

Poniżej znajduje się szczegółowy opis termicznych i nietermicznych oddziaływań PEM na organizm człowieka, sposoby ochrony przed promieniowaniem oraz zasady bezpiecznego korzystania ze sprzętu radiokomunikacyjnego. Ze względu na ograniczenia dotyczące objętości tekstu fragment ten nie został w całości umieszczony w książce "Fale i anteny" w I i II wydaniu. Przedstawiono tu również aktualnie obowiązujące przepisy dotyczące ochrony przed promieniowaniem elektromagnetycznym.

15.4. Wpływ pola elektromagnetycznego na organizm człowieka

W dobie burzliwego rozwoju systemów radiokomunikacyjnych i wzrostu liczby urządzeń emitujących promieniowanie elektromagnetyczne niezwykle ważne staje się określenie ewentualnych szkodliwych oddziaływań tych pól na organizmy ludzi oraz określenie dopuszczalnych norm promieniowania. Zagadnienia te wywołują czasami „fobię elektromagnetyczną”, która bywa podsycana przez media. Osoby pracujące zawodowo z polem elektromagnetycznym (PEM) powinny być świadome zagrożeń, znać obowiązujące przepisy i umieć chronić się przed polami o nadmiernych natężeniach. Poniżej przedstawiono krótkie omówienie ewentualnych szkodliwych oddziaływań PEM na człowieka i obowiązujące w Polsce normy w tej dziedzinie, przeanalizowano szkodliwość najczęściej spotykanych źródeł promieniowania oraz opisano wskazówki dotyczące bezpiecznej pracy z urządzeniami emitującymi pole w.cz.

Właściwe biosferze środowisko elektromagnetyczne jest określone przez pola E i H przy powierzchni Ziemi. Naturalne pola elektryczne przy powierzchni wynoszą 100 - 150 V/m i maleją do połowy tej wartości na wysokości 1 km. Pola te ulegają wahaniom w zależności od temperatury, ciśnienia, wilgotności itp. W warunkach burzowych natężenie pola wzrasta do wartości większych od 20 kV/m, co prowadzi do wyładowań dających widmo quasi-ciągłe do bardzo wysokich częstotliwości (setki MHz) i powodujących lokalnie zakłócenia radioelektryczne. Natężenie pola magnetostatycznego wynosi 20 - 60 A/m w zależności od szerokości magnetycznej. Przyjmuje się, że widmo pól E i H istotnych dla biosfery mieści się w przedziale 0-1 kHz.

Na skutek ewolucji organizmy żywe przystosowały się do występujących w przyrodzie wartości natężeń pól E i H. Rozwój radiokomunikacji i przemysłu (m. in. systemów energetycznych) sprawił, że naturalne środowisko elektromagnetyczne przestało istnieć w skali całego globu. Lawinowy wzrost liczby źródeł PEM wprowadził do środowiska naturalnego pola o wcześniej nie obserwowanych natężeniach i o bardzo złożonym widmie. W chwili obecnej wydaje się, że następuje przemieszczenie największych narażeń na przebywanie w sztucznych PEM z zastosowań przemysłowych, naukowych i medycznych na życie codzienne. U osób zatrudnionych przy sztucznych PEM wzrasta świadomość zagrożeń, co powoduje żądania poprawy warunków pracy. Sprzyja temu rozwój technologii i automatyzacji. Wprawdzie moce źródeł PEM stosowane w gospodarstwach domowych nie są zwykle duże, to jednak ich rozpowszechnienie i czas eksploatacji powodują, że cała populacja jest narażona na działanie szkodliwych pól, przy czym na ogół nie jest tego świadoma. Rozpowszechnienie się takich urządzeń jak kuchenki mikrofalowe, telefony komórkowe, nadajniki CB dodatkowo pogarsza sytuację. Powszechnie znany jest fakt, że pracownicy dużych centrów nadawczych RTV mogą być narażeni na PEM w znacznie mniejszym stopniu, aniżeli mieszkańcy okolic urządzeń nadawczych.

Większość publikacji poświęconych oddziaływaniu PEM na organizmy żywe jest poświęcona efektom niepożądanym. Istnieje jednak olbrzymia dziedzina medycznych zastosowań PEM. Terapie dają pozytywne rezultaty przy leczeniu takich schorzeń jak:

- oparzenia, owrzodzenia wewnętrzne i zewnętrzne, trudno gojące się rany, stany zapalne skóry,
- ortopedia pooperacyjna i zachowawcza, leczenie pooperacyjne, choroby zwyrodnieniowe i reumatyczne, stany zapalne stawów i mięśni, rehabilitacja pourazowa,
- choroby układu krążenia,
- zaziębienia, choroby układu oddechowego, wyczerpania, zmiany pogody,
- nerwobóle, migreny, choroby nerwowe i psychosomatyczne, stwardnienie rozsiane,
- geriatryka i dolegliwości okresu pokwitania,
- medycyna sportowa, leczenie urazów, immunostymulacja, doping,
- bezpłodność, choroby kobiece,
- nowotwory.

Leczenie za pomocą PEM powinno być jednak prowadzone przez specjalistów, a nie przygodnych lekarzy czy nawet hochsztaplerów liczących na ludzką naiwność. Należy w tym miejscu zaznaczyć, że nadmiar każdego oddziaływania korzystnego może dawać rezultaty niepożądane. Okazuje się też, że brak kontaktu z naturalnymi polami elektromagnetycznymi powoduje zbliżone objawy i dolegliwości jak oddziaływanie sztucznych PEM (m. in. zaburzenia snu, podwyższona pobudliwość, wzrost ciśnienia krwi czy zaburzenia świadomości).

Istnieją także wykorzystania militarno-policyjne, np. system ADS (Active Denial System), wykorzystujący skoncentrowaną wiązkę mikrofal o częstotliwości 95 GHz do rozpraszania tłumów, zamieszek, zgrupowań żołnierzy. Wykorzystuje się tu oddziaływania termiczne – energia mikrofal wywołuje silny ból i zmusza człowieka do ucieczki poza wiązkę emitowaną z anteny.

Zakres fal radiowych rozciąga się od bardzo niskich częstotliwości aż do 300 GHz. Fale z tego zakresu nie powodują jonizacji atomów. Ostatnio dużą uwagę naukowców zyskały badania nad falami o bardzo małych częstotliwościach (30 - 1000 Hz - zakres ELF). Ze względu na powszechność telefonii komórkowej od wielu lat prowadzone są intensywne badania nad zakresem mikrofalowym.

Ciało człowieka jest niejednorodne pod względem parametrów dielektrycznych ze względu na zmienną zawartość tłuszczu, białka, węglowodanów i elektrolitu (woda + sole) w zależności od wieku, płci i stanu zdrowia. Dla pól w. cz. ciało ludzkie jest półprzewodnikiem i swoistą anteną odbiorczą, której wymiary względem długości fali są zmienne. Centralny układ nerwowy w stanie czynności i spoczynku generuje prądy czynnościowe z zakresu 1-1000 Hz. Pracą serca sterują impulsy o częstotliwości 1,1 - 1,3 Hz. Układ hormonalny jest wzmacniaczem biochemicznym funkcjonującym na zasadzie sprzężeń zwrotnych, których najczulszy układ znajduje się głęboko w mózgowiu (podwzgórze), gdzie są ważne ośrodki dyspozycyjne funkcjonowania człowieka. Tak zorganizowany ustrój jest podatny na działanie PEM.

Rozróżniamy dwa typy oddziaływań PEM na organizm ludzki:

- **oddziaływania termiczne**, czyli nagrzewanie się tkanek oraz zmiany patologiczne i reakcje fizjologiczne uwarunkowane podwyższeniem temperatury tkanek i płynów ustrojowych,
- **oddziaływania nietermiczne**, czyli zjawiska zachodzące bez podwyższania temperatury w skali makro i mikro lub niezależne od jej podwyższenia.

Działanie termiczne (cieplne) PEM w tkankach organizmu polega na wzroście temperatury tkanek, przy czym najwyższą temperaturę osiągają tkanki tuż przy powierzchni ciała i najbliższej źródła

PEM. Stopień wzrostu temperatury zależy od natężenia pola i częstotliwości, a także od skuteczności termoregulacji (cecha osobnicza) i od tego, która część ciała uległa ekspozycji. Znaczny wzrost temperatury powyżej tolerancji cieplnej tkanek powoduje nieodwracalną koagulację białka. Najbardziej podatne na przegrzanie są tkanki o słabej cyrkulacji krwi: soczewka oka, woreczek żółciowy, jądra, części układu pokarmowego. Eksperymenty prowadzone na zwierzętach dowiodły, że wzrost temperatury prowadzi do całkowitego zniszczenia tych tkanek i w efekcie do śmierci zwierzęcia. Znany jest przynajmniej jeden przypadek śmierci człowieka wywołanej nadmiernym poziomem PEM [17]. U ludzi opisano już przypadki ciężkich oparzeń ręki wywołanych nieszczelną kuchenką mikrofalową czy dotknięciem ręką elementów metalowych znajdujących się pod napięciem w.cz. (antena, hak dźwigu stojącego w pobliżu radiostacji średniofalowej). U operatorów radarów zanotowano przypadki zaćmy i bezpłodności. Opisano ponadto przypadki zaćmy, przy której temperatura oka nie przekroczyła 42 - 43 st. C [17]. Zmętnienie soczewki pojawia się tylko w zakresie mikrofalowym i przy bardzo dużych natężeniach pola (oddziaływanie termiczne). Uaktywnienie mechanizmów termoregulacji może wywołać zmianę aktywności serca, pocenie się lub zmiany w akcji oddechowej. Bardzo niekorzystne jest oddziaływanie fal z modulacją amplitudy lub fal wysyłanych w impulsach o dużej mocy. Znane są przypadki odbioru dźwięków z instalacji radarowych wysyłających krótkie impulsy prostokątne o częstotliwości powtarzania leżącej w zakresie akustycznym. Najprawdopodobniej, kiedy fala pada na komórki głowy, jej energia jest zamieniana na ciepło wytwarzając mały, ale gwałtowny skok temperatury. Wzrost ten generuje gwałtowne rozciąganie się komórek, co wywołuje powstanie fali akustycznej odbieranej przez komórki ślimaka w uchu. W przypadku płodu ssaków stwierdza się przypadki deformacji organów wywołane ich przegrzaniem. Stwierdza się mały, ale zauważalny związek między wczesnym porodem, małą wagą noworodków, liczbą poronień i zgonów w pierwszym roku życia a wielkością napromieniowania. Mogą wchodzić tu w grę również efekty nietermiczne. Obserwuje się również zmniejszoną liczbę narodzin chłopców u osób poddanych napromieniowaniu (obserwacje te nie są potwierdzone obiektywnymi badaniami). Prawdopodobnie efekty w ostatnim przypadku zależą od częstotliwości przebiegu.

Fale elektromagnetyczne szczególnie efektywnie wnikają do tkanek, których rozmiary są zbliżone do częstotliwości fali wywołującej w nich rezonans. Dla dorosłej osoby stojącej na ziemi częstotliwość rezonansu wynosi ok. 35 MHz, a dla osoby odizolowanej od ziemi ok. 70 MHz. Poszczególne tkanki mają częstotliwości rezonansowe umieszczone w zakresie mikrofalowym. Głowa dorosłego człowieka ma rezonans na częstotliwości ok. 400 MHz, podczas gdy głowa dziecka rezonuje przy ok. 700 MHz. Potencjalnie niebezpieczny może być rezonans fali w oku, choć ze względu na dużą stratność tkanki zjawisko to nie jest aż tak groźne, jak brak odprowadzania ciepła z oka przy pomocy płynów ustrojowych.

