Therapeutic Heat and Cold*, 2nd ed., S. H. Licht, Ed. New Haven, Conn.: Elizabeth Licht, 1965, pp. 63–126.
[173] ——, "Radiation biology, medical applications and radiation hazards," in *Microwave Power Engineering*, vol. 2, E. C. Okress, Ed. New York: Academic Press, 1968, pp. 213–244.
[174] ——, "Interaction of microwave and radiofrequency radiation with biological systems," in *Biological Effects and Health Implications of Microwave Radiation, Symp. Proc.*, USDHEW, Rep. PHS, BRH, DBE-70-2, June 1970, pp. 13–20.
[175] ——, "Interaction of microwave and radio frequency radiation with biological systems," *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol. MTT-19, pp. 146–152, Feb. 1971.
[176] H. P. Schwan and K. Li, "Variations between measured and biologically effective microwave diathermy dosage," *Arch. Phys. Med. Rehab.*, vol. 36, pp. 363–370, June 1955.
[177] ——, "The mechanism of absorption of ultrahigh frequency electromagnetic energy in tissues, as related to the problem of tolerance dosage," *IRE Trans. Med. Electron.*, vol. 4, pp. 45–49, 1956.
[178] H. P. Schwan and G. M. Piersol, "The absorption of electromagnetic energy in body tissues, a review and critical analysis, part I. Biophysical aspects," *Amer. J. Phys. Med.*, vol. 33, pp. 371–404, 1954.
[179] ——, "The absorption of electromagnetic energy in body tissues, a review and critical analysis, part II. Physiological and clinical aspects," *Amer. J. Phys. Med.*, vol. 34, pp. 425–448, 1955.
[180] M. Saito, L. D. Sher, and H. P. Schwan, "RF field-induced-forces on microscopic particles," in *Dig. 4th Int. Conf. Med. Electron.*, p. 154, 1961.
[181] H. P. Schwan and L. D. Sher, "Alternating-current field-induced forces and their biological implications," *J. Electrochem. Soc.*, vol. 116, pp. 220–260, 1969.
[182] G. Schwarz, M. Saito, and H. P. Schwan, "On the orientation of nonspherical particles in an alternating electrical field," *J. Chem. Phys.*, vol. 43, pp. 3562–3569, 1965.
[183] L. D. Sher, "Interaction of microwave and RF energy on biological material," in *Electronic Product Radiation and the Health Physicist*. Tech. Rep. USDHEW, PHS, BRH, DBE 70-26, pp. 431–462. Oct. 1970.
[184] L. D. Sher and H. P. Schwan, "Mechanical effects of ac fields on particles dispersed in a liquid, biological implications," Ph.D. dissertation, Univ. of Pennsylvania, under Contract AF30(602). ONR Tech. Rep. dissertation, 37, 1963.
[185] J. H. Vogelman, "Physical characteristics of microwaves as related to biological effects," in *Proc. 2nd Ann. Tri-Service Conf. on Biological Effects of Microwave Energy*. Springfield, Va.: Clearing House, Dep. of Commerce, ASTIA Doc. AD 131477, 1958, pp. 9–18.
[186] ——, "Physical characteristics of microwave and other radio frequency radiation," in *Biological Effects and Health Implications of Microwave Radiation, Symposium Proceedings*. USDHEW, Rep. PHS, BRH, DBE 70-2, June 1970, pp. 7–12.
[187] *Hearings before the Subcommittee on Public Health and Welfare of the Committee on Interstate and Foreign Commerce, House of Representatives, Ninetieth Congress, First Session on H.R. 10790.* Presented on Aug. 14; Sept. 28; Oct. 5, 11, and 17, 1967.
[188] R. L. Carpenter and V. A. Clark, "Responses to radio-frequency radiation," in *Environmental Biology*, P. L. Altman and D. S. Dittmer, Eds. Bethesda, Md., 1966, Table 31, pp. 131–138.
[189] *Biological Effects of Electromagnetic Radiation—A Bibliography*. Walter Reed Army Inst. of Research, Walter Reed Army Med. Ctr., Washington, D. C., 1971.
[190] *Biological Effects and Health Implications of Microwave Radiation, Symp. Proc.*, USDHEW, Rep. PHS, BRH, DBE 70-2, June 1970.

