

Ochrona środowiska przed elektromagnetycznym promieniowaniem niejonizującym

*Marta Macher,
Marek Kałuski, Karolina Skrzypek*

Opisano oddziaływanie pola elektromagnetycznego pochodzącego z różnych źródeł na organizm człowieka i skalę zagrożenia dla zdrowia. Przeanalizowano zasady określania wartości dopuszczalnych pola w Polsce i na świecie dla ogółu społeczeństwa i osób pracujących w otoczeniu źródeł pola. Przedstawiono działalność Instytutu Łączności w dziedzinie kompatybilności elektromagnetycznej i pomiarów pola dla celów BHP i ochrony środowiska.

źródła pola elektromagnetycznego, wpływ elektromagnetycznego promieniowania niejonizującego na człowieka, dopuszczalne poziomy pól elektromagnetycznych w Polsce i na świecie

Wprowadzenie

Stale wzrasta liczba i różnorodność źródeł pól elektromagnetycznych w większości wytwarzanych przez systemy radiokomunikacyjne. Powoduje to wzrost zagrożeń, o których istocie brak niejednokrotnie rzetelnej informacji, co sprzyja powstawaniu mitów i przesądów.

Celem niniejszego artykułu jest przedstawienie głównych zagadnień z dziedziny ochrony środowiska przed elektromagnetycznym promieniowaniem niejonizującym, z konieczności tylko w ogólnym zarysie.

Pole elektromagnetyczne

Naturalne procesy elektromagnetyczne rozwijały się we wszechświecie od początku jego istnienia i stanowią zasadniczy składnik środowiska Ziemi. Człowiek stosunkowo niedawno wprowadził do tego środowiska urządzenia emitujące energię elektromagnetyczną w szerokim zakresie częstotliwości. Ostatnie lata związane są z dużym wzrostem liczby i mocy źródeł wytwarzających pola elektromagnetyczne, EM. Naturalne środowisko Ziemi zostało zakłócone przez pole EM, którego źródłem są, przede wszystkim, urządzenia energetyczne, stacje radiowe i telewizyjne, łączność satelitarna, stacje radiolokacyjne, radionawigacyjne, radiokomunikacji ruchomej lądowej, w tym telefonii komórkowej.

Środowisko odbiera naturalne i sztuczne oddziaływania pola magnetycznego. Składnikami pola naturalnego są: stałe pole magnetyczne odpowiadające w naszej szerokości geograficznej natężeniu 40 A/m, stałe pole elektryczne o średniorocznej wartości 100 – 150 V/m i zmienne pole elektromagnetyczne pochodzące od Słońca. Powłoki gazowe otaczające Ziemię przepuszczają pola elektromagnetyczne w określonych pasmach częstotliwości. Jedną grupę stanowi tzw. „okno świetlne” obejmujące podczerwień, światło widzialne i część ultrafioletu, a drugą tzw. „okno radiowe” obejmujące fale radiowe. Energia docierająca oknem radiowym jest niewielka, okno świetlne zaś jest podstawą życia biologicznego na Ziemi, które wydaje się być dobrze przystosowane do naturalnych pól elektromagnetycznych.

Sztuczne pole elektromagnetyczne jest wynikiem działalności człowieka w takich dziedzinach jak: radiofonia i telewizja, komunikacja, nawigacja, radiolokacja, medycyna i przemysł. Jego źródłem są także urządzenia gospodarstwa domowego.

Promieniowanie elektromagnetyczne w zakresie częstotliwości 0 – 300 GHz jest promieniowaniem niejonizującym, natomiast właściwości jonizujące ma promieniowanie nadfioletowe, rentgenowskie oraz gamma, czyli promieniowanie o częstotliwościach powyżej $3 \cdot 10^6$ GHz. Oddziaływanie tych pól na organizmy żywe w obydwu przypadkach jest odmienne. Promieniowanie jonizujące ze względu na jego destrukcyjne oddziaływanie z żywą materią jest przedmiotem zainteresowania radiologii, a substancje emitujące to promieniowanie są nazywane promieniotwórczymi, natomiast promieniowanie niejonizujące może spowodować efekt termiczny, polegający na miejscowym lub ogólnoustrojowym wzroście temperatury w żywym organizmie lub atermiczny, wywołujący zmiany funkcji biologicznych organów wewnętrznych człowieka. W dalszym ciągu omawiane będzie jedynie oddziaływanie promieniowania niejonizującego.

Typowym bezpośrednim źródłem promieniowania jest antena. Jest to urządzenie połączone przewodem współosiowym (fiderem) z nadajnikiem lub odbiornikiem i w przypadku nadajnika służy do wypromieniowania w swobodną przestrzeń fali elektromagnetycznej. Podstawowymi typami anten, używanymi w systemach telekomunikacyjnych są: dipol półfalowy, antena typu Yagi-Uda, logarytmiczno-periodyczna, panelowa oraz układ antenowy składający się z kilku anten. Geometria anteny zależy od zakresu częstotliwości, do którego jest ona przeznaczona oraz od wymaganych parametrów, np. zysku energetycznego, mocy czy kierunkowości.

Obecnie systemy telekomunikacyjne pokrywają praktycznie teren całego kraju i są to: radiofonia, telewizja naziemna, systemy radiokomunikacji ruchowej, telefonia komórkowa, sieci Wi-Fi, Bluetooth, systemy satelitarne, mikrofalowe linie radiowe. Zakres fal radiowych odpowiada częstotliwościom w przedziale 0,1 MHz – 300 GHz.

Innymi źródłami pól elektromagnetycznych są linie i stacje elektroenergetyczne, urządzenia gospodarstwa domowego, np. kuchenka mikrofalowa, telewizor, lodówka czy odkurzacz, urządzenia medyczne stosowane do fizjoterapii, takie jak diatermia długo- i krótkofalowa, lancetron czy magnetronik oraz urządzenia przemysłowe, np. piece indukcyjne. Obecnie człowiek wszędzie jest narażony na promieniowanie elektromagnetyczne i dlatego powinien zdawać sobie sprawę z realnych zagrożeń i wiedzieć, jak może zminimalizować ich skutki, a także umieć ocenić zasłyszane wiadomości na temat szkodliwego wpływu pola EM na człowieka.