Oddziaływania termiczne są zwykle łatwo wykrywalne. O wiele większe kontrowersje i problemy badawcze budzą oddziaływania nietermiczne. Przez długie lata naukowcy z krajów zachodnioeuropejskich i USA twierdzili, że takie oddziaływania nie istnieją. Dopiero pod koniec lat 70. przestali oni ignorować wyniki badaczy z Europy Wschodniej i powtórzyli niektóre eksperymenty potwierdzające występowanie efektów nietermicznych [26, 104]. Co ciekawe, w badaniach na zwierzętach doświadczalnych obserwowano wykrywalne zmiany pod wpływem energii w.cz. o bardzo małych natężeniach i brak zmian pod wpływem energii w.cz. o natężeniach podprogowych dla spowodowania efektu cieplnego (nieliniowość organizmów żywych). Poniżej przedstawiono znane wyniki badań, choć należy tu zaznaczyć, że badania epidemiologiczne nie w każdym przypadku były prowadzone w dwu grupach: badanej, poddanej wpływowi PEM i kontrolnej. Weryfikacja wyników wymaga ich potwierdzenia na odpowiednio licznej grupie kontrolnej. Inna trudność w badaniach polega na oddzieleniu szkodliwego wpływu PEM od wpływu zanieczyszczonego powietrza, środków chemicznych, z którymi się stykamy, pożywienia, wody, wcześniejszego stanu zdrowia, stylu życia, jaki prowadzą badane osoby itd. Badania takie są bardzo kosztowne. Dodatkową przeszkodą jest znalezienie grupy kontrolnej osób, które nie mają

kontakty z polem em. W literaturze często można spotkać się ze sprzecznymi wynikami i interpretacją tego samego zjawiska.

Promieniowanie elektromagnetyczne prowadzi do zmian reakcji immunologicznych, szczególnie w połączeniu z czynnikami chemicznymi, może powodować zaburzenia funkcjonalne układu nerwowego (reakcja identyczna z reakcją organizmu na stres), zmiany w przebiegach wytwarzanych przez mózg (zapis EEG, stwierdzony np. u śpiących osób z umieszczonym w pobliżu głowy telefonem komórkowym), zmiany układu sercowo - naczyniowego, szpiku kostnego, w korze mózgowej oraz w działaniu gruczołów dokrewnych. Jednorazowe napromieniowanie może powodować wzrost poziomu hormonów, który po ustaniu promieniowania stabilizuje się. W wyniku długotrwałego narażenia na pole w.cz. (rzędu kilku - kilkunastu lat) mogą utrwalić się zmiany czynnościowe w układzie hormonalnym i można je uznać za zmiany patologiczne. Mogą pojawić się zaburzenia w popędzie płciowym u mężczyzn i zaburzenia cyklu miesięczkowego u kobiet. Zaobserwowano ponadto przyspieszenie wymiany jodu w tarczycy oraz obniżenie wydzielania melatoniny, która ma działanie antyrakotwórcze. Zmiany w układzie nerwowym wywołane polem elektrycznym wyrażają się objawami typu nerwicowego. Pole H o częstotliwościach pokrywających się z częstotliwościami generowanych prądów czynnościowych w ośrodkowym układzie nerwowym (1 - 50 Hz) mogą wpływać na stan czynnościowy układu nerwowego i na zachowanie. Napromieniowanie silnym polem magnetycznym w okolicach głowy może powodować kłopoty z pamięcią. Podobne objawy sygnalizowali operatorzy nadajników, którzy pracowali w polu elektrycznym o natężeniu rzędu setek V/m. Stwierdzono zwiększenie intensywności metabolizmu białka, spadek zawartości cukru oraz zmniejszenie zawartości kwasów DNA i RNA w mózgu, zaś zwiększenie w śledzionie i wątrobie. Na poziomie komórkowym obserwuje się zmiany w stężeniu jonów wapnia, które m.in. warunkują komunikację między komórkami za pomocą hormonów. Przy mniejszych natężeniach i długotrwałej ekspozycji powstają wyraźne zmiany w korze mózgowej człowieka. Stwierdzono u operatorów niektórych obiektów nadawczych zmiany reakcji fizjologicznych powodujące ociężałość. Występuje u nich zmęczenie, senność, zakłócenie uwagi, trudności w koncentracji. Niektórzy wiążą złe samopoczucie ze zdolnością mózgu do odbierania fal elektromagnetycznych wytwarzanych przez fronty atmosferyczne. Pole magnetyczne może wtedy wywoływać u osób wrażliwych błyski przed oczami lub szum w uszach (natężenie rzędu 10 - 20 mT o częstotliwości 50 Hz wzbudza w siatkówce oka prądy dające wrażenie błysków). Powtarzające się zmiany pola magnetycznego mogą prowadzić do mikrourazów w mózgu i powodować zmiany w centralnym układzie nerwowym, a tym samym wpływać na zmianę osobowości. We wszystkich tkankach mózgu wykryto biologiczne cząstki będące magnesami, które są prawdopodobnie odpowiedzialne za te efekty. Powstają zmiany w reagowaniu narządu wzroku. Szczególnie wydłuża się czas adaptacji do ciemności. Wokół źrenicy mogą pojawić się po kilku latach charakterystyczne, żółte plamki. Zmiany w układzie sercowo - naczyniowym polegają na występowaniu arytmii zatokowej, bradykardii (częściej) lub tachykardii, obniżeniu amplitudy wykresu EKG (szczególnie załamka T) i zaburzeń przewodnictwa międzyprzedsionkowego i międzykomorowego (poszerzenie zespołu QRS). Badania przeprowadzone z użyciem telefonów komórkowych wykazały, że ich używanie przez ok. 30 min. powoduje podwyższenie ciśnienia krwi o 5 - 10 mm Hg. Zmiany ciśnienia potwierdzają również obserwacje osób pracujących na stacjach nadawczych RTV. PEM może prowadzić do zmian w obrazie krwi - zmniejszenia liczby erytrocytów i leukocytów oraz hemoglobiny, a także do zmian krzepliwości krwi. W nerkach, wątrobie, mózgu i innych narządach może wystąpić zastój żylny. Obserwacje kobiet ciężarnych zatrudnionych w strefie oddziaływania promieniowania lub poddawanych działaniu diatermii krótkofalowych doprowadziły do opisanego przypadków zaburzeń rozwojowych ich dzieci, polegających na zmianach w układzie kostnym. Badania doświadczalne na zwierzętach wykazały, że działanie promieniowania na rozwijający się zarodek (szczególnie w początkowej fazie rozwoju) może mieć wpływ uszkodzający, ujawniający się w zachowaniu rozwoju płodu, powstaniu wad wrodzonych oraz zmniejszeniu zdolności noworodków do życia. Działanie promieniowania na płód może się kumulować. Istnieją doniesienia o wpływie pola w.cz.

na ruchliwość plemników [106] oraz na przebieg podziałów komórkowych, czyli świadczące o powstawaniu zmian genetycznych (mutacji) [17]. Zarówno kumulacja efektów, jak i powstawanie mutacji było wcześniej kojarzone tylko z promieniowaniem jonizującym. Kwestia oddziaływania nietermicznego PEM na rozwijający się organizm dziecka (przede wszystkim system nerwowy) nadal pozostaje otwarta. Pojawiają się ostatnio sugestie, aby dzieci nie korzystały ze źródeł PEM w takim samym stopniu, jak osoby dorosłe, choć na razie brak jednoznacznych i dostatecznych dowodów na szkodliwe oddziaływanie PEM na dzieci. Rada Europy (organ niebędący oficjalnym ciałem UE) zaleciła w 2011 r. zakaz używania telefonów komórkowych i punktów dostępowych Wi-Fi w szkołach [89]. Wśród operatorów urządzeń radiolokacyjnych przed wieloma laty wyróżniało się *syndrom mikrofalowy*, objawiający się bólem głowy, nadmierną potliwością, niestabilnością emocjonalną, irytacją, zmęczeniem, problemami z pamięcią, koncentracją i podejmowaniem decyzji, spadkiem popędu seksualnego i tendencjami depresyjno - hipochondrycznymi. Te subiektywne uczucia nie zostały potwierdzone obiektywnymi badaniami lekarskimi i dziś nie używa się już powyższego terminu. Ludzie wrażliwi na pola magnetyczne w zakresie ELF mogą odczuwać bóle i zawroty głowy, wahania ciśnienia, drżenie rąk, osłabienie, bezsenność. Prawdopodobnie osoby ze zwyrodnieniem stawów lub ze zrostami kości, odczuwające ból w momencie zbliżania się frontu z opadami, rejestrują w ten sposób podwyższony poziom promieniowania em., wytwarzany przez ten front. Istnieje w całej populacji grupa osób o szczególnej wrażliwości na PEM, która odczuwa je przy znacznie mniejszych poziomach niż pozostali ludzie. Należy jednak zaznaczyć, że dość sporo z tych osób jest nadwrażliwych subiektywnie i podatnych na sugestie [102,105]. W badaniach takie osoby nie odczuwają obiektywnie mierzalnych i wykrywalnych symptomów wywołanych przez pole em.

Badania przeprowadzone kilkadziesiąt lat temu na świecie i w naszym kraju wykazały, że pole magnetyczne 50 Hz może mieć wpływ na występowanie pewnych chorób, w tym także nowotworowych. Badania przeprowadzone w USA (również w Polsce) pokazały, że ryzyko zachorowania na nowotwory krwi u dzieci mieszkających w pobliżu linii przesyłowych wysokiego napięcia i transformatorów jest 2 razy większe niż w przypadku dzieci niemieszkających w takim sąsiedztwie. Zmiany mogą ujawnić się też w następnym pokoleniu. Istnieją wyniki badań wskazujące, że ryzyko zachorowania na raka mózgu u dzieci, których ojcowie wykonywali zawody związane z elektrycznością i byli jednocześnie poddani działaniu rozpuszczalników, jest zwiększone. Dzieci matek, które w czasie ciąży używały poduszek elektrycznych, mają zwiększone ryzyko zachorowania na raka mózgu o 2,5 raza, wzrasta także ryzyko poronień. Prawie dwukrotny wzrost poronień zaobserwowano u operatorów terminali komputerowych (z kineskopami), choć wyniki te były wielokrotnie kwestionowane i obecnie uważa się, że kobiety w ciąży mogą w ograniczonym czasie obsługiwać komputery. Pracownicy w zawodach elektrycznych narażeni na silne pola 50 Hz mają czterokrotnie zwiększone ryzyko zachorowania na raka mózgu i raka piersi (mężczyźni). Część badaczy łączy nawet niektóre przypadki klinicznej depresji oraz samobójstw z zamieszkiwaniem w pobliżu linii wysokiego napięcia. Pole magnetyczne niskiej częstotliwości jest przez Światową Organizację Zdrowia (WHO) uważane za możliwie (prawdopodobnie) rakotwórcze dla ludzi (grupa 2B – raport [87]). Powyższe stwierdzenie oznacza, że w stosunku do tego czynnika istnieją ograniczone dowody na jego rakotwórczy wpływ na ludzi oraz mniej niż ograniczone dowody rakotwórczości uzyskane w drodze eksperymentów na zwierzętach. Warto zauważyć, że substancjami z tej samej grupy 2B, zamieszczonymi na liście IARC [90], są np. kawa, dwutlenek tytanu stosowany powszechnie w pastach do zębów, naftalen (naftalina), spaliny z silników benzynowych czy opary wytwarzane w procesie lutowania.

Pod koniec XX w. zwrócono też uwagę na oddziaływania PEM o bardzo małych częstotliwościach (zakres ELF), wykorzystywanych m. in. do komunikacji z łodziami podwodnymi [49]. Ekspozycja ludności na fale ELF nie ma charakteru krótkotrwałego, a ze względu na własności propagacyjne na słabe pola z tego zakresu narażona jest cała ludność zamieszkująca Ziemię. Przebiegi wolnozmiennie z zakresu ELF potencjalnie mogą doprowadzić do zaburzeń

synchronizacji w komórkach nerwowych lub sygnałów impulsowych o częstotliwościach powtarzania zgodnych z przebiegami EEG, co miałyby modyfikować zachowanie człowieka (wywoływać poczucie niepokoju, zniechęcenia, apatii, zaburzenia wzrokowe oraz zakłócenie procesów myślowych i pamięciowych).