[191] *Electronic Product Radiation and the Health Physicist.* USDHEW, Rep. PHS, BRH, DEP 70-26, Oct. 1970.

[192] F. H. Krusen, Ed., *Handbook of Physical Medicine and Rehabilitation.* Philadelphia, Pa.: Saunders, 1965.

[193] S. H. Licht, Ed., *Therapeutic Heat and Cold*, 2nd ed. New Haven, Conn.: Elizabeth Licht, 1965.

[194] S. M. Michaelson, "The tri-service program—A tribute to George M. Knauf, USAF (MC)," *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol. MTT-19, pp. 131–146, Feb. 1971.

[195] S. M. Michaelson, R. A. E. Thomson, and J. Howland, "Biologic effects of microwave exposure," Griffiss AFB, New York, Rome Air Development Ctr., ASTIA Doc. AD 824-242, 1967, pp. 1–138; *Radiation Control for Health and Safety Act of 1967*, presented at Hearings before the Committee on Commerce United States Senate, Ninetieth Congress, Second Session on S. 2067, S. 3211, and H.R. 10790, 1958, pp. 1443–1570.

[196] E. G. Pattishall, Ed., *Proc. Tri-Service Conf. Biological Hazards of Microwave Radiation.* George Washington Univ., Washington, D. C., ASTIA Doc. AD 11-5603, 1957.

[197] E. G. Pattishall and F. W. Bangham, Eds., *Proc. 2nd Ann. Tri-Service Conf. Biological Effects of Microwave Energy*, ASTIA Doc. AD 131-477, 1958.

[198] M. F. Peyton, Ed., *Proc. 4th Ann. Tri-Service Conf. Biological Effects of Microwave Radiating Equipments: Biological Effects of Microwave Radiations.* New York: Plenum, 1961.

[199] C. Susskind, Ed., *Proc. 3rd Ann. Tri-Service Conf. Biological Hazards of Microwave Radiating Equipments.* Univ. of California, Berkeley, 1959.

[200] S. F. Cleary, "Biological effects of microwave and radiofrequency radiation," *CRC Crit. Rev. Environ. Contr.*, pp. 257–306, June 1970.

[201] S. M. Michaelson, "Biomedical aspects of microwave exposure," *Amer. Ind. Hyg. Ass. J.*, vol. 32, pp. 338–345, 1971.

[202] W. C. Milroy and S. M. Michaelson, "Biological effects of microwave radiation," *Health Phys.*, vol. 20, pp. 567–575, 1971.

[203] E. M. Roth, "Microwave radiation," in *Compendium of Human Responses to the Aerospace Environment*, E. M. Roth, Ed., vol. 1, sec. 1, 1968, NASA Rep. CR-1205(1).

[204] *Radiation Bio-Effects Summary Report.* USDHEW, Rep. PHS, BHR, DBE 70-1, Jan.–Dec. 1969.

[205] *Radiation Bio-Effects Summary Report.* USDHEW, Rep. PHS, BRH, DBE 70-7, Jan.–Dec. 1970, Dec. 1970.

[206] S. M. Michaelson and C. H. Dodge, "Soviet views on the biological effects of microwaves—An analysis," *Health Phys.*, vol. 21, pp. 108–111, 1971.

[207] A. H. Frey, "Human auditory system response to modulated electromagnetic energy," *J. Appl. Physiol.*, vol. 17, pp. 689–692, 1962.

[208] ——, "Brain stem evoked responses associated with low intensity pulsed UHF energy," *J. Appl. Physiol.*, vol. 23, pp. 505–512, 1968.

[209] ——, "Pulse modulated UHF energy illumination of the heart associated with change in heart rate," *Life Sci.*, pt. II, pp. 505–512, 1968.

[210] ——, "Biological function as influenced by low-power modulated RF energy," *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol. MTT-19, pp. 153–164, Feb. 1971.

[211] C. A. Terzuolo and T. H. Bullock, "Measurement of imposed voltage gradient adequate to modulate neuronal firing," *Proc. Nat. Acad. Sci.*, vol. 12, pp. 687–693, 1956.

