

WIESŁAW NOWAKOWSKI

Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego — Akademia Rolnicza w Warszawie

O BIOENERGETYCE PROMIENIOWANIA ELEKTROMAGNETYCZNEGO W OCHRONIE ŚRODOWISKA PRZYRODNICZEGO

Istnienie życia oraz jego ciągłość jest funkcją promieniowania jonizującego oraz elektromagnetycznego niejonizującego. Według Profesora Wł. Sedlaka — twórcy elektromagnetycznej teorii życia — promieniowanie elektromagnetyczne jest najstarszą formą energii we wszechświecie i było ono podstawą powstania życia na Ziemi [17]. Ten sam autor porównuje układy żywe — zwierzęce i roślinne — do elektromagnetycznej pompy, czyli lasera małej mocy, pracującego na ograniczonym substracie półprzewodnikowym [18]. A zważywszy, że wszystkie organizmy żywe wykazują charakter półprzewodnikowy [18, 21], warunkuje to zatem ich reakcje, nawet na minimalne zmiany pola elektromagnetycznego. Wszystkie reakcje organizmów żywych, w istocie swej polegają na zmianie stanu elektrycznego z towarzyszącym efektem pola elektromagnetycznego. Stąd bardzo ważnym czynnikiem w środowisku jest promieniowanie elektromagnetyczne, które ze względu na powszechność swego występowania i oddziaływania na żywe układy, zwłaszcza w ostatnich latach staje się czynnikiem istotnym w ochronie środowiska przyrodniczego.

Promieniowanie elektromagnetyczne charakteryzuje określona długość fali, częstotliwość drgań w ciągu sek. oraz prędkość w m. sek.⁻¹ Obejmuje ono fale kilometrowe, metrowe, centymetrowe oraz bardzo krótkie, do którego należy podczerwień, światło widzialne, ultrafiolet oraz promieniowanie X i gamma (tab i rys.).

Każde ciało o temperaturze większej od zera bezwzględnej jest źródłem promieniowania elektromagnetycznego [6, 23]. Wszystkie znane źródła promieniowania elektromagnetycznego dzielimy na naturalne i sztuczne. W naszym układzie planetarnym najsilniejszym źródłem naturalnym promieniowania elektromagnetycznego jest Słońce, którego całkowita energia wynosi ok. 10^{26} wat [23]. A docierające do Ziemi widmo spektralne promieniowania Słońca, zawiera się w granicach od ok. 300 nm do 3000 nm, którego maksimum długości fali przypada na ok. 500 nm, a więc mieści się w paśmie żółtym światła widzialnego [6]. Ziemia jest również naturalnym źródłem promieniowania elektromagnetycznego, którego ener-

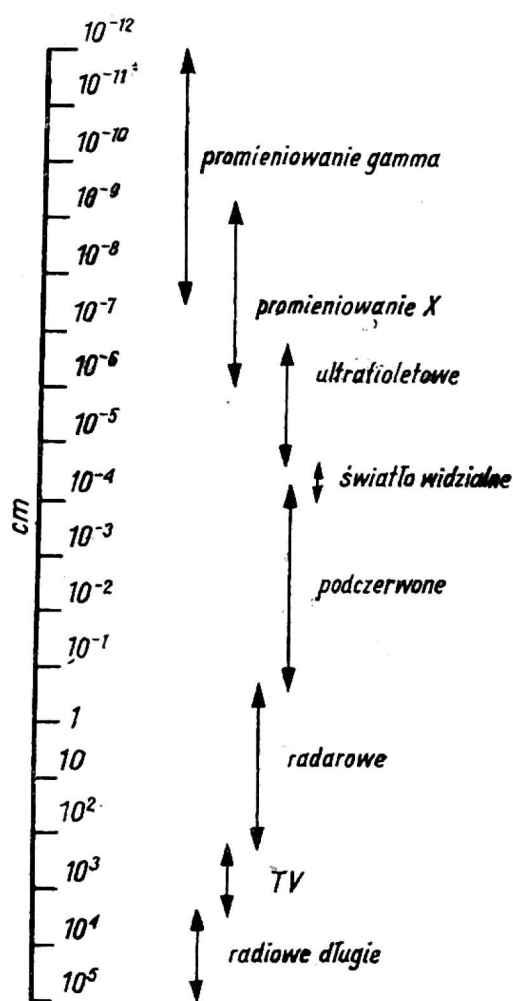
gia osiąga wartość ok. 300° K ciała czarnego, z maksimum długości fali w ok. 10000 nm, tj. w dalekiej podczerwieni.