Istnieją doniesienia [43], że działanie telefonów komórkowych zwiększa dwukrotnie ryzyko zachorowania na pewien rodzaj raka mózgu (neuroepithelial tumour - rozrastający się z obrzeży mózgu do wnętrza) i powoduje wzrost ryzyka zachorowania na niezłośliwego guza nerwu słuchowego u osób korzystających z telefonów komórkowych dłużej niż 6 lat. Ponadto dostrzeżono związek między guzami mózgu po prawej stronie głowy i częstszym używaniem telefonu również z tej strony. W 2011 r. Międzynarodowa Agencja Badań nad Rakiem (IARC), będąca częścią Światowej Organizacji Zdrowia (WHO), opublikowała raport [88], w którym uznała pole elektromagnetyczne w.cz. jako prawdopodobnie rakotwórcze dla ludzi (dotyczy to tylko jednego rodzaju raka mózgu - glejaka, którego prawdopodobieństwo występowania było zwiększone u osób używających telefonu komórkowego ponad 10 lat przez przeciętnie 30 minut dziennie). Raport zaleca dalsze długoletnie badania, by ostatecznie potwierdzić tę tezę lub ją obalić. Analiza wyników badań przeprowadzona w [107] nie daje podstaw do stwierdzenia, że pole em. w.cz. zwiększa prawdopodobieństwo zachorowania na glejaka.

Lektura powyższego tekstu może wywołać u niektórych osób stan paniki. Nie jest to właściwa reakcja. Chodzi przede wszystkim o to, aby orientować się w rzeczywistych zagrożeniach i minimalizować je. Należy pamiętać, że:

- źródła promieniowania zarówno radiowego (w.cz.), jak i małych częstotliwości (np. urządzenia zasilane siecią 50 Hz) są używane od dawna i nie spowodowały gwałtownego wzrostu umieralności ani zachorowań wśród ludzi; zaobserwowane efekty niepożądane są kosztem, jaki płacimy za postęp techniczny (podobnie jest z rozwojem motoryzacji – coraz więcej osób ginie na drogach, czyli ryzyko śmierci w samochodzie rośnie, a mimo to nie rezygnujemy z tego środka transportu); w krajach wysoko rozwiniętych pomimo użytkowania coraz większej liczby źródeł PEM średnia długość życia zwiększa się;
- pewne efekty zostały potwierdzone w sposób bezsporny, dotyczą one zwykle dość dużych natężeń pól, powodujących w większości przypadków efekty termiczne;
- niektóre z alarmistycznych wyników nie zostały uzyskane zgodnie z zasadami prowadzenia badań epidemiologicznych bądź uzyskano je na zwierzętach; nie należy jednak zupełnie lekceważyć tego typu doniesień; Światowa Organizacja Zdrowia (WHO) na podstawie dotychczasowych badań stwierdza, że PEM nie powoduje powstawania chorób swoistych; ***obecny stan wiedzy nie pozwala na jednoznaczne stwierdzenie, że podwyższony poziom promieniowania prowadzi do chorób nowotworowych, jednocześnie jednoznacznie tego nie wyklucza*** [25].
- należy zwrócić uwagę, że organizm człowieka ma bardzo duże zdolności autoregulacji. Jeśli np. pod wpływem zwiększonej temperatury zewnętrznej wzrośnie tętno (większa ilość krwi chłodzącej ciało), nie jest to jeszcze stan chorobowy. Występuje on wtedy, gdy zmiany utrzymują się po ustaniu działania czynnika, który je wywołał. O stanie choroby mówimy, gdy wartości opisujące parametry organizmu (np. tętno, ciśnienie, poziom hormonów itp.) nie mieszczą się w granicach normy;
- świadomość, że PEM mogą towarzyszyć niepożądane efekty uboczne, a ponadto wzrasta liczba urządzeń emitujących PEM, powinna nas skłonić do rozsądnego korzystania z tych urządzeń oraz do stosowania zasad bezpiecznego posługiwania się nimi; osoby pracujące zawodowo w obecności silnych źródeł muszą znać obowiązujące przepisy dotyczące szkodliwych poziomów i wyznaczania stref ochronnych oraz miejsca, w których natężenia pól odbiegają od wartości bezpiecznych;

- używanie źródeł PEM z umiarem i w odpowiedni sposób minimalizuje ewentualne ryzyko zachorowań i skutków ubocznych powstających w wyniku napromieniowania PEM.

15.5. Ochrona przed promieniowaniem i obowiązujące przepisy BHP i ochrony środowiska

Zanim przedstawimy obowiązujące przepisy w zakresie ochrony środowiska i BHP w miejscu pracy, zapoznamy się z najczęściej spotykanymi źródłami PEM i charakterem wytwarzanego przez nich promieniowania. Najbardziej rozpowszechnione są pola elektromagnetyczne pochodzące od sprzętu domowego zasilanego siecią 50 Hz. Urządzenia wytwarzają PEM przede wszystkim w zakresie ELF (50 - 1000 Hz), a niektóre z nich (np. monitory i telewizory z kineskopami katodowymi CRT) w zakresie VLF (1 - 200 kHz). Wartości indukcji magnetycznej pochodzącej od kilku popularnych urządzeń gospodarstwa domowego przedstawia tab. 15-1. Zwróćmy uwagę, że dość znaczne promieniowanie w zakresie ELF wysyła także kuchnia mikrofalowa. Realne zagrożenie mogą stwarzać urządzenia, których używa się przez wiele godzin, np. koce i poduszki elektryczne. Mogą one wytwarzać indukcję rzędu 10 - 100 μT .

Tab. 15-1. Indukcja magnetyczna w otoczeniu urządzeń gospodarstwa domowego

URZĄDZENIE	INDUKCJA MAG. W ODLEGŁOŚCI [μT]		
	3 cm	30 cm	1 m
suszarka	6-2000	<0,01-7	<0,01-0,3
maszynka do golenia	15-1500	0,08-9	<0,01-0,3
Mikser	60-700	0,6-10	0,02-0,25
kuchnia mikrofal.	75-200	4-8	0,25-0,6
kuchnia elektryczna	6-200	0,35-0,4	0,01-0,1
grzałka nurkowa	10-180	0,15-0,5	0,01-0,25
telewizor	2,5-50	0,04-2	<0,01-0,15
Żelazko	8-30	0,12-0,3	0,01-0,025
Toster	7-18	0,06-0,7	<0,01

Przy ogrzewaniu podłogowym, w którym przewody grzejne znajdują się ok. 5 cm pod powierzchnią podłogi, człowiek może być narażony na indukcję 1 - 6 μT (gdy leży w łóżku) do ok. 15 μT (w wypadku dziecka bawiącego się na podłodze). W niektórych budynkach zainstalowane są transformatory 15 kV/230 V, które mogą wytwarzać w sąsiadujących mieszkaniach znaczne pole magnetyczne. W mieszkaniach sąsiadujących z takimi rozdzielniami indukcja może sięgać do 10 - 15 μT , co objawia się drżeniem obrazu na ekranach telewizorów i monitorów komputerowych. Należy zaznaczyć, że Komitet Międzynarodowego Stowarzyszenia Ochrony przed Promieniowaniem (IRPA) uważa za bezpieczne pole magnetyczne 50 Hz o indukcji 100 μT , jeśli oddziaływanie trwa przez całą dobę. Wydaje się to wartością zawyżoną w świetle badań, które wykazały podwojenie ryzyka zachorowania na nowotwory u dzieci, które przebywają w domach, w których pole magnetyczne pochodzące od sieci przekracza 0,3 μT . Norma szwedzka MPR przewiduje, że indukcja mierzona w odległości 50 cm od urządzenia nie powinna przekraczać 0,25 μT dla zakresu ELF (5 Hz - 2 kHz) i 0,025 μT dla zakresu VLF (2 kHz - 400 kHz). Wartości natężenia pola elektrycznego wynoszą odpowiednio 25 V/m i 2,5 V/m w odległości 50 cm od urządzenia. Norma MPR (szwedzka Państwowa Rada Miar i Testów) została tu podana ze względu

na jej popularność przy określeniu stopnia promieniowania pochodzącego od monitorów komputerowych.

Polskie badania nad wpływem pola em. na ludzi w chwili obecnej ograniczają się do analizy ankiet wypełnianych przez ochotników [102]. Na podstawie analizy dostępnych publikacji opracowano w 2018 r. raport [103] dotyczący oddziaływania fal milimetrowych na organizmy pracowników i populacji generalnej. Autorzy raportu nie popierają (patrz [104]) zmiany poziomów dopuszczalnych dla ochrony środowiska wprowadzonych od stycznia 2020 rozporządzeniem [101].

Tab. 15-2. Typowe wartości najczęściej spotykanych źródeł PEM (dla USA) [32]

Źródło	Częstotliwość	Odległość	Ekspozycja	Uwagi
kuchenka mikrofalowa	2,45 GHz	0,3 m 0,3 m 1 m	$<5 \text{ W/m}^2$ $<2 \text{ W/m}^2$ $<1 \text{ W/m}^2$	przy odległości 5 cm 50 W/m^2
radar drogowy	9 - 35 GHz	3 m 10 m	$<250 \text{ mW/m}^2$ $<10 \text{ m W/m}^2$	moc 0,5 - 100 mW
syst. bezpiecz.	0,9 - 10 GHz		$<2 \text{ m W/m}^2$	w obrębie systemu
radiotelefony CB	27 MHz	5 cm 12 cm	1000 V/m 200 Vm	moc kilka watów
telefony komórkowe	450 - 466/ 890 - 960 MHz	2 cm - 2 m	$<10 \text{ W/kg}$	moc do 20 W
nadajniki FM i TV (VHF)	87,5 - 108 MHz 47 - 86 MHz 174 - 230 MHz	1,5 km 1,5 km	$<50 \text{ mW/m}^2$ $<20 \text{ mW/m}^2$	moc do 100 kW 100 - 300 kW
nadajniki TV (UHF)	470 - 890 MHz	1,5 km	$<5 \text{ mW/m}^2$	do 5 MW
nadajniki KF	3,95 - 26,1 MHz	220 m 50 m	2 W/m^2 40 W/m^2	750 kW
nadajniki AM	130 - 285 kHz 415 - 1606 MHz	300 m 50 m	90 V/m 450 V/m	1,8 MW
ekspozycja w miastach przez nadajniki RTV	1 - 1000 MHz		$>200 \text{ mW/m}^2$ $>10 \text{ mW/m}^2$ $>0,05 \text{ mW/m}^2$ $>0,02 \text{ mW/m}^2$	% ludności USA 0,02% 1% 50% 90%
stacje radarowe	1 - 10 GHz	0,1 - 1 km	$0,1 - 10 \text{ W/m}^2$	moc średnia 0,2 - 20 kW

Potencjalne zagrożenia PEM wysokiej częstotliwości, przede wszystkim dla pracowników, mogą pochodzić od urządzeń do nagrzewania za pomocą pól w.cz. (środowisko przemysłowe), od diatermii mikrofalowych i krótkofalowych oraz diatermii chirurgicznych do cięcia i elektrokoagulacji tkanek (środowisko medyczne; ze względu na nasycenie sal operacyjnych i