[212] H. C. Sommer and H. E. von Gierke, "Hearing sensations in electrical fields," *Aerosp. Med.*, vol. 35, pp. 834–839, 1964.

[213] J. Vogelman, cited in S. M. Michaelson, R. A. E. Thomson, and J. W. Howland, "Biological effects of microwave exposure," AFSC, Griffiss AFB, New York, Tech. Rep. RADC-TR-67-461, p. 86, 1967.

[214] C. H. Dodge and S. Kassel, "Soviet research on the neural effects of microwaves," ATD Rep. 66-133, Lib. Cong., Washington, D. C., 1966.

[215] A. S. Presman, "The effect of microwaves on living organisms and biological structures," *Usp. Fiz. Nauk*, vol. 86, pp. 263–302, 1965, Joint Publications Research Service (JPRS 33054), Washington, D. C.

[216] ——, *Electromagnetic Fields and Life.* Moscow, USSR: Nauka, 1968; New York: Plenum, 1970.

[217] J. J. Turner, *The Effects of Radar on the Human Body; Results of Russian Studies on the Subject* (summary based on A. A. Letavet

and Z. V. Gordon, Eds., *The Biological Action of Ultra-High Frequencies*. JPRS-12471, Washington, D.C., Feb. 1962), 1962.

[218] C. H. Dodge, "Clinical and hygienic aspects of exposure to electromagnetic fields," in *Biological Effects and Health Implications of Microwave Radiation, Symp. Proc.*, S. F. Cleary, Ed. USDHEW, Rep. PHS, BRH, DBE 70-2, June 1970, pp. 140–149; "Biological and medical aspects of microwaves," *Foreign Sci. Bull.*, vol. 1, pp. 7–19, 1965, Library of Congress, Washington, D. C.; "The influence of microwaves on the functional condition of the nerve," *Foreign Sci. Bull.*, vol. 1, pp. 33–38, 1965; *Biological Effects of Microwaves—Compilation of Abstracts*. ATD Rep. P-65-68, Lib. Cong., Washington, D. C., 1965.

[219] Z. V. Gordon, "The problem of the biological action of UHF," in *The Biological Action of Ultra-High Frequencies*, A. A. Letavet and Z. V. Gordon, Eds. Moscow, USSR: Acad. Med. Sci., 1960, pp. 18–21 (JPRS 12471, Washington, D.C.).

[220] M. S. Tolgskaya and Z. V. Gordon, "Changes in the receptor and interoreceptor apparatuses under the influence of UHF," in *The Biological Action of Ultra-High Frequencies*. A. A. Letavet and Z. V. Gordon, Eds. Moscow, USSR: Acad. Med. Sci., 1960, pp. 104–108 (JPRS 12471, Washington, D.C.).

[221] Yu. A. Osipov, "The health of workers exposed to radio-frequency radiation," *Gigiyenna Truda i Vliyaniye Na Rabotayuschikh Elektro-Magnitnykh Poley Radiochastot* (Occupational Hygiene and the Effect of Radio-Frequency Electromagnetic Fields on Workers). Leningrad, USSR: Meditsina, 1965, pp. 104–144; ATD Rep. 66-133, Lib. Cong., Washington, D. C.

[222] N. N. Livshits, "Conditioned reflex activity in dogs under local influence of a VHF field upon certain zones of the cerebral cortex," *Biophysics* (USSR), vol. 2, pp. 197–208, 1957.

[223] ——, "On the causes of the disagreements in evaluating the radiosensitivity of the central nervous system among researchers using conditioned reflex and maze methods," *Radiobiology*, vol. 7, pp. 238–261, 1967 (Rep. AEC-TR-6954).

[224] S. F. Gorodetskaia, "The effect of centimeter radio waves on mouse fertility," *Fiziol. Zh.*, vol. 9, pp. 394–395, 1963 (JPRS 21200, Washington, D.C.).