Oddziaływanie pól elektromagnetycznych na człowieka

W obecnym stanie wiedzy, mimo sporej liczby badań, trudno o jednoznaczne wnioski dotyczące nie tylko charakteru, ale w ogóle istnienia swoistych efektów biologicznych związanych z działaniem pola elektromagnetycznego, zwłaszcza zakresu radiowego. Do zaakceptowania efektu jako swoistego konieczne jest bowiem ustalenie stopnia prawdopodobieństwa poznania trzech elementów: związku przyczynowego między zadziałaniem czynnika i wystąpieniem efektu, zależności efektu od dawki czynnika oraz mechanizmu działania czynnika.

Biologiczna aktywność pola elektromagnetycznego od wielu już lat jest faktem znanym i niekwestionowanym, ale nie oznacza to jeszcze bezwarunkowej jej szkodliwości.

Do określenia niepożądanego oddziaływania niejonizującego pola elektromagnetycznego na człowieka stosowane są dwa kryteria, których podstawą są wyniki badań eksperymentalnych.

Kryterium biologiczne jest oparte na wynikach badań zmian, jakie pola EM wywołują w ośrodkowym układzie nerwowym, w układzie neurohormonalnym, swoistym i nieswoistym układzie odporności immunologicznej i w funkcjach generatywnych. Podczas badań stosuje się metodę fizjologiczną,

elektrofizjologiczną, immunologiczną, biochemiczną i morfologiczną. Przyjętymi parametrami do badań są gęstość mocy pola EM i czas ekspozycji. Z wyników badań wynika, że dla gęstości mocy mniejszych niż 4 mW/cm^2 istnieje liniowa zależność między efektem biologicznym i gęstością mocy. W przypadku gęstości mocy przekraczających $4 - 10 \text{ mW/cm}^2$ ta zależność jest już nieliniowa.

Kryterium energetyczne, jako miarę oddziaływania pola EM na organizmy żywe, przyjmuje wartość energii absorbowanej przez organizm (albo jego część) odniesioną do 1 kg masy, mierzoną w W/kg. Tę wartość nazwano „swoistym tempem pochłaniania energii” i oznaczono w skrócie symbolem SAR, od ang. *Specific Absorption Rate*. Na podstawie precyzyjnych badań ustalono, że progowa wartość absorbowanej mocy, wywołująca mierzalny efekt termiczny tj. przyrost temperatury ciała o 1°C wynosi 4 W/kg . Stwierdzono, że pochłanianie energii w układach biologicznych jest zależne od częstotliwości pola.

Dotychczas jedynym rodzajem swoistych efektów udowodnionych dla częstotliwości radiowych, RF są efekty termiczne i odpowiedź ustroju na te zmiany (np. uruchomienie efektów termoregulacyjnych, takich jak zredukowanie produkcji ciepła metabolicznego i rozszerzenie naczyń krwionośnych). Z badań nad tym efektem wynikają dopuszczalne poziomy pola EM zawarte w obowiązujących obecnie normach w Europie i na świecie.

W celu rozpoznania efektów atermicznych (biologicznych) w polach częstotliwości radiowych małych intensywności i przy długotrwałej ekspozycji są prowadzone następujące rodzaje badań:

- badania laboratoryjne (*in vitro* i *in vivo*),
- badania epidemiologiczne i ochotników.

Badania *in vitro* wykonywane na izolowanych składnikach układów biologicznych są ważne dla określenia przypuszczalnych mechanizmów oddziaływania pól RF z układami biologicznymi oraz dla ustalenia warunków ekspozycji, w których należy testować całe zwierzęta (*in vivo*). Pozwalają one zrozumieć, jak pola RF działają na poziomie molekularnym czy komórkowym oraz powinny umożliwić ekstrapolację wyników *in vitro* na poziom *in vivo*, a także umożliwić wykrycie interakcji, które mogą być nieczytelne przy badaniach całego zwierzęcia. Jednakże efekty stwierdzone w badaniach *in vitro* powinny być testowane w badaniach *in vivo*.

Badania *in vivo* są przeprowadzane na kompletnych układach biologicznych, takich jak zwierzęta laboratoryjne, w laboratoriach, w których warunki mogą być dokładnie kontrolowane. Aby wyeliminować przypadkowość w ocenie, wyniki badań na zwierzętach mogą się odnosić do ludzi tylko wtedy, gdy obserwowane efekty występują u różnych gatunków zwierząt.

Największy, jak dotąd, niepokój społeczny budzi możliwość, że narażenie na pola RF małych intensywności może powodować nowotwory. Dotychczasowe badania epidemiologiczne są mało przekonujące i nie potwierdzają hipotezy, że narażenie na pola RF powoduje powstanie nowotworów lub wpływa na ich rozwój. We wszystkich badaniach epidemiologicznych istnieje niedostateczna ocena ekspozycji i czynników zaburzających oraz zła metodyka.

Pola magnetyczne o częstotliwości sieciowej

Najwięcej wątpliwości ekspertów badających skutki oddziaływania pól EM na ludzi [13] budzą pola magnetyczne o częstotliwości sieciowej (50 Hz), występujące w otoczeniu linii elektroenergetycznych i stacji transformatorowo-rozdzielczych. Chociaż istnieją dane wskazujące, że mogą one zwiększyć ryzyko zachorowalności ludzi na nowotwory, to z uwagi na nieznaną mechanizm działania nie udało

się przy użyciu takich pól wywołać nowotworów u zwierząt, w związku z czym nie można twierdzić, że pola te są rakotwórcze, można jedynie, że są przypuszczalnie rakotwórcze (klasyfikacja Międzynarodowej Agencji Badań nad Rakiem – IARC^①).