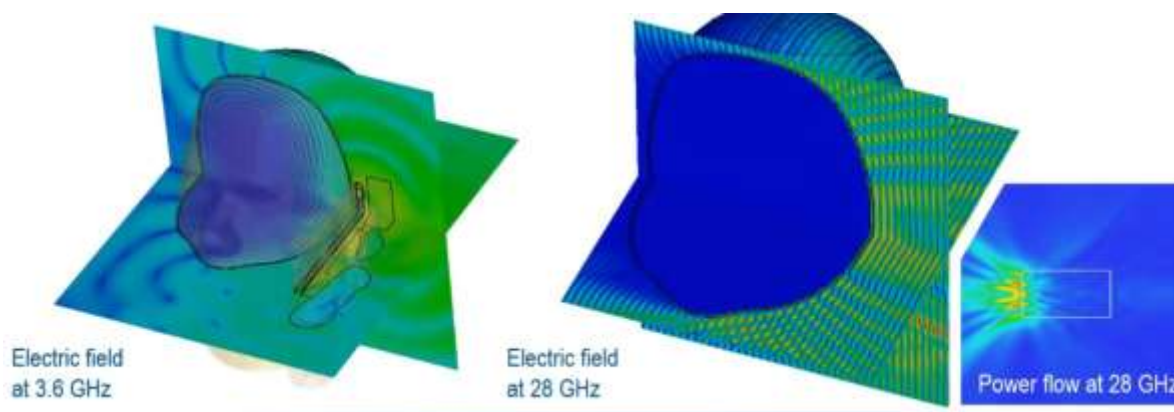
szpitalnych sprzętem elektronicznym problem ochrony pracowników służby zdrowia nabiera szczególnego znaczenia). Inżynierów telekomunikacji najbardziej interesuje środowisko radiokomunikacyjne (urządzenia do przesyłania informacji drogą radiową - nadajniki RTV, radionawigacja, radiolokacja, łączność satelitarna, radiokomunikacja ruchoma, w tym trunking i telefonia komórkowa). Tabela 15-2 przedstawia poziomy natężenie pól w.cz. pochodzących od najczęściej spotykanych źródeł w USA. Nadajniki RTV należące do firmy EmiTel (dawniej Telekomunikacja Polska) i innych operatorów nie wytwarzają w zdecydowanej większości przypadków natężeń pól uważanych za szkodliwe. W latach 90. nastąpił gwałtowny rozwój nowych stacji radiowych, TV i systemów radiokomunikacji porozumiewawczej. Każda nowa inwestycja radiokomunikacyjna wymaga sporządzenia analizy obszarów o podwyższonym narażeniu na PEM na etapie projektowania, a następnie po uruchomieniu nadajnika przeprowadza się pomiary kontrolne. O wiele większe zagrożenie powodują amatorzy łączności na pasmie CB. Dopuszczalna, maksymalna moc nadajnika CB wynosi 4 W. Niestety, wielu pseudoradioamatorów używa wzmacniaczy o mocach rzędu nawet 100 W. Nierzadko są to urządzenia o niedostatecznym ekranowaniu, które oddziałują szkodliwie na używające je osoby. Niedopasowanie impedancyjne i brak symetryzacji anten może prowadzić do przepływu prądów wyrównawczych po ekranie kabla. Prądy te są źródłem szkodliwego promieniowania, którym pseudoradioamator „uszcześliwia” rodzinę i swoich sąsiadów, dodatkowo powodując zakłócenia. Urządzenia stacji satelitarnych i linii radiowych nie stanowią zagrożenia dla środowiska. Niezadowolająca jest czasami ochrona środowiska przed promieniowaniem wytwarzanym przez urządzenia radiolokacyjne. Posiadają one moce w impulsie dochodzące do kilku MW i anteny o zysku kilkudziesięciu dB. Wiązki promieniowania pochodzące z tych urządzeń mogą omiatać tereny dostępne dla ludności polami o poziomach odpowiadających strefom ochronnym. W życiu codziennym duże dawki promieniowania możemy otrzymać z kuchenek mikrofalowych. Urządzenia te, pracujące na częstotliwości 2,45 GHz i z mocą do 1-2 kW, mogą wytwarzać w swoim otoczeniu pola elektromagnetyczne odpowiadające strefom ochronnym BHP. Powierzchniowa gęstość mocy w odległości 5 cm od powierzchni nowej kuchenki mikrofalowej w latach 60. XX w. w USA nie mogła przekraczać 100 W/m^2 (od 1971 r. 10 W/m^2). Pomiary w kuchniach (w warunkach amerykańskich) wykazały wartości gęstości powierzchniowej mocy rzędu 0,05 - 0,2 W/m^2 . Stwierdzono ponadto, że w miarę upływu czasu kuchenki mikrofalowe tracą szczelność elektryczną, co powoduje wzrost promieniowania. Dość duże (relatywnie) promieniowanie wydobywa się poprzez siatkę i szczeliny w drzwiach, nie należy zatem z bliska zaglądać do środka pracującej kuchenki. Podczas pracy kuchenki wskazane jest opuszczenie pomieszczenia, w którym się ona znajduje, lub zachowanie odległości min. 2 m.

Zajmiemy się teraz dokładniej zagrożeniami płynącymi z używania radiotelefonów przenośnych oraz telefonów komórkowych. Mimo relatywnie małych mocy urządzenia te znajdują się blisko głowy. Najpierw rozpatrzmy urządzenia analogowe pracujące z modulacją częstotliwości (systemy dyspozytorskie, trunkingowe, krótkofalowcy). Fala nośna o stałej amplitudzie jest tu emitowana przez cały czas pracy nadajnika. Popularne są radiotelefony przewoźne instalowane w samochodach. Na podstawie licznych badań należy stwierdzić, że ludzie znajdujący się wewnątrz samochodu są skutecznie ekranowani karoserią od pól w.cz. w zakresie do 300 MHz. Energia w.cz. zaabsorbowana przez nich wynosi nie więcej niż 1% energii promieniowanej przez antenę. Sytuacja zmienia się diametralnie dla wyższych częstotliwości. Energia w.cz. może wtedy bez przeszkód przenikać do wnętrza karoserii. Parametrem określającym ilość pochłoniętej przez organizm energii jest **współczynnik SAR** (specific absorption rate), który można określić jako ilość mocy pochłoniętej na jednostkę masy (wymiar W/kg). Pomiary wykonane przy użyciu manekinów umieszczonych w samochodach wykazują wartości znacznie niższe niż wartość graniczna 0,4 W/kg dla 150 MHz (wg normy amerykańskiej ANSI [1] dla pracowników). Duże znaczenie ma miejsce zamontowania anteny (najlepiej na środku dachu) i kształt karoserii. Sprzęt instalowany w samochodach ma dość dużą moc, rzędu 10 - 100 W. Nie należy zapominać, że promieniowanie pochodzące z radiotelefonów samochodowych może być

szkodliwe dla postronnych przechodniów, przy których zatrzymał się pojazd. Antena znajduje się wtedy na wysokości klatki piersiowej lub głowy. O wiele większe zagrożenie dla użytkowników powodują radiotelefony przenośne (osobiste). Wyniki pomiarów współczynnika SAR dla radiotelefonu osobistego FM pracującego w zakresie 450 MHz z mocą 6,4 W, trzymanego w odległości 5 cm od ust są następujące [7]: średnia wartość SAR dla głowy wyniosła 0,15 W/kg (wartość graniczna w normie ANSI 0,4 W/kg - środowisko kontrolowane), wartość szczytowa dla oka 1,2 W/kg (wartość szczytowa wg ANSI 8 W/kg), natomiast wartość średnia dla całego ciała wyniosła 0,05 W/kg. Zbliżenie radiotelefonu do ust powodowało wzrost szczytowej wartości SAR w oku do wartości równej 4 W/kg. Pomiary różnych radiotelefonów wskazują, że zwykle ok. 50 % promieniowanej mocy zamienia się na ciepło w ciele operatora, z czego większość (do 80 - 90 %) wydziela się w głowie. Normy amerykańskie są oparte o efekt termiczny. Pomiary wykonane kilkanaście lat temu przez autora dla radiotelefonu FM o mocy 2 W i częstotliwości 167 MHz trzymanego w odległości 10 - 15 cm od ust wykazały, że wokół głowy wytwarzają się natężenia pól odpowiadające wg ówczesnych, polskich norm BHP strefie zagrożenia (34 V/m). Dla mocy 0,3 W natężenia pola elektrycznego (7,7 V/m) kwalifikowały się do strefy pośredniej. Fakt, że radiotelefony lub telefony komórkowe trzymane są zwykle przy uchu lub ustach, powoduje powstanie wewnątrz głowy lokalnych stref o dużych wartościach natężenia pola elektrycznego (hot spots). Największe natężenia pola powstają w przypadku, gdy telefon jest trzymany równolegle do osi pionowej głowy tuż przy uchu. O ile dla małych mocy typowych dla telefonów komórkowych oddziaływania termiczne nie są groźne (wzrost temperatury rzędu 0,2 °C), o tyle nie wiadomo, jaki może być efekt nietermiczny oddziaływania pola w.cz. na komórki mózgu. Telefony analogowe systemu NMT miały moc maksymalną równą 1 W. Ich dodatkową zaletą (obecną również we współczesnych systemach cyfrowych) jest regulacja mocy w zależności od warunków propagacyjnych. Największa moc nadawania występuje na granicy zasięgu stacji bazowej (komórki) oraz w przypadku, gdy tłumienie sygnału jest duże (rozmowa z wnętrza budynku, samochodu, lasu). Należy jednak zwrócić uwagę, że metalowe przedmioty znajdujące się w naszym otoczeniu mogą powodować lokalny wzrost natężenia pola elektrycznego. Przedmioty te mają różne częstotliwości rezonansowe (np. sztucze 300 - 600 MHz, okulary 350 - 1000 MHz). Szczególnie duży wpływ mają okulary, których częstotliwość rezonansowa pokrywa się z pasmem wykorzystywanym przez telefonię komórkową GSM 900. Badania wykazały, że lokalny wzrost natężenia pola wokół okularów może wynieść nawet 20 dB. Sytuację pogarsza też fakt, że metalowe okulary mogą stykać się ze skórą, po której zaczynają wtedy płynąć prądy w.cz. Należy pamiętać, że przez ciało operatora (ręce stanowiące przeciwagę anteny, usta) może płynąć prąd o wartości kilkudziesięciu - kilkuset mA. W tab. 15-3 przedstawiono wyniki pomiarów prądu ręki i ust od radiotelefonów o różnych częstotliwościach i mocy 5 W. W Polsce używa się także telefonów bezprzewodowych w standardzie CT1 o mocy do 10 mW w pasmie 900 MHz. Ze względu na małą moc ich wpływ na organizm ludzki jest do pominięcia. O wiele bardziej korzystne wartości mocy średniej w porównaniu z systemem NMT uzyskujemy w telefonach komórkowych GSM. Pracują one impulsowo w czasie trwania jednej szczeliny. W zależności od typu wokodera (pełny lub połówkowy) współczynnik wypełnienia wynosi 1/8 lub 1/16. Dla typowego telefonu o mocy w impulsie 2 W (pasmo 900 MHz) daje to odpowiednio moc średnią 250 mW i 125 mW. Są to zatem wartości małe, nie powodujące szkodliwych oddziaływań termicznych. Symulacje przeprowadzone dla głowy wykazują wartości współczynnika SAR (0,7-1,2 W/kg dla GSM 250 mW, 0,5-1 W/kg dla DCS-1800) nie przekraczające dopuszczalnej normą ANSI wartości szczytowej 1,4 W/kg (dla całego ciała 0,08 W/kg) dla tzw. populacji generalnej (środowisko niekontrolowane). Wartości SAR zależą silnie od typu telefonu komórkowego, a wyniki badań i symulacji nie były kiedyś zbyt chętnie ujawniane przez producentów sprzętu, choć uległo to zmianie [9]. Należy też pamiętać, że dopuszczalna wartość SAR w normie ANSI uwzględnia tylko efekt termiczny. Zaletą telefonów GSM jest regulacja mocy nadajnika w zależności od warunków propagacji (10 poziomów mocy co 2 dB od 20 mW do 2 W w impulsie). Ponieważ jednak w czasie trwania impulsu moc osiąga wartość szczytową 2 W, to wartość szczytową osiąga też natężenie pola elektrycznego wewnątrz głowy. Może ono powodować efekty nietermiczne, które są aktualnie

przedmiotem intensywnych badań. W widmie sygnału GSM mogą pojawić się składowe o częstotliwościach 8,3 Hz (kanał sterowania SACCH) lub 2,1 Hz (szum maskujący przy przerwie w rozmowie). Sygnały te mogą powodować zaburzenia w pracy serca, szczególnie u osób wspomaganych rozrusznikami. Dla częstotliwości 217 Hz (pole ELF) wartość indukcji z tyłu aparatu GSM o mocy w impulsie 2 W jest rzędu 0,8 mT. Należy pamiętać, że telefony komórkowe mogą włączać się samoczynnie, np. w celu poszukiwania nowej lub silniejszej stacji bazowej. Popularne stały się terminale standardu DCS-1800 (GSM 1800), których moc średnia wynosi 125 mW (1 W w impulsie). Najmniejsze oddziaływanie na organizm człowieka wywołują terminale systemu DECT o mocy średniej 10 mW.