[225] ——, "The influence of an SHF electromagnetic field on the reproduction, composition of peripheral blood, conditioned reflex activity, and morphology of the internal organs of white mice," in *Biological Action of Ultrasound and Super-High Frequency Electromagnetic Oscillations*, A. A. Gorodetskiy, Ed. Kiev, USSR: Acad. of Sci., 1964, pp. 80–91 (JPRS 30860, Washington, D. C.).

[226] A. A. Kevork'yan, "Working with ultrahigh frequency impulse generators from the standpoint of labor hygiene," *Gig. Sanit.*, vol. 4, pp. 26–30, 1948 (ATD Rep. P-65-68, Libr. Cong., Washington, D.C.).

[227] N. A. Levitina, "Effect of microwaves on cardiac rhythm of rabbits during local irradiation of body areas," *Bull. Exp. Biol. Med.* (USSR), vol. 58, pp. 67–69, 1964 (ATD Rep. P-65-68, Libr. Cong., Washington, D.C.).

[228] Ye. A. Lobanova, "Survival and development of animals in various r-f fields," *Tr. Nii Gigiyena Truda i Profzaboleaniy* (USSR), vol. 1, pp. 61–64, 1960.

[229] L. Minecki, "The health of persons exposed to the effect of high frequency electromagnetic fields," *Medycyna Pracy* (Poland), vol. 12, pp. 329–335, 1961 (FTD-TT-61-380).

[230] A. S. Presman and N. Levitina, "The non-thermal effect of microwaves on the systolic rhythm of animals: Report I. The effect of non-pulsed microwaves," *Byull. Eksp. Biol. Medit.*, vol. 53, pp. 41–44, 1962.

[231] ——, "The nonthermal effect of microwaves on the rhythm of cardiac contractions in animals. Report II. Investigations of the effect of pulsed microwaves," *Byull. Eksp. Biol. Medit.*, vol. 53, pp. 39–43, 1962.

[232] A. S. Presman, Yu. I. Kamenskiy, and N. A. Levitina, "The biologic effect of microwaves," *Usp. Soverm. Biol.* (USSR), vol. 51, pp. 82–103, 1961 (ATD Rep. P-85-68, Libr. Cong., Washington, D.C.).

[233] A. A. Sadchikova and A. A. Orlova, "Clinical picture of the chronic effects of electromagnetic waves," *Ind. Hyg. Occup. Dis.* (USSR), vol. 2, pp. 16–22, 1958.

[234] A. G. Subbota, "Changes in respiration, pulse rate and general blood pressure during irradiation of animals with UHF field," *Tr. Voenno. Med. Akad.* (USSR), vol. 73, pp. 35–37, 1957.

[235] N. V. Tyagin, "Changes in the blood of animals subjected to UHF field," *Tr. Voenno. Med. Akad.* (USSR), vol. 73, pp. 116–126, 1957.

[236] D. A. Vavala, "Soviet research on the pathophysiology of ultra-high frequency electromagnetic fields," Aerospace Med. Div., Air Force Systems Command, Brooks, AFB, Texas, Rep. AMD-CR-01-03-68, May 15, 1968.

[237] R. D. McAfee, "Neurophysiological effect of 3-cm microwave radiation," *Amer. J. Physiol.*, vol. 200, pp. 192–194, 1951.

[238] ——, "Physiological effects of thermode and microwave stimulation of peripheral nerves," *Amer. J. Physiol.*, vol. 203, pp. 374–378, 1962.

[239] ——, "The neural and hormonal response to microwave stimulation of peripheral nerves," in *Biological Effects and Health Implications of Microwave Radiation, Symp. Proc.*, S. F. Cleary, Ed., pp. 150–153, 1970.

[240] B. D. McLees and E. D. Finch, "Analysis of the physiologic effects of microwave radiation," Naval Med. Res. Inst., Nat. Naval Med. Ctr., Bethesda, Md., Proj. MF12.524.015-0001B, Rep. 3, June 23, 1971.

[241] J. F. Herrick and F. H. Krusen, "Certain physiologic and pathologic effects of microwaves," *Elec. Eng.*, vol. 72, pp. 239–244, 1953.

[242] H. F. Cook, "A physical investigation of heat production in human tissues when exposed to microwaves," *Brit. J. Appl. Phys.* vol. 3, pp. 1–6, 1952.