Wielkość natężenia pola elektromagnetycznego Ziemi zmienia się w zależności od szerokości geograficznej, od pór roku, pory dnia oraz warunków klimatycznych [10, 14, 20]. W strefie umiarkowanej natężenie pola elektrycznego w atmosferze Ziemi wynosi ok. $100\text{--}130\text{ v.m}^{-1}$ w kierunku pionowym i zmniejsza się wraz z wysokością tak, że na wysokości 9 km, natężenie to wynosi kilka voltów na metr [10, 20]. Ponadto wielkość natężenia pola elektrycznego Ziemi zależy od ukształtowania powierzchni i znajdujących się na niej obiektów (drzewa, budynki), m. in. w pobliżu ośrodków przemysłowych natężenie pola elektrycznego jest o wiele wyższe, niż w otwartym terenie lub nad morzem. Przyjmuje się, że w warunkach gęstej mgły natężenie pola elektrycznego osiąga wartości

Tabela

Charakterystyka energetyczna niejonizującego promieniowania elektromagnetycznego (wg Michaelsona)

Rodzaj promieniowania	Częstotliwość	Energia fotonu w eV	Skutki absorpcji
Ultrafiolet	10^6 GHz	7—3,1	pobudzenie podwalencyjnych i walencyjnych elektronów w atomie
Widzialne	$5 \cdot 10^5$ GHz	3,1—1,5	pobudzanie elektronów walencyjnych w atomie
Bliska podczerwień	$3 \cdot 10^5\text{--}10^4$ GHz	1,5—0,04	wzrost energii kinetycznej wibracji i rotacji cząsteczek (wzrost temperatury)
Daleka podczerwień	$3 \cdot 10^4\text{--}2 \cdot 10^3$ GHz	0,04—0,008	wzrost energii kinetycznej wibracji i rotacji cząsteczek (wzrost temperatury)
Mikrofale	$10^5\text{--}300$ MHz	$4 \cdot 10^{-4}\text{--}1,2 \cdot 10^{-6}$	wzrost energii kinetycznej rotacji cząsteczek (wzrost temperatury)
Fale radiowe	300 kHz—300 MHz	$1,2 \cdot 10^{-6}\text{--}1,2 \cdot 10^{-9}$	nie znane



ok. 2000 v.m^{-1} , a podczas gwałtownych burz dochodzi nawet do 1000 v.m^{-1} . Natężenie pola elektrycznego atmosfery ziemskiej jest najniższe ranem, najwyższe pod wieczór, a w ciągu roku — jest największe w miesiącach listopad — styczeń i najniższe w miesiącach lipiec — sierpień. Obserwuje się również różnice w promieniowaniu elektromagnetycznym Ziemi w okresach ok. 11-letnich, co związane jest najprawdopodobniej z okresem wzrostu aktywności Słońca [20].

Ziemia jest planetą o konstrukcji kondensatora elektrycznego, jedną okładkę stanowi litosfera, a przestrzeń wypełnia słabo zjonizowana warstwa atmosfery [6, 20]. W przestrzeni tej krzyżują się dwukierunkowe oddziaływania, z jednej strony od słońca, a w przeciwnym kierunku od litosfery jest emitowane promienio-

wanie elektromagnetyczne. W drodze ewolucji wytworzył się układ wzajemnie uzależniony na zasadzie polowych oddziaływań [17, 19, 20]. Promieniowanie elektromagnetyczne źródeł naturalnych jest nieodzownym czynnikiem środowiska naturalnego i wywiera ono istotny wpływ na wzrost i rozwój organizmów żywych, które przystosowały się do jego występowania.