Obecnie trwają intensywne prace nad systemami 5G, które będą wykorzystywać pasma leżące w zakresie centymetrowym i milimetrowym. O ile dla niższych częstotliwości ($f < 6\text{GHz}$) penetracja pola do wnętrza ciała jest większa i można łatwo wyznaczyć współczynnik SAR, o tyle dla wyższych częstotliwości penetracja jest bardzo mała (rys. 15.6) i współczynnik ten traci sens. Wprowadza się wtedy badanie przepływu mocy (power flow) w wybranych płaszczyznach położonych w bliskiej odległości od badanego urządzenia. Metody pomiaru pól em. (ochrona środowiska i BHP) dla systemów 5G są obecnie w fazie opracowywania [108, 109].



Rys. 15.6. Porównanie penetracji fali em. dla 3,6 GHz i 28 GHz [100]

Podstawą działania telefonii komórkowej jest generowanie PEM przez aparat przenośny i emitowanie go w przestrzeń w taki sposób, aby za pomocą stacji bazowej w terenie nawiązać łączność z drugim abonentem. Nieporozumieniem jest zatem traktowanie w tym przypadku PEM jako czynnika niepożądanego, gdyż jest ono wytwarzane przez telefon komórkowy celowo. Z punktu widzenia działania systemu ograniczenie promieniowania w stronę głowy jest uzasadnione tylko wtedy, gdy głowa osoby rozmawiającej nie przesłania fali rozchodzącej się między anteną telefonu komórkowego i anteną stacji bazowej. W praktyce orientacja telefonu komórkowego i ciała użytkownika względem stacji bazowej jest przypadkowa. Nowoczesne systemy telefonii komórkowej mają możliwość automatycznej regulacji mocy nadajnika telefonu komórkowego w zależności od warunków transmisji. Moc telefonu jest ustawiana na najmniejszym poziomie, który gwarantuje dobrą jakość transmisji. Gdy ciało człowieka znajduje się na drodze fali, rośnie tłumienie sygnału na drodze telefon komórkowy - stacja bazowa. Zwiększenie tłumienia sygnału, np. przez reduktor natężenia pola umieszczony na obudowie telefonu, jest wykrywane przez stację bazową, która reaguje w taki sposób, że zwiększa moc promieniowaną przez telefon w celu utrzymania dobrej jakości transmisji. Oznacza to, że PEM wokół głowy abonenta powraca do poziomu, jaki byłby wokół telefonu bez założonego reduktora. Efekty wywołane nawet poprawnie i efektywnie działającym reduktorem zostaną w większości przypadków zniwelowane poprzez automatykę systemu radiokomunikacyjnego. Dodatkowe zwiększenie mocy powoduje też szybsze wyczerpanie akumulatora. Najczęściej spotykane reduktory to ferrytowe dławiki w postaci pasków przyklejanych do obudowy, których zadanie polega na ograniczeniu płynącego po niej prądu, okrągłe lub owalne płytki z materiału stratnego lub pokrowce wykonane z materiału przewodzącego w celu ekranowania promieniowania obudowy. Zaburzenie w rozkładzie prądu anteny zmienia jej

podstawowe parametry, co może być przyczyną zniekształcenia charakterystyki promieniowania lub pogorszenia dopasowania impedancyjnego. W obu przypadkach straty energii muszą być pokryte zwiększeniem mocy nadajnika telefonu. Badania oferowanych w handlu reduktorów wykazują ich praktyczną bezużyteczność. W świetle powyższych uwag o automatyce regulacji mocy w systemach telefonii komórkowej nieco dyskusyjne wydają się próby konstruowania anten do telefonów komórkowych, które zmniejszają poziom promieniowania w kierunku głowy. Ze względu na szerokopasmowość anten wykorzystywanych przez współczesne telefony komórkowe i smartfony, ich zysk energetyczny jest bardzo mały, co zmniejsza wartość EIRP. Aparaty telefoniczne z lat 90. miały o wiele większy zysk i wytwarzały wokół siebie znacznie silniejsze pola w porównaniu ze współczesnymi terminalami. Oznacza to, że dziś użytkownicy telefonów komórkowych są w znacznie lepszej sytuacji niż 20 lat temu. Anteny terminali przenośnych 3G i 4G są znacznie gorsze niż anteny systemów 2G. Powodem jest gorsze dopasowanie impedancyjne i sprawność energetyczna. Obecnie zauważa się tendencję do poprawy parametrów anten terminali 5G. Z kolei anteny stacji bazowych będą wykorzystywać technikę MIMO oraz elektroniczne sterowanie wiązką w płaszczyźnie pionowej i poziomej. Niesie to za sobą konieczność opracowania nowych technik pomiaru pól em. dla celów BHP i ochrony środowiska [110]. Układy antenowe ze sterowaną wiązką, które zwiększają zysk energetyczny i moc EIRP, będą konieczne w zakresie fal milimetrowych (mmWAVE). Aby osiągnąć zakładane pokrycie sygnałem w systemach 5G, konieczne będzie dzielenie makrokomórek na mniejsze podkomórki (nano-, piko- i femtokomórki), co jest dodatkowo rozwiązaniem pożądanym z punktu widzenia ekologii [111].

Ochrona pracowników obsługujących urządzenia przemysłowe polega przede wszystkim na niedopuszczeniu do przebywania pracowników w strefie o przekroczonym poziomie PEM i bezpośredniego dotknięcia ciałem metalowych części urządzeń, np. zgrzewarek, które są pod napięciem w.c.z. W jednej ze stoczni pracownik dotknął haka dźwigu i został porażony napięciem w.c.z., jakie zaindukowało się pod wpływem stacji średniofalowej znajdującej się w pobliżu. Noszenie rękawic ochronnych znacznie zmniejsza ryzyko takich wypadków. Otoczenie wyłączników, pedałów powinno być pokryte warstwą materiału izolacyjnego. W czasie pracy urządzeń emitujących pole w.c.z. obsługa powinna znajdować się jak najdalej od niego. Czasami zmiana miejsca już o kilka cm powoduje znaczną redukcję natężenia pola. Krzesła stosowane przez pracowników powinny mieć jak najmniej elementów metalowych (najlepiej drewniane).

Tab. 15-3. Prądy ręki i ust dla radiotelefonów. Oznaczenia: ΔE - wzrost natężenia PEM radiotelefonu w rękę w stosunku do radiotelefonu izolowanego, I_r - prąd ręki, I_u - prąd ust

CZĘSTOT.	ΔE	I_r [mA]	I_u [mA]	ANTENA	MOC [W]
27 MHz	15×	170	120	1,5 m	5
27 MHz	10×	150	100	25 cm	5
144 MHz	3×	90	70	5/8 λ	5
144 MHz	2×	80	70	15 cm	5
432 MHz	1,5×	50	50	12 cm	5

Techniczne środki ochrony przed promieniowaniem w.c.z. można podzielić na trzy grupy:

- ekranowanie źródła promieniowania
- ekranowanie stanowiska pracy
- ekranowanie samego pracownika (ubioy ochronne).

Ekranowanie powinno być wykonane za pomocą blachy miedzianej lub aluminiowej o grubości równej co najmniej pięciu głębokościom wnikania. Zamiast blachy można wykorzystać

siatkę, jednak rozmiary jej oczka powinny być mniejsze od dziesiątej części fali. Podstawową regułą ekranowania jest zapewnienie dobrego połączenia elektrycznego między poszczególnymi częściami ekranu oraz likwidacja szczelin w obwodach ekranujących. Istotnym warunkiem jest też uziemienie ekranów i samego źródła. W pobliżu źródeł nie należy gromadzić przedmiotów metalowych, które są przyczyną powstawania odbić i fal stojących (lokalne zwiększenie natężenia pola). Przedmioty te mogą zachowywać się jak anteny bierne. W sytuacji, gdy nie jest możliwe ekranowanie źródeł czy stanowisk pracy, stosuje się indywidualne środki ochrony. Składają się one ze specjalnych ubrań wykonanych z tkanin metalizowanych (płaszcz, fartuchy z kapturem, rękawice). Obowiązkowym uzupełnieniem takiego ubrania są okulary wykonane z polerowanego szkła z zatopioną siatką metalową. Zamiast kaptura można stosować hełmy z siatki drucianej. Na skutek rezonansu kombinezony takie mogą w niektórych przypadkach wywoływać w swym wnętrzu lokalny wzrost natężenia pola elektromagnetycznego nie zabezpieczając przebywającej w nim osoby. Należy także przestrzegać rygorystycznie czasu przebywania w wyznaczonych strefach ochronnych i skracania czasu pobytu pracowników pracujących w strefie zagrożenia. Pracownicy narażeni na promieniowanie wymagają stałej opieki lekarskiej mającej na celu uchwycenie ewentualnych objawów niepożądanych. W przypadku wystąpienia objawów stosuje się w razie potrzeby leczenie szpitalne lub ambulatoryjne, natomiast pracownik powinien rozważyć zmianę miejsca pracy lub stanowiska w celu uniknięcia dalszej ekspozycji na pole w.c.z. Występowanie innych czynników, takich jak hałas, drgania, złe warunki mikroklimatyczne, substancje toksyczne w powietrzu czy promieniowanie ultrafioletowe, zwiększa zagrożenie promieniowaniem w.c.z.

Poziomy wyznaczające strefy bezpieczeństwa zależą od rozpatrywanego pasma częstotliwości oraz charakteru nadawanego sygnału (stacjonarny lub impulsowy). Poziomy te podaje się w dwojaki sposób:

- poprzez dopuszczalne wartości natężenia pola elektrycznego, magnetycznego lub powierzchniową gęstość mocy przenoszoną przez falę
- poprzez dopuszczalne wartości energii absorbowanej przez ciało człowieka (SAR).

W zakresie mikrofalowym określa się przede wszystkim powierzchniową gęstość mocy. Dla niższych częstotliwości podaje się niezależnie natężenie pola elektrycznego i magnetycznego. Dla dużych częstotliwości już w stosunkowo małej odległości od źródła mamy do czynienia z falą płaską, w której wektory E i H są powiązane impedancją falową ośrodka. Dla mniejszych częstotliwości i tuż przy antenach występuje strefa bliska lub pośrednia, dlatego też należy mierzyć osobno natężenia pól E i H .

Normy dotyczące bezpieczeństwa dzielą ludzi na dwie grupy. Pierwszą są pracownicy zatrudnieni przy źródłach PEM, świadomi zagrożeń oraz sposobów ich minimalizacji (środowisko kontrolowane). Do nich odnoszą się przede wszystkim przepisy dotyczące BHP. Dopuszczalne natężenia pól są w ich przypadku większe, uwzględniają bowiem 8-12-godzinny dzień pracy, a także ciągłą kontrolę lekarską. Druga grupa (general public) obejmuje ludzi nie stykających się zawodowo ze źródłami PEM (środowisko niekontrolowane). Mogą oni przebywać nawet całą dobę w miejscach o zwiększonym promieniowaniu nie będąc świadomymi tego faktu. Grupa ta jest bardziej wrażliwa na promieniowanie, gdyż obejmuje dzieci, kobiety w ciąży, chorych, starszych itp. Do tej ludności odnoszą się przepisy dotyczące ochrony środowiska naturalnego. Polskie normy dotyczące ochrony środowiska i pracy w polach w.c.z. należą do najbardziej restrykcyjnych na świecie. Powodem jest uwzględnianie potencjalnych oddziaływań nietermicznych, podczas gdy normy amerykańskie i większość zachodnioeuropejskich są oparte głównie o oddziaływanie termiczne. Standardowy człowiek (70 kg, 175 cm wzrostu) wykonujący lekką pracę potrzebuje 2500 kcal na 24 godziny. Oznacza to zapotrzebowanie ok. $1,5 \text{ kcal}/(\text{kg}\cdot\text{h}) = 6280 \text{ J}/(\text{kg}\cdot\text{h})$. Tolerancja cieplna, czyli możliwość rozpraszania dodatkowej ilości ciepła dla uniknięcia podwyższenia temperatury wynosi $4 \text{ W}/\text{kg}\cdot 3600 \text{ s} = 14400 \text{ J}/(\text{kg}\cdot\text{h})$. Dla tej ilości ciepła należy

przyjąć współczynnik bezpieczeństwa wynoszący 0,1, uwzględniający rozmaite czynniki utrudniające rozpraszanie ciepła, co daje $14400 \text{ J}/(\text{kg}\cdot\text{h})/10 = 1440 \text{ J}/(\text{kg}\cdot\text{h})$. W ocenie narażenia na energię elektromagnetyczną brane są pod uwagę dowolne okresy wynoszące 0,1 h i dla takiego okresu dopuszczalne dostarczanie ciepła wynosi $1440 \text{ J}/(\text{kg}\cdot\text{h})/0,1 \text{ h} = 144 \text{ J}/(\text{kg}\cdot 6\text{min}) = 0,4 \text{ W}/\text{kg}$. Jest to wartość współczynnika SAR dla pracowników pod kontrolą. Dla populacji ogólnej wartość SAR wynosi zwykle 0,08 W/kg.