[243] V. E. Rose, G. A. Gellin, C. H. Powell, and H. G. Bourne, "Evaluation and control of exposures in repairing microwave ovens," *Amer. Ind. Hyg. Ass. J.*, vol. 30, pp. 137–142, 1969; "Ergonomics and physical environmental factors," in *Occupational Safety and Health Series 21.* Geneva, Switzerland: Int. Labor Office, 1970.

[244] M. M. Zaret, S. Cleary, B. Pasternack, and M. Eisenbud, "Occurrence of lenticular imperfections in the eys of microwave workers and their association with environmental factors," New York Univ., New York, Progress Rep. under Contract AF 30(602) 2215, Tech. Note RADC-TN-61-266, 1961; ASTIA Doc. AD 266 831.

[245] M. M. Zaret, S. Cleary, B. Pasternack, M. Eisenbud, and H. Schmidt, "A study of lenticular imperfections in the eyes of a sample of microwave workers and a control population," New York Univ., Final Rep., RADC-TDR-63-125, 1963; ASTIA Doc. AD 413 294.

[246] M. M. Zaret and M. Eisenbud, "Preliminary results of studies of the lenticular effects of microwaves among exposed personnel," in *Proc. 4th Ann. Tri-Service Conf. Biological Effects of Microwave Radiating Equipments: Biological Effects of Microwave Radiations*, M. F. Peyton, ed. New York: Plenum, Tech. Rep. RADC-TR-60-180, 1961, pp. 293–308.

[247] C. I. Barron and A. A. Baraff, "Medical considerations of exposure to microwaves (radar)," *J. Amer. Med. Ass.*, vol. 168, pp. 1194–1199, 1958.

[248] J. T. McLaughlin, "Tissue destruction and death from microwave radiation (radar)," *Calif. Med.*, vol. 86, pp. 336–339, 1957.

[249] G. M. Knauf, "The biological effects of microwave radiation on Air Force personnel," *Arch. Ind. Health*, vol. 17, pp. 48–52, 1958.

[250] T. S. Ely, "Microwave death, letter to the editor," *J. Amer. Med. Ass.*, vol. 217, p. 1394, 1971.

[251] R. L. Carpenter, "Experimental radiation cataracts induced by microwave irradiation," in *Proc. 2nd Ann. Tri-Service Conf. Biological Effects of Microwave Energy;* ASTIA Doc. AD 131-477, 1958, pp. 146–166.

[252] ——, "Studies on the effects of 2450 Mc radiation on the eye of the rabbit," in *Proc. 3rd Ann. Tri-Service Conf. Biological Hazards of Microwave Radiating Equipments* (Univ. of California, Berkeley), Tech. Rep. RADC-TR-59-140, pp. 279–290, 1959.

[253] ——, *An Experimental Study of the Biological Effects of Microwave Radiation in Relation to the Eye*, Tech. Rep. RADC-TDR-62-131, 1962.

[254] ——, "Experimental microwave cataract: A review," in *Biological Effects and Health Implications of Microwave Radiation, Symp. Proc.*, S. F. Cleary, Ed. USDHEW, Rep. PHS, BRH, DBE 70-2, June 1970, pp. 76–81.

[255] R. L. Carpenter, D. K. Biddle, and C. A. Van Ummersen, "Opacities in the lens of the eye experimentally induced by exposure to microwave radiation," *IRE Trans. Med. Electron.*, vol. ME-7, pp. 152–157, 1960.

[256] ——, "Biological effects of microwave radiation with particular reference to the eye," in *Proc. 3rd Int. Conf. on Med. Elect.* (London, England), pp. 401–408, 1960.

[257] R. L. Carpenter and C. A. Van Ummersen, "The action of microwave radiation on the eye," *J. Microwave Power*, vol. 3, pp. 3–19, 1968.

[258] H. D. Baillie, "Thermal and nonthermal cataractogenesis by microwaves," in *Biological Effects and Health Implications of Microwave Radiation, Symp. Proc.* USDHEW, Rep. PHS, BRH, DBE 70-2, June 1970, pp. 59–65; *Non-Ionizing Radiation*, vol. 1, pp. 159–163, 1970.