Oprócz naturalnych źródeł promieniowania elektromagnetycznego istnieje szereg sztucznych źródeł promieniowania elektromagnetycznego. Począwszy od lat dwudziestych naszego stulecia obserwuje się gwałtowny wzrost ilości urządzeń przeznaczonych do emisji promieniowania lub wytwarzających fale elektromagnetyczne jako skutek uboczny. W następstwie dalszego postępu technicznego wzrasta natężenie promieniowania elektromagnetycznego naturalnego środowiska, co napawa niepokojem z uwagi na zakłócenia dotychczasowego stopnia przystosowania organizmów żywych do naturalnego promieniowania elektromagnetycznego. Do najbardziej znanych sztucznych źródeł promieniowania elektromagnetycznego należą: nadajniki radiowe, radary, lasery, generatory urządzeń elektrycznych, prądnice, systemy nawigacyjne, telekomunikacyjne, akceleratory cząstek oraz wszelkie urządzenia elektryczne w przemyśle i gospodarstwie domowym. Dane statystyczne bilansu energii elektrycznej w świecie i w Polsce przedstawia się następująco, w mld wWh [15]:

	1960 r.	1970 r.	1974 r.
świat	2345	5000	6230
Polska	29,3	64,5	91,6

Przewiduje się, że produkcja energii elektrycznej w Polsce wyniesie w 1990 r. ponad 320 mld kWh, a w 2000 r. ok. 600 mld kWh, czyli wzrośnie do 1990 r., w porównaniu z rokiem 1970, co najmniej pięciokrotnie [13]. Światowe prognozy zużycia energii, podane przez Wilsons i Jones [23] przedstawiają się następująco:

rok	zużycie energii w świecie w 10^{12} W	wzrost temperatury środowiska w °C
1970	4,5	0,003
2000	35	0,02
2060*	2200	1,5
2100**	400	0,3

* — tzw. pesymistyczny program wg Ehrlich [5],

** — tzw. rozsądny program wg Weinberg [22].

W wyniku wzrastających potrzeb informacji obserwuje się zwykłe tendencje w elektromagnetycznym nasyceniu środowiska naturalnego. Większość mocy stacji nadawczych nie jest odbierana bezpośrednio przez organizmy żywe, ale jonosfera — czyli druga okładka kondensatora elektrycznego w wyniku emitowania fal przestraja się energetycznie. W następstwie tego modyfikuje pola elektryczne i magnetyczne ziemi oraz przestrzeń pomiędzy ziemią i jonosferą [20]. Z drugiej strony bezpośrednia ingerencja człowieka w warstwę jonosfery poprzez rakiety, sztuczne satelity, sondy meteorologiczne, środki komunikacyjne ponaddzwiękowe — czyni w niej ogromne skażenia energetyczne i chemiczne, które w istotny sposób modyfikują elektrodynamikę jonosfery [20]. W ten sposób, w jonosferze obserwuje się obniżenie zawartości ozonu, który izoluje życie na ziemi przed szkodliwym wpływem promieniowania ultrafioletowego [20]. Profesor Sedlak [20] twierdzi, że techniczny wyścig świata może okazać się wstecznym biegiem biologicznym. I jakie mogą być tego konsekwencje ekologiczne? Tym bardziej, że oddziaływanie pól elektromagnetycznych niejonizujących jest jeszcze mało poznane.

Dzięki biofizycznym właściwościom tkanek wykazujących cechy półprzewodników, organizmy żywe wykazują silną reakcję na promieniowanie elektromagnetyczne. Promieniowanie elektromagnetyczne padające na tkanki organizmów może być pochłonięte, odbite lub przepuszczone. Na ogół występują wszystkie trzy zjawiska jednocześnie z tym, że w różnych proporcjach zależnie od długości fali i od właściwości samych tkanek. Najwcześniej stwierdzonym faktem przenikania energii promieniowania elektromagnetycznego do tkanek organizmów jest jej zmiana na energię

cieplną, co może doprowadzić do wzrostu temperatury wewnętrznej ustroju. W przypadku działania bardzo dużych energii, zwłaszcza w zakresie promieniowania mikrofalowego (ponad 300 MHz) szybko dochodzi do wzrostu temperatury wewnętrznej, w wyniku czego może dojść do przegrzania ustroju i nawet do śmierci termicznej. Poruszony problem jest szczególnie ważny dla ludzi będących pod bezpośrednim i częstym wpływem promieniowania elektromagnetycznego. Przyjmuje się, że energia ok. 30 mW/cm^2 jest górną, dopuszczalną granicą promieniowania elektromagnetycznego, jaką może przyjąć organizm ludzki [10, 20].