Z punktu widzenia oceny wpływu na człowieka najwięcej problemów sprawiają linie energetyczne, ze względu na ich rozpowszechnienie. Istnieje cały szereg badań, np. zestawionych w [8] i [13], wskazujących, że komunalna (domowa) ekspozycja na pola magnetyczne 50/60 Hz zwiększa ryzyko zachorowania dzieci na białaczkę i guza mózgu, a próg tego efektu występuje już dla indukcji 0,3–0,4 μ T. Istnieją także pojedyncze, niepotwierdzone doniesienia o związku ekspozycji komunalnej dzieci z zachorowaniami na inne nowotwory, np. chłonnaki, mięsaki czy guzy ośrodkowego układu nerwowego. Podobne badania prowadzono u ludzi dorosłych. Doniesienia te są pojedyncze i w powszechnej opinii specjalistów nie można ich uznać za wystarczające do uznania ekspozycji na podwyższone komunalne pole magnetyczne za czynnik rakotwórczy u dorosłych. Równoległe z badaniami epidemiologicznymi prowadzone są badania na zwierzętach, które są eksponowane bardzo długo, niekiedy całe życie, przy czym ekspozycje są podobne do komunalnych (a nawet wyższe). Jak dotychczas nie potwierdziły one występowania podobnych efektów jak w przypadku ludzi. Mimo to głównie ze względu na wyniki badań u dzieci, IARC uznała w 2002 r. pola magnetyczne ELF (3–3000 Hz) za przypuszczalnie rakotwórcze dla ludzi (grupa 2B), czyli uznała, że istnieje dowód działania rakotwórczego tych pól u ludzi przy braku wystarczającego dowodu rakotwórczości u zwierząt doświadczalnych. Taka klasyfikacja jest przyczyną nieustannych sporów między zwolennikami i przeciwnikami negatywnego działania pola EM – ci pierwsi wskazują, że wyniki badań epidemiologicznych, które są najważniejsze przy ocenie wpływu danego czynnika, jednoznacznie wskazują na szkodliwość pól sieciowych, ci drudzy twierdzą, że brak potwierdzenia w badaniach na zwierzętach może być sygnałem, że wyniki badań epidemiologicznych są tylko artefaktami (nowotwory powodowane przez pole EM są stosunkowo rzadkie, a ryzyko względne, bardzo niskie). Dla równowagi należy powiedzieć, że w grupie 2B kancerogenów znajduje się np. kawa (jako przypuszczalny czynnik zachorowania na nowotwór pęcherza moczowego) i marynowane warzywa.

Oprócz badania ewentualnych skutków kancerogennych ekspozycji komunalnej sprawdzono również jej inne możliwe skutki zdrowotne, jednakże nie dały one wyników pozytywnych poza kilkoma badaniami wpływu na funkcjonowanie centralnego układu nerwowego, np. zwiększenie ryzyka wystąpienia zaburzeń psychiatrycznych zwłaszcza depresji.

Pola stacji bazowych, telefonów bezprzewodowych i stacji radiowo-telewizyjnych

Komisja ICNIRP (*International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection*) [2] w 1998 r. opublikowała również swoje stanowisko na temat zagadnień zdrowotnych związanych z użytkowaniem radiotelefonów przenośnych oraz stacji bazowych. Oficjalny komunikat wydany na podstawie zebranych wówczas wyników badań naukowych wykluczał możliwość wpływu pola EM pochodzącego od stacji bazowych i od radiotelefonów na zdrowie człowieka, min. ze względu na małe poziomy mocy pochodzące od wyżej wymienionych systemów i urządzeń.

Przeprowadzane dotychczas badania wpływu stacji radiowych i telewizyjnych na zdrowie ludzi sygnalizowały pojedyncze przypadki wpływu na wzrost ryzyka zachorowalności na białaczkę u dzieci i do-

^① Grupa 1: czynnik jest rakotwórczy dla ludzi.

Grupa 2A: czynnik jest prawdopodobnie rakotwórczy dla ludzi.

Grupa 2B: czynnik jest przypuszczalnie rakotwórczy dla ludzi.

Grupa 3: czynnik nie jest klasyfikowany ze względu na jego rakotwórczość dla ludzi.

Grupa 4: czynnik nie jest rakotwórczy dla ludzi.

rosłych oraz zależności zachorowań na czerniaka. Jednakże badania te nie dają podstaw, by zaklasyfikować pole elektromagnetyczne o częstotliwości radiowej jako czynnik kancerogeny. Nadal prowadzone są badania epidemiologiczne oraz laboratoryjne w tym zakresie [8], [13].

Pomiary pól elektromagnetycznych w środowisku

Intensywność promieniowania mierzy się w W/m^2 , natomiast ilość energii RF zaabsorbowanej w tkankach mierzy się wielkością SAR, wyrażaną w W/kg . Pola RF mogą być, w zależności od ich natężenia, czynnikiem ekspozycji o dużej lub o małej intensywności. Ekspozycje w polach RF małych intensywności nie powodują jakiegokolwiek znaczącej zmiany temperatury ustroju. Nazywane są one efektami atermicznymi, są słabo rozpoznane i są obecnie przedmiotem badań.

Na podstawie wyników badań powstały i ciągle powstają nowe uregulowania prawne. Wspólną cechą norm w Europie i na świecie jest dwupoziomowa struktura. Podawane są tzw. ograniczenia podstawowe, których nie można przekroczyć pod żadnym warunkiem i zalecane poziomy odniesienia, które mogą zostać przekroczone, jeżeli zostanie udowodnione, że nie zostały przekroczone ograniczenia podstawowe.