[259] H. D. Baillie, A. G. Heaton, and D. K. Pal, "The dissipation of microwaves as heat in the eye," in *Biological Effects and Health Implications of Microwave Radiation, Symp. Proc.* USDHEW, Rep. PHS, BRH, DBE 70-2, June 1970, pp. 85–89; *Non-Ionizing Radiation*, vol. 1, pp. 164–168, 1970.

[260] L. J. Fisher, "Peak versus average power in microwave induction of lenticular cataracts," Ph.D. dissertation, Tufts Univ., Medford, Mass., 1969.

[261] M. Zaret, "Comments on paper by Carpenter, R. L. (1959)—Studies on the effects of 2450 megacycle radiation on the eye of the rabbit," in *Proc. 3rd Ann. Tri-Service Conf. Biological Effects of Microwave Energy*, Tech. Rep. RADC-TR-59-140, pp. 334–335, 1959.

[262] H. A. Blair, "The constancy of repair rate and of irreparability during protracted exposure to ionizing radiation," *Ann. N. Y. Acad. Sci.*, vol. 114, pp. 150–157, 1964.

[263] E. Hendler, J. D. Hardy, and D. Murgatroyd, "Skin heating and temperature sensation produced by infra-red and microwave irradiation," in *Temperature Measurement and Control in Science and Industry*. Part 3 (*Biology and Medicine*, J. D. Hardy, Ed. New York: Rheinhold, 1963, pp. 221–230.

[264] H. P. Schwan, A. Anne, and L. Sher, "Heating of living tissues," U.S. Naval Air Engineering Ctr., Philadelphia, Pa., Rep. NAEC-ACEL-534, 1966.

[265] A. J. H. Vendrik and J. J. Vos, "Comparison of the stimulation of warmth sense organ by microwave and infrared," *J. Appl. Physiol.*, vol. 13, pp. 435–444, 1958.

[266] E. Eijkman and A. J. H. Vendrik, "Dynamic behavior of the warmth sense organ," *J. Exp. Psychol.*, vol. 62, pp. 403–408, 1961.

[267] J. D. Hardy, private communication.

[268] H. P. Schwan, private communication.

[269] *Control of Hazards to Health from Microwave Radiation*, U. S. Departments of the Army and the Air Force, Rep. TB MED 270/AFM 161-7, Dec. 1965.

[270] *Safety Level of Electromagnetic Radiation with Respect to Personnel.* United States of America Standards Inst. (USASI), Rep. USASI-C 95.1, 1966.

[271] *Federal Register. Occupational Safety and Health Standards; National Consensus Standards and Established Federal Standards*, Part II, U. S. Dep. of Labor, Occupational Safety and Health Admin., May 29, 1971, p. 10522.

[272] W. W. Mumford, "Heat stress due to RF radiation," *Proc. IEEE*, vol. 57, pp. 171–178, 1969; also in *Biological Effects and Health Implications of Microwave Radiation, Symp. Proc.* USDHEW, Rep. PHS, BRH, DBE, 70-2, June 1970, pp. 21–34.

[273] H. S. Seth and S. M. Michaelson, "Microwave hazards evaluation," *Aerospace Med.*, vol. 35, pp. 734–739, 1964; *Hearings before the Subcommittee on Public Health and Welfare of the Committee on Interstate and Foreign Commerce, House of Representatives, Ninetieth Congress, First Session on H.R. 10790.* Presented on Aug. 14; Sept. 28; Oct. 5, 11, and 17, 1967, pp. 454–460.

[274] M. R. Reynolds, "Development of a garment for protection of personnel working in high power RF environments," in *Biological Effects of Microwave Radiation*, vol. 1, M. F. Peyton, Ed. New York: Plenum, 1961, pp. 71–84.

[275] U. H. Behling, "Biological effects of radio- and low-frequency electromagnetic radiation," USDHEW, Rep. PHS, BRH, pp. 1–7, Apr. 1969.

[276] A. R. Kall, *Final Technical Report on Research Project to Study Radiation Hazards caused by High Power High Frequency Fields.* United States Information Agency, Contract IA-11651, 1968.