Drugim objawem działania promieniowania elektromagnetycznego jest tzw. efekt nietermiczny [10]. Do ujawnienia efektu nietermicznego promieniowania elektromagnetycznego konieczna jest precyzyjna aparatura rejestrująca zmiany biofizyczne i biochemiczne reakcji metabolicznych, których różnice temperatur nie są wyższe od $0,1$ do $0,2^\circ\text{C}$ pod wpływem działania promieniowania elektromagnetycznego. Oddziaływanie pól elektromagnetycznych na żywy organizm jest procesem złożonym i zależy od takich czynników, jak natężenie promieniowania, częstotliwość, modulacja amplitudy, czas oddziaływania i zakres widma promieniowania.

W 1973 r. Rusjajew i Kuksinskij (16) w badaniach nad wpływem pola elektromagnetycznego na właściwości koagulacyjne i fibrynolityczne krwi stwierdzili, że promieniowanie elektromagnetyczne o częstotliwości 50—20000 Hz stosowane przez 15 min. powoduje konformacyjne zmiany hydrofobowo-hydrofilne cząsteczek białek krwi.

Grupa badaczy kanadyjskich — J. A. Tanner, J. Bigu del Blanco, C. Romero-Sierra z CNR w Ottawie, cyt. za Dorozynskim [4], w doświadczeniach nad działaniem promieniowania elektromagnetycznego na zachowanie się ptaków stwierdza, że pole elektromagnetyczne $20\text{—}40 \text{ mW/cm}^2$ o częstotliwości 16 MHz powoduje stany spazmatyczne u kurcząt. Według wymienionych badaczy, pióra ptaków spełniają rolę anten odbierających sygnały promieniowania elektromagnetycznego, które m. in. wykorzystywane jest w przelotach i wędrówkach ptaków. Przy bardzo słabym natężeniu — $1\text{—}400 \mu\text{W/cm}^2$ i częstotliwości 7 MHz, badacze kanadyjscy nie obserwowali żadnej natychmiastowej reakcji u kur, natomiast po 6 tygodniach zaobserwowali zwiększenie śmiertelności kur. Ci sami badacze stwierdzili, że promieniowanie elektromagnetyczne powoduje duże zmiany w tkance nerwowej. Kilka minut ekspozycji promieniowania elektromagnetycznego o częstotliwości 27 MHz i natężeniu 5 W/cm^2 powoduje obniżenie mieliny, substancji okrywającej fibrynę nerwową oraz wpływa na wzrost substancji kolagenowych, co powodować może kompletny paraliż organizmu.

W niektórych jednak przypadkach promieniowanie elektromagnetyczne może wywierać korzystny wpływ, co znalazło praktyczne zastosowanie

w terapii. I tak, promieniowanie elektromagnetyczne dużej częstotliwości — 30 MHz, elektrody utrzymywanej w ranie przez ok. 15 min. przyspiesza krzepnięcie krwi i w konsekwencji następuje szybsze gojenie rany. Stwierdzono ponadto, że promieniowanie elektromagnetyczne wpływa na równowagę substancji hormonalnych u ludzi i zwierząt [10].

Mimo że większość dotychczasowych wyników badań nad działaniem promieniowania elektromagnetycznego dotyczy organizmów zwierzęcych [10, 11, 16], to równocześnie stwierdza się, że rośliny także emitują promieniowanie elektromagnetyczne i silnie reagują na to promieniowanie.

W 1962 r. Masłowski i Nowakowski [8] przeprowadzili obserwacje nad wpływem promieniowania elektromagnetycznego o niskiej częstotliwości na energię i siłę kiełkowania ziarna jęczmienia i kukurydzy. Na podstawie uzyskanych wyników stwierdzono ok. 10% zwiększenie energii i siły kiełkowania badanych zbóż pod wpływem promieniowania elektromagnetycznego o częstotliwości 5 Hz i 100 v przyłożonego napięcia [8]. Natomiast promieniowanie elektromagnetyczne o częstotliwości 1000 Hz, 500 Hz i 100 Hz wykazywało ujemny wpływ na energię i siłę kiełkowania ziarna jęczmienia i kukurydzy [8].