Podstawowe ograniczenia są zdefiniowane przez gęstość indukowanego prądu i swoiste tempo pochłaniania energii (SAR) lub dla impulsowych pól EM przez swoiste pochłanianie energii (SA). Wielkości SAR i SA są zdefiniowane jako ilość energii absorbowana w jednostkowej masie (tkanki) mieszczącej się w określonej objętości o danej gęstości i wyrażane są w W/kg lub J/kg .

Wielkości tych nie można wyznaczyć bezpośrednio, dlatego w normach wprowadza się mierzalne poziomy odniesienia, które są wyrażone w wielkościach natężenia pola elektrycznego i magnetycznego oraz gęstości mocy.

Dwupoziomowość struktury obecnych norm dotyczy również rozróżnienia poziomów dopuszczalnych ekspozycji, odrębnie dla ogółu ludności i odrębnie dla pracowników.

Podstawowym sposobem ochrony ludzi przed ewentualnym szkodliwym wpływem pól EM jest ustalenie poziomów dopuszczalnych i opracowanie metodyk sprawdzania tych poziomów w warunkach rzeczywistych. Niemal powszechnie są stosowane pomiary, wykonywane zgodnie z prawnie usankcjonowaną metodyką i procedurą pomiarową i porównywanie zmierzonych poziomów z poziomami dopuszczalnymi w danym zakresie częstotliwości.

Obowiązek wykonywania pomiarów pola EM w środowisku wynika z zapisów art. 122a ustawy [12].

Uregulowania prawne

Normalizacją związaną z ochroną zdrowia ludzi przed elektromagnetycznym promieniowaniem niejonizującym zajmuje się wiele organizacji międzynarodowych i europejskich. Wśród nich do najbardziej aktywnych i znaczących należą:

- Światowa Organizacja Zdrowia (*World Health Organization* – WHO),
- Międzynarodowa Komisja Ochrony przed Promieniowaniem Niejonizującym (*International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection* – ICNIRP),
- Europejski Komitet ds Normalizacji w dziedzinie Elektrotechniki (*European Committee for Electrotechnical Standardization* – CENELEC),

- Międzynarodowa Komisja Elektrotechniczna (*International Electrotechnical Commission – IEC*),
- Komisja Europejska (*European Commission – EC*).

Wartości graniczne pól EM w przepisach międzynarodowych

Obowiązujące wytyczne, zalecenia lub normy międzynarodowe i europejskie zawierające dopuszczalne poziomy pól są oparte na dobrze rozpoznanym efekcie termicznym, jedynym swoistym efektem udowodnionym dla częstotliwości radiowych. Wyniki badań i znajomość mechanizmów pochłaniania energii w układach biologicznych w zależności od częstotliwości stały się podstawą uregulowań prawnych wyrażanych za pomocą ograniczeń podstawowych definiowanych poprzez gęstość indukowanego prądu i wielkość zwaną SAR. Ponieważ tych wielkości nie można wyznaczyć bezpośrednio, w normach wprowadzono, z odpowiednim marginesem bezpieczeństwa, mierzalne poziomy odniesienia, wyrażone wielkościami natężenia zmiennego pola elektrycznego i magnetycznego, indukcji magnetycznej oraz gęstości mocy. Ustalono odrębne wartości graniczne dla ogółu społeczeństwa oraz wyższe dla ekspozycji zawodowej. Zalecenia EC w pełni pokrywają się z rekomendowanymi poziomami odniesienia podawanymi przez ICNIRP. W tabl. 1 i 2 podano poziomy odniesienia zgodne z zaleceniami obu komisji [1], [2].

Umieszczona przy danych liczbowych wartość f jest wyrażona w jednostkach zgodnych z kolumną *Zakres częstotliwości*.

Tabl. 1. Poziomy odniesienia dla ekspozycji ludności w zmiennych w czasie polach elektrycznych i magnetycznych (niezaburzone wartości skuteczne)

Zakres częstotliwości	Natężenie pola elektrycznego E [V/m]	Natężenie pola magnetycznego H [A/m]	Indukcja magnetyczna B [μ T]	Gęstość mocy równoważnej fali płaskiej S_{eq} [W/m^2]
do 1 Hz	–	$3,2 \cdot 10^4$	$4 \cdot 10^4$	–
1 – 2 Hz	10000	$3,2 \cdot 10^4/f^2$	$4 \cdot 10^4/f^2$	–
8 – 25 Hz	10000	$4000/f$	$5000/f$	–
0,025 – 0,8 kHz	$250/f$	$4/f$	$5/f$	–
0,8 – 3 kHz	$250/f$	5	6,25	–
3 – 150 kHz	87	5	6,25	–
0,15 – 1 MHz	87	$0,73/f$	$0,92/f$	–
1 – 10 MHz	$87/f^{1/2}$	$0,73/f$	$0,92/f$	–
10 – 400 MHz	28	0,073	0,092	2
400 – 2000 MHz	$1,375/f^{1/2}$	$0,0037/f^{1/2}$	$0,0046f^{1/2}$	$f/200$
2 – 300 GHz	61	0,16	0,20	10

Tabl. 2. Poziomy odniesienia dla ekspozycji pracowników w zmiennych w czasie polach elektrycznych i magnetycznych (niezaburzone wartości skuteczne)

Zakres częstotliwości	Natężenie pola elektrycznego E [V/m]	Natężenie pola magnetycznego H [A/m]	Indukcja magnetyczna B [μ T]	Gęstość mocy równoważnej fali płaskiej S_{eq} [W/m^2]
do 1 Hz	–	$1,63 \cdot 10^5$	$2 \cdot 10^5$	–
1 – 8 Hz	20000	$1,63 \cdot 10^5/f^2$	$2 \cdot 10^5/f^2$	–
8 – 25 Hz	20000	$2 \cdot 10^4/f$	$2,5 \cdot 10^4/f$	–
0,025 – 0,82 kHz	500/f	20/f	25/f	–
0,82 – 65 kHz	610	24,4	30,7	–
0,065 – 1 MHz	610	1,6/f	2,0/f	–
1 – 10 MHz	610/f	1,6/f	2,0/f	–
10 – 400 MHz	61	0,16	0,2	10
400 – 2000 MHz	$3f^{1/2}$	$0,008/f^{1/2}$	$0,01f^{1/2}$	$f/40$
2 – 300 GHz	137	0,36	0,45	50

Przyjęto wyższe wartości poziomów odniesienia dla pracowników niż dla ludności. Komisja ICNIRP uznała za słuszne założenie, zgodnie z którym ludzie świadomi występowania pól elektromagnetycznych, znający zasady unikania negatywnych skutków oddziaływania tych pól i mający możliwość kontrolowania ekspozycji, mogą przebywać w polach o wyższych parametrach. Ponadto stan zdrowia tych osób jest okresowo kontrolowany.