[277] J. N. Bollinger, "Detection and evaluation of radiofrequency electromagnetic radiation-induced biological damage in *Macaca Mulatta*," Southwest Research Inst., San Antonio, Tex., Final Rep. under Contract F41609-70-C-0025, SWRI 05-2808-01, Feb. 1971.

[278] S. A. Bach, "Biological sensitivity to radio-frequency and microwave energy," *Fed. Proc.*, vol. 24, suppl. 14, pp. 22–26, 1965.

[279] S. A. Bach, A. J. Luzzio, and A. S. Brownell, "Effects of radio-frequency energy on human gamma globulin," in *Biological Effects of Microwave Radiation*, M. F. Peyton, Ed. New York: Plenum, 1961, pp. 117–133.

[280] S. M. Michaelson, "Biological effects of microwave exposure," in *Biological Effects and Health Implications of Microwave Radiation, Symp. Proc.* USDHEW, Rep. PHS, BRH, DBE 70-2, June 1970, pp. 35–58; *Non-Ionizing Radiation*, vol. 1, pp. 169–176, 1970.

[281] H. M. Hoffart, "EMC and radiation hazards," *Electro-Technol.*, vol. 82, pp. 52–54, 1968.

[282] H. P. Schwan, "Alternating current spectroscopy of biological substances," *Proc. IRE*, vol. 47, pp. 1841–1855, Nov. 1959.

[283] A. A. Teixeira-Pinto, L. L. Nejelski, J. L. Cutler, and J. H. Heller, "The behavior of unicellular organisms in an electromagnetic field," *Exp. Cell Res.*, vol. 20, pp. 548–564, 1960.

[284] F. A. Brown, "Response to pervasive geophysical factors and the biological clock problem," *Symposia Quant. Biol.*, vol. 25, pp. 57–71, 1960.

[285] F. A. Brown, Jr., "Extrinsic rhythmicality: A reference frame for biological rhythms under so-called constant conditions," *Ann. N. Y. Acad. Sci.*, vol. 98, pp. 775–787, 1962.

[286] S. Takashima, "Studies on the effect of radio-frequency waves on biological macromolecules," *IEEE Trans. Biomed. Eng.*, vol. BME-13, pp. 28–31, Jan. 1966.

[287] J. R. Merriman, H. J. Holmquest, and S. L. Osborne, "A new method of producing heat in tissues: The inductotherm," *Amer. J. Med. Sci.*, vol. 187, pp. 677–683, 1934.

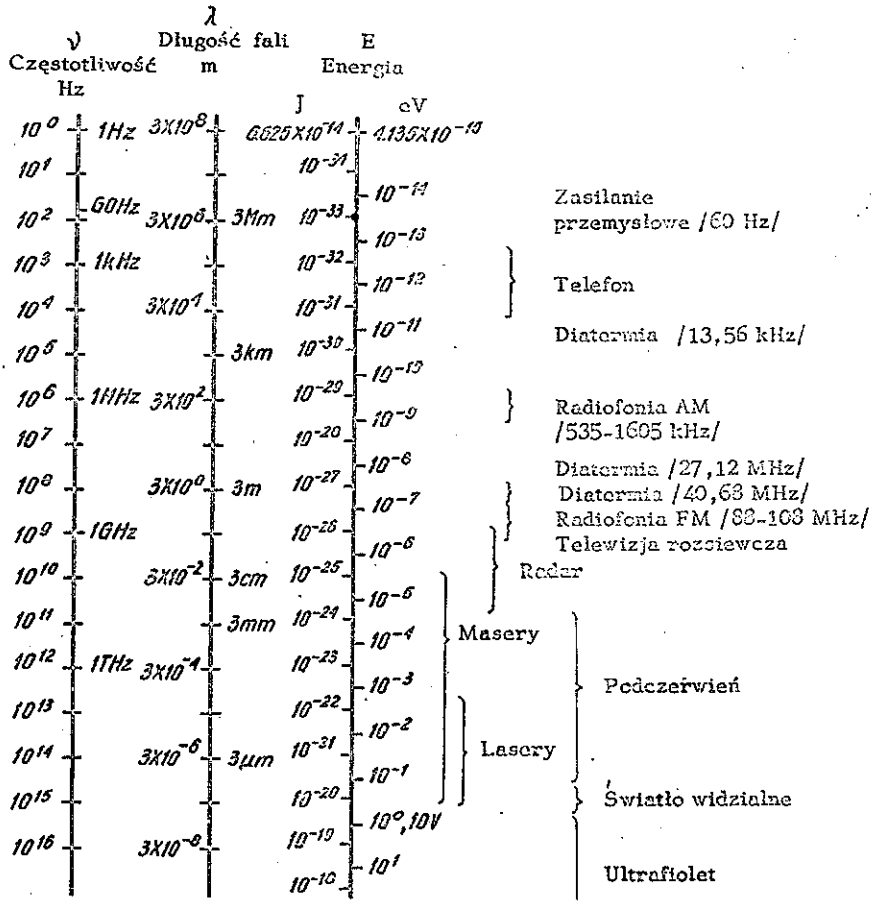
[288] J. W. Scherescherwsky, "Heating effect of very high frequency condenser field on organic fluids and tissues," *Public Health Reports*, vol. 48, pp. 844–858, 1933.