Mikołajczyk [10] w monografii o polach elektromagnetycznych mówi, że proces kiełkowania nasion sosny może wzrosnąć nawet o 800% pod wpływem promieniowania elektromagnetycznego o częstotliwości 2450 MHz i przy dużej mocy — setek watów stosowanych w ciągu sek. do kilkudziesięciu minut. Autor ten przytacza wyniki doświadczeń, w których promieniowanie elektromagnetyczne mikrofalowe o energii 100—150 mW/cm² wpływa na obniżenie liczby podziałów komórek w korzeniach bobu. A promieniowanie elektromagnetyczne 10—100 mW/cm² i częstotliwości 10 MHz powoduje wędnięcie mimosy i bodziszka [10].

W ostatnich latach obserwuje się wzrost zainteresowania promieniowaniem elektromagnetycznym organizmów żywych, a w tym i roślinnych [1, 4]. Metodą rejestracji słabego promieniowania można dokładnie oznaczyć stopień uszkodzenia organizmu roślinnego pod wpływem czynników zewnętrznych. W tym kierunku można wykorzystać m. in. efekt Kiriliana, który polega na tym, że organizmy żywe w polu dużej częstotliwości ok. 100 MHz i 10—30000 v prądu elektrycznego, wykazują charakterystyczne rozjaśnienie pola wokół swej tkanki. Związane jest to z emisją promieniowania elektromagnetycznego, którego energię można oznaczyć za pomocą odpowiednich detektorów. W badaniach energetycznych ekologii ochrony środowiska przyrodniczego przypuszcza się, że efekt Kiriliana będzie miał duże znaczenie, co jest przedmiotem naszych zainteresowań.

Manczarski [7] podał, że biologiczny wpływ pól elektromagnetycznych realizowany jest przez elektrony niezlokalizowane występujące w mitochondriach. Według Manczarskiego pola elektromagnetyczne wpływają na

prędkości przyspieszenie dryfu niezlokalizowanych elektronów, tj. powodują szybszą lokalizację ich na orbitach energetycznych odpowiednich atomów. Na tej drodze może dojść do zaburzeń procesów utleniania i redukcji w mitochondriach oraz wtórnie do zachwiania regulacji pH wewnątrz komórki.

Konsekwencje ekologiczne oddziaływania promieniowania elektromagnetycznego w zachwianiu równowagi biodynamicznej układów biologicznych, np. populacji roślin, zwierząt i ludzi bądź ich ekosystemów w ujęciu energetycznym mogą dotyczyć następujących rozważań teoretycznych które w zmodyfikowanej formie o promieniowanie elektromagnetyczne, podaje za Demarly [3].

1. Energia promieniowania elektromagnetycznego warunkuje ewolucję organizmów żywych w kierunku ich specjalizacji. Może dowodzić tego proces fotosyntezy u roślin C-4, który wydaje się być wyższym stopniem specjalizacji w stosunku do roślin C-3.

2. Energia promieniowania elektromagnetycznego zapewnia ciągłość informacji w systemach biologicznych, co przyczynia się do zmniejszenia entropii systemów biologicznych.

3. Energia promieniowania elektromagnetycznego w każdej sytuacji biologicznej dąży do rozładowania swego ładunku według zależności:

$$I = \frac{g_i - g}{g_i}, \text{ gdzie } g \text{ — oznacza sytuację biologiczną istniejącą, } g_i \text{ — ozna}$$

cza sytuację biologiczną sprzyjającą zaistnieniu, gdzie g stale dąży do g_i , czyli do sytuacji najkorzystniejszej.

Zachwianie równowagi naturalnego promieniowania elektromagnetycznego, o małych częstotliwościach ok. 10 Hz, jest jednym z podstawowych zagadnień w ekologii środowiska. Według Profesora Wł. Sedlaka (20), postępujące szybko zachwianie elektromagnetyczne ekosystemu — to podstawowy problem współczesnej biologii. Bo trwałe i jednostronne przemiany biocenozy, czego jesteśmy świadkami, powstają w wyniku świadomej oraz częstokroć nieświadomej działalności człowieka [2, 9, 12]. I w tym względzie wydaje się, że wzrost natężenia elektromagnetycznego w środowisku przyrodniczym może wyprzedzić nawet skażenia chemiczne, tak bardzo widoczne w obecnym świecie.