Dopuszczalne poziomy pola EM w Polsce

Normy dotyczące najwyższych dopuszczalnych natężeń, obowiązujące w Polsce do lat osiemdziesiątych, były wzorowane na przepisach radzieckich, które ustalono przy założeniu, że efekt termiczny powodujący podwyższenie temperatury tkanek i narządów, nie jest jedynym mechanizmem oddziaływania pola EM na organizmy żywe. Podstawę do tego stanowiły intensywne badania ludzi na stanowiskach pracy narażonych na działanie promieniowania EM, jak również badania doświadczalne na zwierzętach.

W początkowym okresie w krajach zachodnich (głównie w USA) przyjęto założenie, że oddziaływanie biologiczne pól EM uwarunkowane jest jedynie efektem termicznym promieniowania EM, uzasadniając to wynikiem bilansu cieplnego, tzn. ilością energii pochłoniętej w jednostce czasu w przeliczeniu na ilość ciepła oraz ilością ciepła, jaką ustrój człowieka może wydalić w normalnych warunkach. Generalnie można wysnuć wniosek, że normy zachodnie uwzględniały aspekt ekonomiczny oraz wojskowy, normy radzieckie zaś aspekt społeczny. Normy innych państw są pochodną obu tych rozważań i ewoluowały w kierunku wzajemnego zbliżenia. Przepisy polskie oparte na normie radzieckiej często nie były przestrzegane zarówno w zastosowaniach wojskowych, jak i cywilnych.

Ochrona środowiska (ogół ludności)

Obowiązujące w Polsce rozporządzenie [11] określa dopuszczalne poziomy elektromagnetycznego promieniowania niejonizującego, jakie mogą występować w środowisku, w postaci pól elektrycznych i magnetycznych stałych, pól elektrycznych i magnetycznych o częstotliwości 50 Hz, wytwarzanych przez stacje i linie elektroenergetyczne, pól elektromagnetycznych o częstotliwościach 1 kHz – 300 GHz, wytwarzanych w szczególności przez urządzenia radiokomunikacyjne, radionawigacyjne i radiolokacyjne. Rozporządzenie to określa także wymagania obowiązujące przy wykonywaniu pomiarów kontrolnych elektromagnetycznego promieniowania niejonizującego.

W Polsce na obszarach zabudowy mieszkaniowej oraz na obszarach, na których zlokalizowane są zwłaszcza szpitale, żłobki, przedszkola, internaty, składowa elektryczna elektromagnetycznego promieniowania niejonizującego o częstotliwości 50 Hz, czyli pochodzącego od linii elektroenergetycznych, nie może przekraczać wartości 1 kV/m.

Określone w rozporządzeniu dopuszczalne poziomy pól elektromagnetycznych, nie obowiązują w miejscach niedostępnych dla ludzi.

Polskie przepisy [11], [12] określają dużo niższe niż obowiązujące w dokumentach międzynarodowych [1], [2] i [3] dopuszczalne poziomy pól elektromagnetycznych.

Dopuszczalne poziomy pól elektromagnetycznych mogące występować w środowisku, w miejscach dostępnych dla ludności podano w tabl. 3 i 4 [11, zał. 1].

Tabl. 3. Dopuszczalne poziomy pól elektromagnetycznych na terenach przeznaczonych pod zabudowę mieszkaniową

Zakres częstotliwości	Składowa elektryczna	Składowa magnetyczna	Gęstość mocy
50 Hz	1 kV/m	60 A/m	–

Tabl. 4. Dopuszczalne poziomy pól elektromagnetycznych w miejscach dostępnych dla ludności

Zakres częstotliwości	Składowa elektryczna	Składowa magnetyczna	Gęstość mocy
0 Hz	10 kV/m	2500 A/m	–
0 – 0,5 Hz	–	2500 A/m	–
0,5 – 50 Hz	10 kV/m	60 A/m	–
0,05 – 1 kHz	–	3/f A/m	–
0,001 – 3 MHz	20 V/m	3 A/m	–
3 MHz – 300 MHz	7 V/m	–	–
300 MHz – 300 GHz	7 V/m	–	0,1 W/m ²

Ochrona pracowników – przepisy BHP

Polskie przepisy dotyczące ochrony pracowników przed polami elektromagnetycznymi opierają się na rozporządzeniu [10] oraz wykorzystują szereg norm.

Rozporządzenie [10] zostało skonstruowane przy założeniu, że czas przebywania w polach elektromagnetycznych jest limitowany w zależności od częstotliwości pola i parametrów. Wyznaczono trzy rodzaje stref ochronnych:

- strefa niebezpieczna – obszar, w którym przebywanie pracowników jest zabronione,
- strefa zagrożenia – obszar, w którym dopuszczalne jest przebywanie pracowników zatrudnionych przy źródłach przez czas ograniczony,
- strefa pośrednia – obszar, w którym dopuszczalne jest przebywanie pracowników zatrudnionych przy źródłach w ciągu całej zmiany roboczej.

Wartości pola elektrycznego i magnetycznego dla granicy stref pośredniej i zagrożenia (E_I i H_I) umieszczono w tabl. 5 i 6 [10].