[289] J. E. Nyrop, "A specific effect of high-frequency electric currents on biological objects," *Nature*, vol. 157, p. 51, 1946.

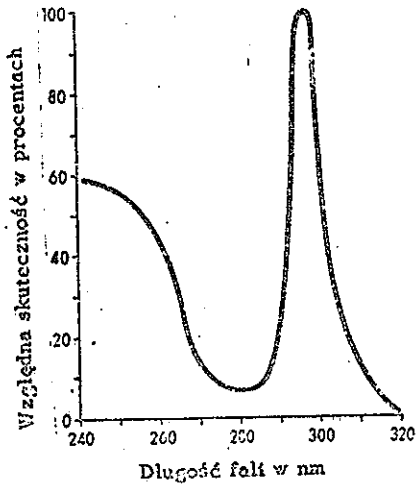
[290] J. H. Heller and A. A. Teixeira-Pinto, "A new physical method of creating chromosomal aberrations," *Nature*, vol. 183, pp. 905–906, 1959.

[291] S. J. Rogers and R. S. King, "Radio hazards in the m.f./h.f. band," *Non-Ionizing Radiation*, vol. 1, pp. 178–189, 1970.

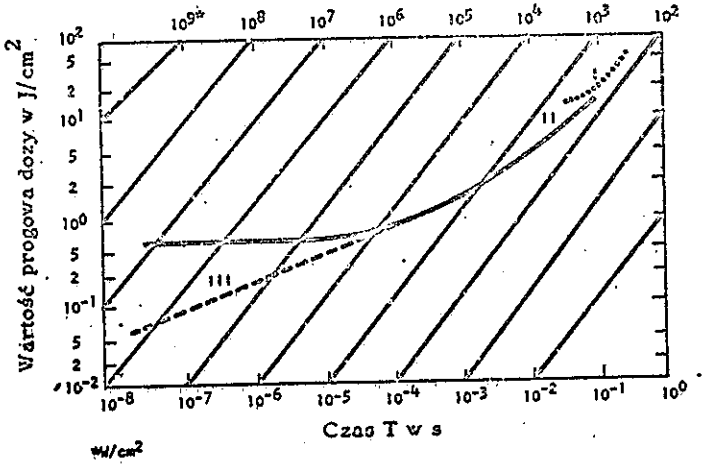
[292] H. P. Schwan, "Microwave radiation: biophysical considerations and standards criteria," to be published in *IEEE Trans. Biomed. Eng.*, vol. BME-19, May 1972.



Rys. 1. Nie jonizujące promieniowanie elektromagnetyczne



Rys. 2. Standardowa krzywa rumienia



Rys. 3. Maksymalna doza Q /w dżulach na centymetr kwadratowy/ powodująca zapalenie siatkówki oka, w funkcji czasu naświetlania, dla różnych średnic powierzchni naświetlania soczewki: I - 240 μm, II - 700 μm, III - 1000 μm