LITERATURA

1. Agawiedijew A. Sz., Tarusow B. N.: Wpływ niektórych czynników fizykochemicznych na intensywność ultrasłabego promieniowania roślin. *Biofizyka* 18, 1, 94—97, 1973.
2. Byszewski Wł.: Trendy technizacyjne w uprawie roli i roślin oraz pozy-

- tywy i negatywy wprowadzonych procesów na efekty gospodarcze i środowisko przyrodnicze. Zesz. Prob. Post. Nauk Rol. 155, 53—62, 1974.
3. Demarly Y.: Considérations théoriques sur la concurrence chez les végétaux. Ann. Amélior. Plantes 25, 1, 65—83, 1975.
 4. Dorozynski A.: Nous sommes tous des émetteurs-récepteurs électromagnétiques. Science et vie 671, 26—29, 1974.
 5. Ehrlich P. R., Ehrlich A. H.: Population Resources and the Environment. San Francisco 1970.
 6. Kopcewicz T.: Fizyka atmosfery. PTG, Warszawa 1949.
 7. Mancarski S.: Plazma elektronowa w środowisku biologicznym. Postępy Fizyki 20, 3, 381—384, 1969.
 8. Masłowski P., Nowakowski W.: Wpływ fal elektromagnetycznych o niskiej częstotliwości na niektóre gatunki roślin uprawnych. Hod. Roślin Aklim. Nasien. 6, 3, 729—732, 1962.
 9. Michajłow Wł.: O przyrodniczych podstawach badań prognostycznych. Kosmos A 2, 103, 155—159, 1970.
 10. Mikołajczyk H.: Pola elektromagnetyczne. PWN, Warszawa 1974.
 11. Minc S. M., Pabałka E. S., Łazarowicz W. G.: Wlianie swierchwy-skoczastotnogo elektromagnitogo polia na sodierzanije mietalów i mietaloproteidow w organach i tkaniach ziwotnych. Biologicziskije Nauki 2, 46—49, 1973.
 12. Mowszowicz J.: Biosfera a ekosystemy roślinne. Kosmos A 6, 125, 563—569, 1973.
 13. Nowacki W.: Nauka a przestrzenny rozwój kraju. Archiwum Ochr. Środowiska 1, 9—29, 1975.
 14. Presman A. S.: Pola elektromagnetyczne a żywa przyroda. PWN, Warszawa 1971.
 15. Rocznik Statystyczny. Warszawa 1975.
 16. Rusjajew W. F., Kuksinsij W. E.: Izuczienje diejstwija elektromagnitnogo polia na koagulocizieskije i fibrinoliczieskije swojstwa krowi. Biofizyka 18, 1, 160—163, 1973.
 17. Sedlak Wł.: ABC elektromagnetycznej teorii życia. Kosmos A 2 97 165—174, 1969.
 18. Sedlak Wł.: Plazma fizyczna i laserowe układy w układach biologicznych. Kosmos A 2, 103, 143—154, 1970.
 19. Sedlak Wł. Magnetohydrodynamika biologiczna w zarysie. Kosmos A 3, 110, 191—201, 1971.
 20. Sedlak Wł.: Ochrona środowiska człowieka w zakresie niejonizującego promieniowania. Wiadomości Ekologiczne 19, 3, 223—237, 1973.
 21. Siedlak Wł.: Dynamika bioplazmy i metabolizm. Kosmos A 3, 134, 261—272, 1975.
 22. Weinberg A. M.: Nuclear Energy and the Environment. Bull. At. Sci. 26, 69—73, 1970.
 23. Wilson R., Jones W. J.: Energy, Ecology, and the Environment. Acad. Press, New York 1974.
 24. Zygierewicz J.: Wpływ energii promieniowania niejonizującego na człowieka — potencjalne ryzyko i przepisy bezpieczeństwa. Problemy Łączności 97 1—90, 1973 (opracowanie tłumaczenia artykułu S. M. Michaelsona. Proc. IEEE 1972, 60 4. str. 389—421.