Ochronę ludzi przed promieniowaniem niejonizującym regulują w Polsce następujące akty prawne: [101] (ochrona środowiska) i [92], [93] i [94] (pracownicy - BHP). Do sierpnia 1998 r. w zakresie ochrony środowiska obowiązywało rozporządzenie [39], które wyróżniało strefę ochronną pierwszego stopnia, w której zabronione było przebywanie ludności z wyjątkiem osób zatrudnionych przy eksploatacji źródeł PEM i strefę ochronną drugiego stopnia, w której dopuszczano się okresowe (jedna zmiana robocza) przebywanie ludności związane z prowadzeniem działalności gospodarczej, turystycznej, rekreacyjnej i zabraniało się lokalizować budynki mieszkalne, szpitale, żłobki, przedszkola itp. Do 2003 r. obowiązywało rozporządzenie [38]. Wartości graniczne PEM (z punktu widzenia ochrony środowiska) obowiązujące do końca 2019 r. wg [59] w Polsce są podane w tab. 15-4. Od stycznia 2020 obowiązuje nowe rozporządzenie [101], które znacznie podniosło wartości graniczne natężenia pola. W przedziale od 10 MHz do 400 MHz dopuszczalna powierzchniowa gęstość mocy wynosi $2 \text{ W}/\text{m}^2$, w przedziale od 400 MHz do 2 GHz wynosi $f/200$, natomiast między 2 GHz a 300 GHz aż $10 \text{ W}/\text{m}^2$ (stukrotny wzrost wartości dopuszczalnej). W lutym 2020 r. ukazało się rozporządzenie [113], dokładnie opisujące metody pomiaru PEM na potrzeby ochrony środowiska.

Tab. 15-4. Dopuszczalne poziomy PEM z punktu widzenia ochrony środowiska wg nieaktualnego rozporządzenia [59]

f	Pole E	Pole H	Gęstość mocy
50 Hz	10 kV/m	60 A/m	-
0,001 - 0,3 MHz	20 V/m	3 A/m	-
3 - 300 MHz	7 V/m	-	-
0,3 - 300 GHz	7 V/m	-	$0,1 \text{ W}/\text{m}^2$

Ochronę pracowników (przepisy BHP) do lipca 2001 r. określały przepisy [35], [36] i [37], a do lipca 2016 r. [45] i [64]. Wartości stref ochronnych wg starych przepisów przedstawiają tab. 15-5 – 15-8.

Z punktu widzenia BHP do 2017 roku rozróżniano następujące strefy:

- **bezpieczną**, w której można przebywać bez ograniczeń czasowych, oraz następujące strefy chronione, w których mogą przebywać wyłącznie pracownicy, u których w wyniku przeprowadzonych badań lekarskich stwierdzono brak przeciwwskazań zdrowotnych do przebywania w zasięgu pól elektromagnetycznych:
- **pośrednią**, w której mogą przebywać pracownicy zatrudnieni przy naprawach, przeglądach, obsłudze lub stosowaniu urządzeń wytwarzających pola elektromagnetyczne w czasie jednej zmiany roboczej,
- **zagrożenia**, w której mogą przebywać pracownicy wymienieni wyżej przez czas ograniczony; dopuszczalny czas przebywania w tej strefie ulega skróceniu zależnie od natężenia pól elektromagnetycznych (nie dłużej niż 8 godzin),
- **niebezpieczną**, w której przebywanie pracowników jest zabronione (zakaz wstępu).

Rozporządzenie [45], które było dość mocno krytykowane przez środowisko osób zajmujących się tą tematyką [48], określało szczegółowo parametry charakteryzujące PEM dla celów ochronnych:

- widmo częstotliwości [f, Hz],
- natężenie pola magnetycznego [H, A/m],
- natężenie pola elektrycznego [E, V/m],
- dozę rzeczywistą pola magnetycznego strefy zagrożenia [Dh, (A/m)²],
- dozę rzeczywistą pola elektrycznego strefy zagrożenia [De, (V/m)²],
- wskaźnik ekspozycji dozy w strefie zagrożenia [W].

Zrezygnowano z pomiaru gęstości mocy (S). Nowością w porównaniu z poprzednimi przepisami było objęcie ochroną całego zakresu częstotliwości od pól statycznych aż po 300 GHz. Przebieg dopuszczalnych natężeń pola elektrycznego i magnetycznego w funkcji częstotliwości dla narażenia odpowiadającego zmianie roboczej (granica strefy pośredniej i zagrożenia E1(f) i H1(f)) wg przepisów obowiązujących do lipca 2016 r. przedstawia rys. 15.7, a odpowiednie wartości numeryczne tab. 15-8.

Wartości graniczne dla pozostałych stref wyznaczane były wg zależności:

- strefa niebezpieczna (wartość graniczna między strefą niebezpieczną i zagrożenia)

$$E2(f) = 10E1(f), H2(f) = 10H1(f)$$

(rozporządzenie [45] określa wyjątki od tej reguły)

- strefa pośrednia (wartość graniczna między strefą pośrednią i bezpieczną)

$$E0(f) = E1(f)/3, H0(f) = H1(f)/3$$

W strefie zagrożenia ekspozycja powinna spełniać jednocześnie następujące warunki:

$$DE(f) \leq DdE(f)$$

$$DH(f) \leq DdH(f)$$

$$W \leq 1$$

gdzie:

DE(f) – doza rzeczywista pola elektrycznego o częstotliwości f,

DH(f) – doza rzeczywista pola magnetycznego o częstotliwości f,

DdE(f) i DdH(f) – dozy dopuszczalnego pola elektrycznego i magnetycznego o częstotliwości f (patrz tab. 15-8),

W – wskaźnik ekspozycji dla dozy rzeczywistej pola elektrycznego i dozy rzeczywistej pola magnetycznego (doza pola mag. dotyczy tylko zakresu częstotliwości do 3 GHz).

Gdy ekspozycja o działaniu miejscowym dotyczyła wyłącznie kończyn, dopuszczano się zwiększone ich narażenie na pola magnetyczne o natężeniach 5 razy większych od dopuszczalnych dla całego ciała, z równoczesnym dopuszczeniem dozy dla kończyn 25 razy większej od dozy dla całego ciała.

Rozporządzenie [45] nic nie mówiło na temat pomiaru kilku źródeł (w odróżnieniu od rozporządzenia [59]), co mogło sprawiać kłopoty formalne.

Nowe, aktualnie obowiązujące rozporządzenie [92] nakłada na pracodawcę, który użytkuje źródła pola em. lub przestrzeń pracy, w której występuje pole emitowane ze źródła znajdującego się w tej przestrzeni lub poza nią, pewne obowiązki. Podstawowym obowiązkiem jest rozpoznanie:

- źródła pola em. znajdującego się w przestrzeni pracy lub poza nią
- poziomu ekspozycji w przestrzeni pracy.

W tym celu pracodawca może wykorzystać dane dotyczące:

- parametrów technicznych źródła pola em. określonych przez producenta w instrukcji eksploatacji lub innej dokumentacji technicznej
- środków ochronnych zastosowanych w celu ograniczania emisji ze źródła pola em. stanowiących jego stałe wyposażenie, w szczególności elementów takich jak blokady, obudowy, osłony lub ekrany
- poziomu emisji ze źródła pola em. do środowiska lub poziomu pola em. w jego otoczeniu, dostępne na podstawie wymagań określonych w odrębnych przepisach
- charakterystyki ekspozycji na pole em., w szczególności przedstawione w załączniku nr 1 do rozporządzenia [92]
- zakresu użytkowania źródła pola em. oraz wpływu wykonywanych prac na poziom emisji lub poziom ekspozycji.

Dodatkowym obowiązkiem pracodawcy użytkującego źródła pola elektromagnetycznego lub przestrzeń pracy, w której występuje takie pole, jest przeprowadzenie badań lekarskich poza terminami wynikającymi z częstotliwości wykonywania badań okresowych pracownikowi w przypadku zgłoszenia niepożądanych skutków dla zdrowia lub pracującemu w przypadku podejrzenia, że skutkiem narażenia mogło być przekroczenie górnych limitów GPO (miara oddziaływania pola em. na pracujących). Pracodawca musi też opracować i wprowadzić program stosowania środków ochronnych w przypadku, gdy ocena zagrożeń elektromagnetycznych wykaże możliwość oddziaływania pola o wartościach ze stref ochronnych na pracujących lub osoby potencjalnie narażone, co oznacza, że aktualny sposób pracy narusza tzw. wskaźnik narażenia (>1). W tym programie pracodawca musi uwzględnić, w zależności od rozpoznanych zagrożeń i ich poziomu, działania polegające na:

- wprowadzaniu metod pracy ograniczających poziom narażenia na pole (całkowity zakaz dla młodocianych i ciężarnych),
- doborze urządzeń o możliwie najniższej emisji pola, zapewniających osiągnięcie zamierzonych wyników ich użytkowania
- ograniczaniu emisji pola em. środkami technicznymi tam, gdzie to konieczne, przez stosowanie urządzeń ochronnych, takich jak blokady, obudowy, osłony czy ekrany (środki ochrony zbiorowej),
- wyznaczeniu zasięgów stref ochronnych oraz ograniczeniu dostępu do nich i odpowiedniemu oznakowaniu źródeł pola em., miejsc narażenia i rozpoznanych rodzajów zagrożeń (jeżeli dostęp do tych źródeł pola lub miejsc narażenia jest, z powodu innych zagrożeń, odpowiednio ograniczony za pomocą środków technicznych, a pracujący lub osoby potencjalnie narażone zostali poinformowani o zagrożeniach em., nie trzeba stosować znaków i ograniczeń dostępu specyficznych dla pola em.),
- stosowaniu środków technicznych ograniczających wyładowania iskrowe i prądy kończynowe oraz zapoznaniu pracujących ze środkami ochronnymi stosowanymi w zakresie tych zagrożeń
- właściwej konserwacji źródeł pól em. i ich wyposażenia, stosowanych urządzeń ochronnych i środków ochrony zbiorowej oraz wyposażenia miejsc i stanowisk pracy,
- projektowaniu miejsc pracy i rozmieszczaniu stanowisk pracy w sposób umożliwiający izolowanie ich od źródeł pola oraz ograniczający jednoczesne narażenie na pola wytwarzane przez różne źródła,
- ograniczaniu czasu trwania ekspozycji pól i poziomu narażenia na pole em.,
- zapewnieniu prawidłowo dobranych środków ochrony indywidualnej,

- przestrzeganiu instrukcji producentów sprzętu, w szczególności w zakresie bezpiecznego użytkowania, zapobiegającego powstawaniu szkodliwych emisji pola em. lub nadmiernych poziomów narażenia.

Proces oceny należy powtarzać co najmniej raz na 4 lata. Tylko pracodawca jest odpowiedzialny za przygotowanie całej dokumentacji zgodnej z rozporządzeniem oraz programów ochrony, szkoleń i oznakowań.