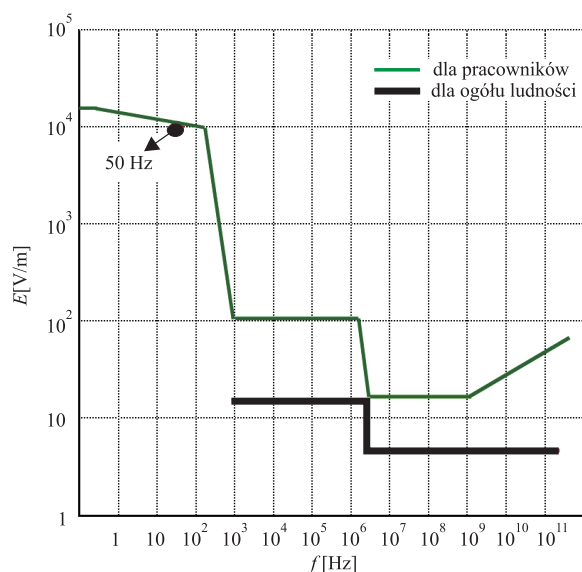
Tabl. 5. Dopuszczalne wartości natężenia pola elektrycznego E_I na granicy strefy zagrożenia i pośredniej oraz doza dopuszczalna pola elektrycznego Dd_E

Zakres częstotliwości	E_I [V/m]	Dd_E
0 – 0,5 Hz	20000	3200 (kV/m) ² h
0,5 – 300 Hz	10000	800 (kV/m) ² h
0,3 – 1 kHz	100/f	0,08/f ² (kV/m) ² h
0,001 – 3 MHz	100	0,08 (kV/m) ² h
3 MHz – 5 MHz	300/f	0,72/f ² (kV/m) ² h
0,015 – 3 GHz	20	3200 (V/m) ² h
3 GHz – 300 GHz	0,16f+19,5	(f/2+55) ² (V/m) ² h

Tabl. 6. Dopuszczalne wartości natężenia pola magnetycznego H_I na granicy strefy zagrożenia i pośredniej oraz doza dopuszczalna pola magnetycznego Dd_H

Zakres częstotliwości	H_I [A/m]	Dd_H
0 – 0,5 Hz	8000	512 (kA/m) ² h
0,5 – 50 Hz	200	0,32 (kA/m) ² h
0,05 – 1 kHz	10/f	800/f ² (A/m) ² h
1 – 800 kHz	10	800 (A/m) ² h
0,8 – 150 MHz	8/f	512/f ² (A/m) ² h
0,15 – 3 GHz	0,053	0,022 (A/m) ² h

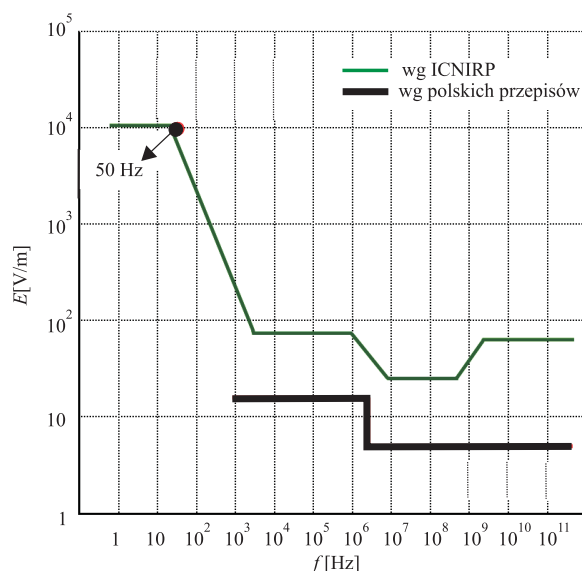
Zasady ustalania dopuszczalnych poziomów pól elektromagnetycznych są na całym świecie podobne. W Polsce obowiązują odrębne niższe poziomy dopuszczalne dla ogółu ludności bez ograniczania czasu przebywania w ich zasięgu oraz wyższe dla pracowników z limitowanym czasem ekspozycji (rys. 1).



Rys. 1. Dopuszczalne w Polsce poziomy składowej elektrycznej pola EM

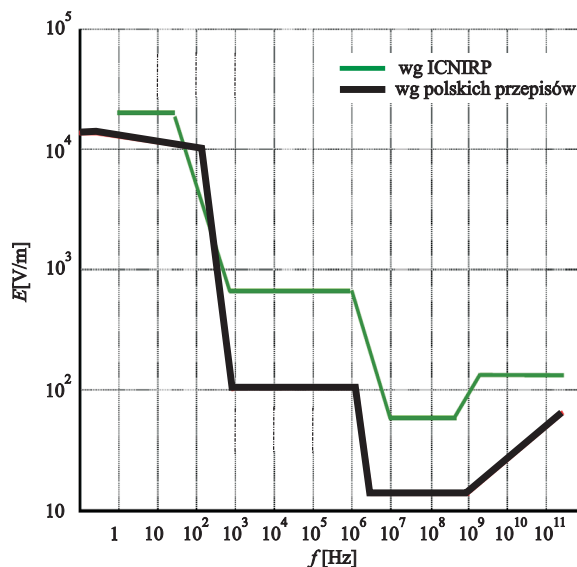
Polskie przepisy na tle uregulowań europejskich

Zasady ustalania wartości granicznych pola elektromagnetycznego w Polsce są inne niż w krajach Unii Europejskiej i na świecie, w polskich przepisach bowiem nie występuje uśrednianie natężenia pola EM w czasie i objętości, a także nie uwzględnia się kumulacji efektów działania pola elektromagnetycznego w czasie. Jednak ze względu na to, że wartości graniczne w obu przypadkach oparte są na tych samych wielkościach fizycznych porównano polskie i unijne wartości granicznych dopuszczalnych poziomów, przyjmując jako wspólny wskaźnik równoważną wartość składowej elektrycznej pola elektromagnetycznego.