Wskaźnik dziennego narażenia ogólnego W można wyliczyć ze wzoru [92]

$$W = T_g \cdot \left[\left(\frac{E}{IPNob-E} \right)^2 + \left(\frac{H}{IPNob-H} \right)^2 \right]$$

IPNob-E i IPNob-H to limity operacyjne bazowe interwencyjnych poziomów narażenia dla pola E i H, wzięte z aktualnego rozporządzenia w sprawie najwyższych dopuszczalnych stężeń i natężeń czynników szkodliwych, T_g – stosunek czasu przebywania w danym miejscu (czasu narażenia miejscowego) do 8 h, E i H - zmierzone wartości natężeń pól w przestrzeni pracy. Z miejscowych wartości E i H (odpowiadających położeniu głowy lub tułowia) można wyliczyć taką wartość T_g , by $W < 1$ i dobrać czas narażenia spełniający ten warunek. Ograniczenie czasu przebywania w strefie zagrożenia będzie teraz występować znacznie rzadziej (tylko dla dużych pól, dla których $W > 1$).

Pracodawcy powinni przeprowadzać szkolenia dla pracowników pracujących w strefach ochronnych. Szkolenia te powinny zapoznawać pracowników z granicami stref ochronnych na ich stanowisku pracy, środkami ochrony i prawidłowym sposobem ich stosowania, sposobem zmniejszenia narażenia na pole, bezpiecznymi sposobami pracy, limitami IPN i GPO, ograniczeniami dotyczącymi oddziaływania pola na osoby szczególnie chronione (kobiety w ciąży), bezpośrednimi i pośrednimi skutkami oddziaływania pola em. na organizm, sposobami wykrywania i zgłaszania niekorzystnych dla zdrowia skutków narażenia na pole i zakresu profilaktycznej opieki zdrowotnej.

Ponadto pracodawca musi konsultować z pracownikami lub ich przedstawicielami wszystkie działania dotyczące rozpoznania źródeł pola em. i typowania miejsc narażenia oraz wykonywania badań i pomiarów natężeń pola elektrycznego i magnetycznego zgodnie z rozporządzeniem [95].

Zmieniły się też definicje stref ochronnych. Ich znaczenie praktyczne znacznie zmalało i nie są one automatycznie powiązane ze skróceniem czasu pracy w obecności pola em. Obecnie wg [92] przestrzeń stref ochronnych jest rozumiana jako przestrzeń pracy, w której natężenie pola E lub H przekracza limit strefy dolnej granicy pośredniej, odpowiednio IPNp-E lub IPNp-H, określony w rozporządzeniu [94], w której wyróżnia się

- przestrzeń pola em. strefy niebezpiecznej, przebywanie w której, określane jako narażenie niebezpieczne, w ramach codziennej praktyki (typowych czynności) jest zabronione,
- przestrzeń pola em. strefy zagrożenia, przebywanie w której jest dopuszczalne pod warunkiem stosowania środków ochronnych określonych ze względu na rozpoznane zagrożenia em. wynikające z bezpośrednich lub pośrednich skutków oddziaływania pola em.,
- przestrzeń pola em. strefy pośredniej, przebywanie w której jest dopuszczalne pod warunkiem stosowania środków ochronnych ze względu na rozpoznane zagrożenia em. wynikające z pośrednich skutków oddziaływania pola em.

Przebywanie w strefie zagrożenia lub pośredniej określane jest jako narażenie kontrolowane. Przestrzeń pola em. strefy bezpiecznej określona jest jako przestrzeń poza strefami ochronnymi, do której nie określono warunków ograniczających ekspozycję. Przebywanie w tej strefie jest określane jako ekspozycja pomijalna.

Za bezpośrednie skutki biofizyczne oddziaływania pola em. na organizm człowieka uważa się:

- skutki termiczne (ogrzanie tkanki przez energię pola em.),
- skutki pozatermiczne (pobudzenie mięśni, nerwów lub narządów zmysłów, które mogą mieć szkodliwy wpływ na zdrowie psychiczne lub fizyczne; pobudzenie narządów zmysłów może prowadzić do przejściowych objawów, takich jak zawroty głowy czy wrażenia wzrokowe, mogące powodować przejściowe uciążliwości lub wpływać na funkcje poznawcze lub inne funkcje mózgu lub mięśni, przez co mogą wpływać na zdolność do bezpiecznego wykonywania pracy)
- prądy kończynowe indukowane - prądy pojemnościowe indukowane bezpośrednio w organizmie, przepływające w kończynach.

Za pośrednie skutki oddziaływania pola em. uważa się:

- zakłócenie działania urządzeń elektronicznych, w szczególności powodujące zakłócenie działania elektronicznego sprzętu medycznego (np. aparaty słuchowe) i elektronicznych wyrobów medycznych przeznaczonych do wprowadzania w całości lub w części do ludzkiego ciała, takich jak stymulatory serca, pompy insulinowe i inne aktywne implanty medyczne, spowodowane wrażliwością urządzeń na oddziaływanie pola em.,
- skutki termiczne oddziaływania na implanty mechaniczne, w szczególności na endoprotezy ortopedyczne lub naczyniowe i inne implanty medyczne,
- zagrożenie balistyczne, rozumiane jako zagrożenie powodowane gwałtownym przemieszczeniem się przedmiotów ferromagnetycznych w polu magnetostaticznym,
- uruchomienie urządzeń elektrycznych (sieci strzałowe, zapalniki) inicjujących detonację materiałów wybuchowych,
- zapłon materiałów łatwopalnych lub atmosfer wybuchowych, którego źródło mogą stanowić: wyładowania elektrostatyczne, iskrzenie w obiektach technicznych spowodowane prądem indukowanym w tych obiektach lub wyładowania iskrowe spowodowane prądem kontaktowym stanu przejściowego,
- prądy kończynowe kontaktowe - prądy przepływające w kończynach podczas dotykania obiektu w polu em., które mogą występować jako prądy: kontaktowe stanu ustalonego, gdy osoba ma ciągłą styczność z obiektem, lub kontaktowe stanu przejściowego, występujące w momencie rozpoczęcia lub przerwania styczności.

Zmieniły się limity definiujące strefy ochronne. Znaczenie stref ochronnych jest znacznie mniejsze niż we wcześniej obowiązujących przepisach. Obecne przepisy BHP są miejscami nieprecyzyjne i zagmatwane; faworyzują raczej pracodawcę, a nie pracownika.

Na wewnętrznej wkładce książki pokazano symbol służący do oznaczania poszczególnych stref ochronnych. Instytucje wykonujące pomiary pól elektromagnetycznych muszą posiadać akredytację uprawnionej jednostki (w Polsce jest to Polskie Centrum Akredytacji), co zapewnia

szczegółowość, rzetelność i powtarzalność wyników. Wymóg posiadania akredytacji wprowadziło rozporządzenie [95]. Rozporządzenie [92] skomplikowało sytuację, jeśli chodzi o metody pomiaru pola em. wykonywane przez laboratoria akredytowane. W obecnej chwili laboratoria mogą uzyskać akredytację w oparciu o starą metodę pomiaru (obowiązującą dla wcześniejszych przepisów), lecz wg [92] pomiar taki nie może być z formalnego punktu widzenia brany pod uwagę. Opracowano nową metodę pomiaru pól wokół obiektów nadawczych [98], która może stanowić podstawę akredytacji. Brak jest nadal opracowanych metodyk pomiaru dla innych źródeł pola em.

W zakresie ochrony środowiska w Polsce planuje się budowę systemu monitoringu SI2PEM [112]. Nie wydaje się jednak, aby system ten był w przyszłości wiarygodnym źródłem informacji o rzeczywistych wartościach pól em., na które może natknąć się przedstawiciel populacji generalnej. Rozwój Internetu Rzeczy (IoT) doprowadzi do występowania bardzo dużej liczby czujników wykorzystujących sieć 5G (oprócz dotychczas wykorzystywanych źródeł pól em.). Zakłada się, że średnia gęstość urządzeń wyniesie 1 milion na kilometr kwadratowy. Ze względów ekonomicznych niemożliwe będzie umieszczenie wystarczającej liczby czujników w systemie SI2PEM, aby w pełni rzetelnie monitorować rzeczywisty stan środowiska.

Tab. 15-5. Granice stref ochronnych dla pola magnetycznego o częstotliwości 0 i 50 Hz oraz pola EM o częst. 1 - 100 kHz (stare przepisy)

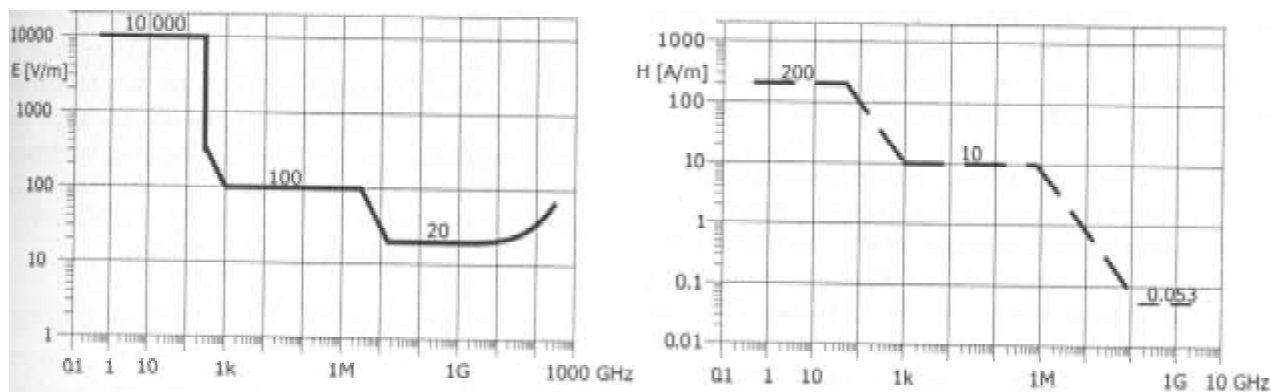
ZAKRES STREFA	0 Hz	50 Hz	1- 100 kHz	
	[kA/m] ([mT])	[kA/m] ([mT])	Pole E [V/m]	Pole H [A/m]
BEZPIECZNA	<8 (10)	<0.4 (0.5)	-	-
ZAGROŻENIA	8-80 (10-100)	0.4-4 (0.5-5)	100-1000	10-100
NIEBEZPIECZ.	>80 (100)	>4 (5)	>1000	>100

Tab. 15-6. Granice stref ochronnych dla częstotliwości 0,1 - 300 MHz (stare przepisy)

ZAKRES F STREFA	0,1- 10 MHz		10-300 MHz
	POLE E [V/m]	POLE H [A/m]	POLE E [V/m]
BEZPIECZNA	<20	<2	<7
POŚREDNIA	20-70	2-10	7-20
ZAGROŻENIA	70-1000	10-250	20-300
NIEBEZPIECZNA	>1000	>250	>300

Tab. 15-7. Granice stref ochronnych dla częstotliwości 0,3-300 GHz (stare przepisy)

STREFA	GĘSTOŚĆ MOCY [W/m ²]	
	POLE STACJONARNE	POLE NIESTACJON.
BEZPIECZNA	<0,1	<1,0
POŚREDNIA	0,1-2	1-10
ZAGROŻENIA	2-100	10-100
NIEBEZPIECZNA	>100	>100