Rys. 2. Dopuszczalne poziomy natężenia pola elektrycznego dla ogółu ludności

Na rys. 2 i 3 przedstawiono poziomy dopuszczalnej wartości natężenia pola elektrycznego dla ogółu ludności i dla pracowników w funkcji częstotliwości dla ustaleń polskich i ICNIRP/EC.



Rys. 3. Dopuszczalne poziomy natężenia pola elektrycznego dla pracowników

Z porównania przedstawionych uregulowań wynikają następujące wnioski:

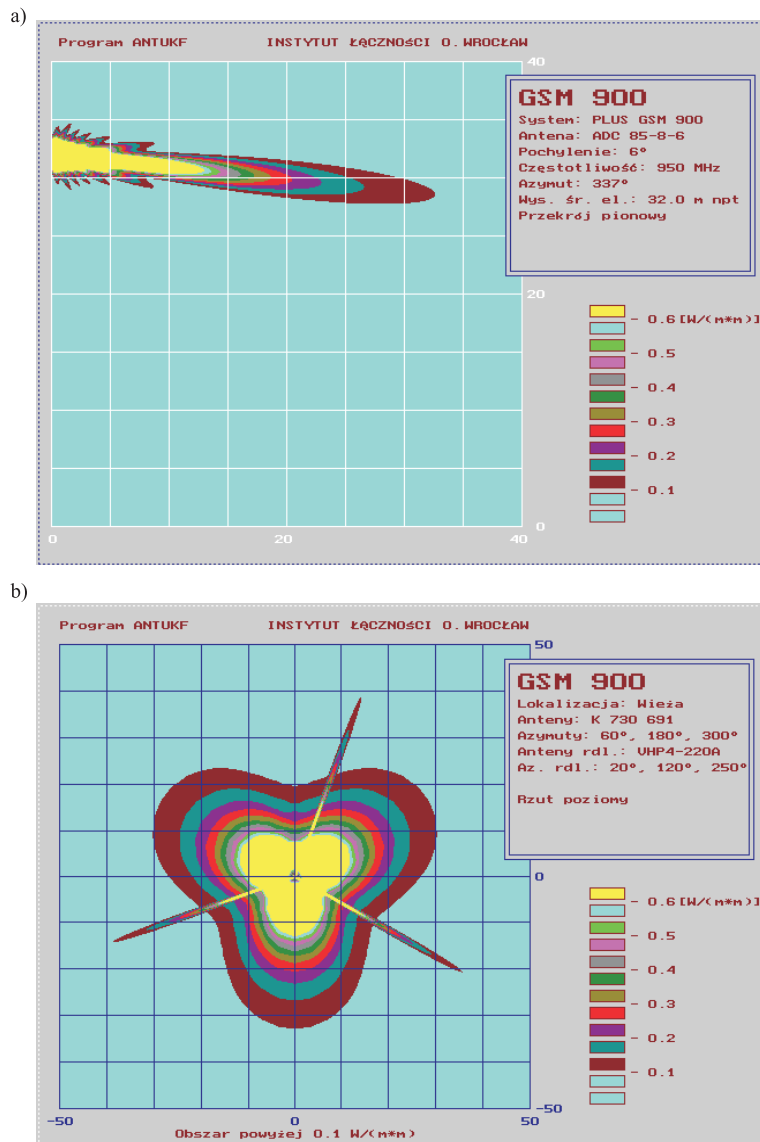
- Dopuszczalne poziomy pól EM, przyjęte w krajowych przepisach, zarówno w odniesieniu do osób zatrudnionych przy obsłudze i konserwacji źródeł pól EM (czyli pracowników) [10], jak i w odniesieniu do ogółu ludności [11], są kilka lub nawet kilkadziesiąt razy niższe niż w aktualnych normach lub zaleceniach zagranicznych [1] i [2].
- W odniesieniu do pracowników obsługi źródeł pól EM, przepisy polskie wyróżniają kilka stref (strefa pośrednia, zagrożenia, niebezpieczna), czego nie spotyka się w normach lub zaleceniach zagranicznych.
- Większość ustaleń zagranicznych bierze pod uwagę jako wskaźnik pól EM wartość uśrednioną w pewnym obszarze przestrzennym i określonym przedziale czasowym, podczas gdy przepisy polskie przyjmują jako wskaźnik pól EM wartości skuteczne natężeń pól elektrycznych i magnetycznych o częstotliwości 50 Hz i 0,001 – 300 MHz oraz wartości średnie gęstości mocy pól elektromagnetycznych o częstotliwości 300 MHz – 300 GHz (poprzednio były to wartości maksymalne).

Działalność Instytutu Łączności

Instytut Łączności posiada akredytację Polskiego Centrum Akredytacji (PCA) w zakresie pomiarów dla celów BHP i ochrony środowiska. Wykonuje liczne pomiary natężenia pola elektromagnetycznego pochodzącego od różnych źródeł: stacji bazowych telefonii komórkowej, linii energetycznych powyżej 110 kV, sieci energetycznych wewnątrz budynków, urządzeń medycznych (współpraca z przychodniami rejonowymi we Wrocławiu) oraz urządzeń przemysłowych (piece indukcyjne, zgrzewarki) itp.

Instytut dysponuje programem inżynierskim do obliczeń rozkładu pola wokół jego źródeł. Program przedstawia w wersji graficznej przekrój pionowy i poziomy na kierunkach maksymalnego promienio-

wania. Przedstawiony na rys. 4 przykład rozkładu pola wokół stacji bazowej został wykonany przy użyciu specjalistycznego oprogramowania ANTUKF metodą superpozycji, opisaną w [5], [6] i [7], czyli wektorowego (przestrzennego) sumowania składowych pola elektromagnetycznego.



Rys. 4. Stacja bazowa GSM 900, (a) przekrój pionowy, (b) rzut poziomy

Oddział Wrocławski Instytutu Łączności ma duże doświadczenie w obszarze kompatybilności elektromagnetycznej. Wykorzystując ten dorobek, pracownicy Oddziału wspólnie z pracownikami Politechniki Wrocławskiej, opracowali poradnik [8], przydatne kompendium wiedzy w zakresie:

- morfologii i źródeł pola elektromagnetycznego,
- systemów radiokomunikacyjnych, w tym systemów nowych generacji,

- kryteriów oceny niepożądanego oddziaływania pola elektromagnetycznego na ludzi,
- wyników badań wpływu pola elektromagnetycznego na organizmy żywe w różnych zakresach częstotliwości,
- stanu normalizacji w zakresie oddziaływania pola elektromagnetycznego na ludzi wraz z analizą porównawczą różnych norm,
- metod sprawdzania dopuszczalnych poziomów pól elektromagnetycznych w środowisku, a w szczególności: ustalania dopuszczalnych poziomów pól elektromagnetycznych, przeglądu metod obliczeniowych rozkładów pola elektromagnetycznego wokół obiektów nadawczych, pomiarów jako metody wyznaczania rozkładu pola wokół stacji nadawczych.

Bibliografia

- [1] *Council recommendation of 12 July 1999 on the limitation of exposure of the general public to electromagnetic fields (0 Hz to 300 GHz)*. (1999/519/EC)
- [2] *Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic and electromagnetic fields (up to 300 GHz)*. International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection, Health Physics, Apr. 1998, Vol. 74, No 4
- [3] *IEEE standard for safety levels with respect to human exposure to radio frequency electromagnetic fields, 3 kHz to 300 GHz*. New York, IEEE, 1999
- [4] *Implementation report on the Council Recommendation limiting the public exposure to electromagnetic fields (0 Hz to 300 GHz)*. Brussels, European Commission, March 2002
- [5] Kałuski M., Macher M.: *Modelowanie numeryczne rozkładu pola elektromagnetycznego wokół stacji nadawczych w świetle aktualnych przepisów ochronnych*. KKRRiT, 2002
- [6] Kałuski M., Macher M.: *Prezentacja oprogramowania służącego do wyznaczania obszarów ograniczonego użytkowania i stref ochronnych*. Warsztaty EMC, Wrocław 2001
- [7] Kałuski M., Stasiński L.: *Electromagnetic Field Estimation in the Vicinity of Panel Antenna System for FM and TV Broadcasting*. IEEE Trans. on Broadcasting, vol. 41, no. 4, pp. 136-142, December 1995
- [8] *Ochrona przed narażeniami elektromagnetycznymi wynikającymi z rozwoju telekomunikacji współczesnej i telekomunikacji nowych generacji – pomiary anten radiokomunikacyjnych i pól elektromagnetycznych. Poradnik z zakresu ochrony przed narażeniami elektromagnetycznymi od systemów radiokomunikacyjnych*. Macher M., Tyrawa P., Kałuski M., Bieńkowski P., Grudziński E., Wrocław, 2008
<http://www.mi.gov.pl/files/0/1790133/SPIV6Poradnik2008.pdf>
- [9] *Proposal for a council recommendation on the limitation of exposure of the general public to electromagnetic fields 0 Hz-300 GHz*. (presented by the European Commission)
- [10] *Rozporządzenie Ministra Pracy i Polityki Społecznej z dnia 29 listopada 2002 r. w sprawie najwyższych dopuszczalnych stężeń i natężeń czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy*. Dz. U., 2002, nr 217, poz. 1833 (z późn. zm.)
- [11] *Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 30 października 2003 r. w sprawie dopuszczalnych poziomów pól elektromagnetycznych w środowisku oraz sposobów sprawdzania dotrzymania tych poziomów*. Dz. U., 2003, nr 192, poz. 1883

- [12] Ustawa z dnia 27 kwietnia 2001 r. – *Prawo ochrony środowiska*. Dz. U., 2008, nr 25 poz. 150 (z późn. zm.)
- [13] Zmyślony M.: *Ocena działania biologicznego i skutków zdrowotnych pól elektromagnetycznych w aspekcie wymagań raportów o oddziaływaniu przedsięwzięć na środowisko*. Warsztaty IMP, Łódź 2006

Marta Macher



Mgr Marta Macher – absolwentka Wydziału Matematyki, Fizyki i Chemii Uniwersytetu Wrocławskiego, kierunek fizyka (1973); pracownik Instytutu Łączności (od 1973 do 2010); autor i współautor prac badawczych i wielu publikacji; praca zawodowa: ochrona środowiska przed elektromagnetycznym promieniowaniem niejonizującym, modelowanie numeryczne rozkładu pola elektromagnetycznego wokół obiektów nadawczych, pomiary źródeł pól elektromagnetycznych.

Marek Kałuski



Mgr inż. Marek Kałuski (1947) – absolwent Wydziału Elektroniki Politechniki Wrocławskiej (1970); długoletni pracownik Instytutu Łączności Oddziału we Wrocławiu (od 1970); autor wielu prac konstrukcyjnych i publikacji, autor i współautor wielu patentów; zainteresowania naukowe: metrologia i modelowanie numeryczne źródeł pól EM, sterowanie pomiarowych systemów antenowych.

e-mail: m.kaluski@itl.waw.pl

Karolina Skrzypek



Mgr inż. Karolina Skrzypek – absolwentka wydziału Elektroniki Politechniki Wrocławskiej (2006); pracownik Instytutu Łączności we Wrocławiu od 2006 r.; bierze udział w pracach badawczych związanych z górnictwem i kompatybilnością elektromagnetyczną, praca zawodowa: zagadnienia związane z ochroną środowiska i BHP, kompatybilność elektromagnetyczna urządzeń m.in. przemysłowych i wojskowych, publikacje, artykuły oraz prowadzenie szkoleń z powyższych zagadnień.

e-mail: K.Skrzypek@itl.waw.pl