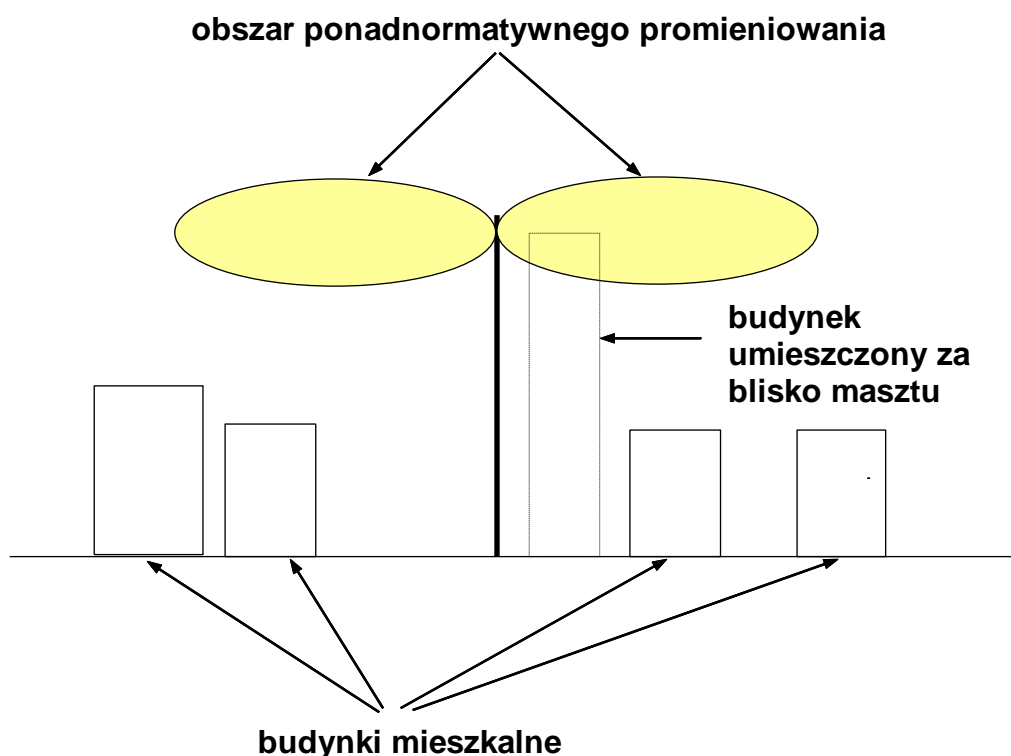
Rys. 15.7. Przebieg dopuszczalnych natężeń pola elektrycznego i magnetycznego w funkcji częstotliwości dla narażenia odpowiadającego jednej zmianie roboczej (stare przepisy - wg [45])

Tab. 15.8. Wartości numeryczne dopuszczalnych natężeń oraz doz pola elektrycznego i magnetycznego E1(f) i H1(f) (stare przepisy wg [45]). f – częstotliwość w jednostkach podanych w pierwszej kolumnie, h – czas ekspozycji w godzinach.

Zakres częstotliwości	E1(f) V/m]	DdE(f)
0 Hz ≤ f ≤ 0,5 Hz	20 000	3200 (kV/m) ² ·h
0,5 Hz < f ≤ 300 Hz	10 000	800 (kV/m) ² ·h
0,3 kHz < f ≤ 1 kHz	100/f	0,08f ² (kV/m) ² ·h
1 kHz < f ≤ 3 MHz	100	0,08 (kV/m) ² ·h
3 MHz < f ≤ 15 MHz	300/f	0,72/f ² (kV/m) ² ·h
15 MHz < f ≤ 3 GHz	20	3200 (V/m) ² ·h
3 GHz < f ≤ 300 GHz	0,16f + 19,5	(f/2 + 55) ² (V/m) ² ·h

Zakres częstotliwości	H1(f) [A/m]	DdH(f)
0 Hz ≤ f ≤ 0,5 Hz	8 000	512 (kA/m) ² ·h
0,5 Hz < f ≤ 50 Hz	200	0,32 (kA/m) ² ·h
50 Hz < f ≤ 1 kHz	10/f	800/f ² (A/m) ² ·h
1 kHz < f ≤ 800 kHz	10	800 (A/m) ² ·h
0,8 MHz < f ≤ 150 MHz	8/f	512/f ² (A/m) ² ·h
0,15 GHz < f ≤ 3 GHz	0,053	0,022 (A/m) ² ·h

Bardzo duże emocje wywołuje stawianie anten stacji bazowych telefonii komórkowych w terenie zabudowanym (nieco mniejsze niż dla anten radiofonicznych FM, choć promieniowane moce są tu znacznie większe). Zgodnie z obowiązującym prawem, zanim inwestycja tego typu zostanie zrealizowana, należy wykonać kwalifikację projektu pod kątem tego, czy wymaga on sporządzenia tzw. **raportu oddziaływania przedsięwzięcia na środowisko** (konieczność jego sporządzenia zależy od mocy EIRP oraz odległości od miejsca przebywania ludzi [91]), w którym wyznacza się granice obszaru ponadnormatywnego oddziaływania PEM na środowisko naturalne (rys. 15.8). Wyznaczone obszary nie mogą pokrywać się z miejscami, w których przebywają ludzie lub przeznaczonymi pod zabudowę mieszkalną. Przepisy prawne są obecnie dość skomplikowane, w ogólnym przypadku wymaganych jest kilka decyzji administracyjnych i konsultacje z organami ochrony środowiska i ochrony sanitarnej. Po zbudowaniu stacji bazowej lub nadajnika RTV dokonuje się pomiaru PEM, aby dodatkowo upewnić się, że promieniowanie nie zagraża ludności [51]. Od początku 2011 r. wprowadzony został obowiązek zgłoszenia źródła promieniowania o mocy powyżej 15 W EIRP do organu ochrony środowiska [85]. Poziomy promieniowania pochodzącego od stacji bazowych są niewielkie (oczywiście zgodne z wartościami wyznaczonymi przez odpowiednie przepisy) w porównaniu z poziomami pochodzącymi od ręcznych terminali komórkowych znajdujących się w pobliżu głowy. Paradoksalnie, większa liczba stacji bazowych może oznaczać zmniejszenie pochłaniania PEM przez użytkowników telefonów komórkowych mieszkających na danym osiedlu. Bliskość stacji bazowej powoduje, że tłumienie sygnału jest małe i nadajnik telefonu może pracować z niewielką mocą zbliżoną do 20 mW.



Rys. 15.8. Obszar ponadnormatywnego oddziaływania pola elektromagnetycznego wokół typowego masztu telefonii komórkowej

15.6. Zasady bezpiecznego korzystania z urządzeń radiokomunikacyjnych

Na podstawie przedstawionych wyżej informacji bezsporne wydaje się rozsądne korzystanie z urządzeń emitujących PEM, w tym szczególnie z urządzeń radionadawczych. Wyniki prowadzonych badań powinny za kilka - kilkanaście lat stwierdzić lub wykluczyć szkodliwość PEM. Dopóki jednak te wyniki nie są znane, źródła PEM należy traktować jako potencjalnie szkodliwe i minimalizować ryzyko zmian zdrowotnych poprzez odpowiednie ich używanie. Poniżej

sformułowano kilka zasad bezpiecznego posługiwania się i konserwacji sprzętu radiokomunikacyjnego, które uwzględniają zarówno efekty termiczne, jak i nietermiczne.

- Osoby dokonujące konserwacji anten, które nie zostały odłączone od nadajnika, nie powinny dotykać jednocześnie anteny oraz przedmiotów uziemionych, takich jak rynny, piorunochrony, maszt itp., gdyż może to spowodować przepływ prądu w.cz. i powstanie trudno gojących się oparzeń w miejscach dotknięcia przedmiotów metalowych; osoby te powinny również skrócić do minimum czas naprawy i przebywania w bezpośredniej bliskości anteny. Należy pamiętać, że bliskie podchodzenie do anten promieniujących duże moce może być niebezpieczne ze względu na powstanie łuku elektrycznego. Znany jest przypadek śmiertelny, kiedy to pracownik został poprzez wyładowanie łukowe porażony stałym napięciem anodowym z nadajnika średniofalowego.
- Należy zwrócić szczególną uwagę na poprawne podłączenie linii transmisyjnych w.cz. (przewód koncentryczny) do anteny i nadajnika, gdyż zerwanie kontaktu galwanicznego ekranu lub żyły może spowodować przepływ prądu w.cz. o dużej wartości po ekranie przewodu; wywoła to z kolei zwiększone promieniowanie całego przewodu (uwaga ta dotyczy również instalacji w samochodach). Oprócz zwiększonej emisji niepożądanego promieniowania wadliwa instalacja antenowa jest przyczyną pogorszenia łączności.
- Obudowy urządzeń nadawczych powinny być szczelne elektrycznie (wszystkie drzwi pozamykane) i uziemione.
- Należy ograniczyć do minimum przebywanie w strefach oznakowanych odpowiednimi symbolami, wskazującymi na podwyższone wartości natężeń pól.
- Nie należy zaglądać w otwarte końce falowodów lub promienniki anten nadawczych, powinno się unikać przebywania w wiązce głównej anten parabolicznych (linie radiowe, radary).
- Jeśli radiotelefon ma osobny mikrofon, to należy starać się odsunąć nadajnik od ciała tak daleko, na ile jest to możliwe i trzymać w dłoni tylko mikrofon, zaś w przypadku stosowania radiotelefonów osobistych i telefonów komórkowych należy trzymać je jak najdalej od ust i głowy (ale oczywiście w takiej odległości, aby korespondent był w stanie usłyszeć i zrozumieć głos nadawcy). Wskazane jest także zdjęcie okularów na czas rozmowy. W tab. 15-9 przedstawiono minimalne odległości od terminali ruchomych zalecane przez IRPA i ANSI, a w tab. 15-10 minimalne odległości proponowane przez niemiecką Komisję Ochrony przed Promieniowaniem.
- W przypadku nadawania z radiotelefonu przewoźnego osoba go obsługująca powinna znajdować się wewnątrz zamkniętego samochodu, a nie np. stać oparta w otwartych drzwiach, należy ponadto instalować antenę (o ile to możliwe) na środku dachu samochodu.
- Jeśli radiotelefon ma możliwość przełączania mocy wyjściowej, to należy ustawić zawsze minimalną moc, która gwarantuje połączenie z innym terminalem. Nie należy przekraczać mocy 2 W, moc 5 W powinna być używana tylko w stanach zagrożenia życia lub zdrowia (wypadek, klęska żywiołowa itp.). Korzystanie z radiotelefonów i telefonów komórkowych w pomieszczeniach powoduje wzrost tłumienia i zwiększenie mocy wyjściowej nadajnika.
- Należy ograniczyć rozmowy z radiotelefonów i przenośnych telefonów komórkowych, które są prowadzone wewnątrz pomieszczeń lub w samochodzie (rozmowa kierowcy przez telefon komórkowy w jadącym samochodzie może być przyczyną wypadku i jest zabroniona w niektórych krajach, w tym również w Polsce); wewnątrz samochodu zachowuje się jak wnęka rezonansowa i może powodować wzrost natężenia pola, ponadto znane są przypadki odpalenia poduszki powietrznej, wadliwego działania systemu ABS na skutek pracy telefonu komórkowego czy ustania pracy układu zapłonowego w polu pochodzącym z pobliskiego nadajnika radiofonicznego [41].
- Antena telefonu komórkowego powinna być maksymalnie wysunięta, gdyż ogranicza to pochłanianie energii przez głowę i zwiększa skuteczność promieniowania. Telefon należy przekładać co pewien czas z jednej strony głowy na drugą. Nadajnik telefonu komórkowego emituje większą moc podczas mówienia niż podczas słuchania. Jeśli to możliwe, należy

przestawić telefon GSM w tryb połówkowy wokodera (HR - Half Rate), co powoduje zmniejszenie promieniowanej mocy i jednocześnie wydłuża czas pracy akumulatorów. Nie zaleca się noszenia telefonów na pasku przy ciele, gdyż może to spowodować po dłuższym czasie kłopoty z pracą organów wewnętrznych. Niektórzy zalecają, aby dzieci nie używały w ogóle telefonów komórkowych.

- Łączność służbową przez telefony komórkowe i radiotelefony należy ograniczyć do niezbędnego minimum, a jeżeli istnieje możliwość skorzystania z telefonu stacjonarnego (szczególnie w przypadku dłuższej rozmowy) - należy wybrać to drugie rozwiązanie. Obowiązuje tu zasada zwana po angielsku „prudent avoidance”.
- Stan zdrowia pracowników i ich osobnicze predyspozycje mają również wpływ na ewentualne wystąpienie efektów ubocznych, dlatego każdy pracownik powinien przechodzić okresowe badania stwierdzające jego przydatność do pracy w polu elektromagnetycznym; bezwzględnie powinno się przestrzegać zakazu zatrudniania kobiet ciężarnych przy obsłudze urządzeń radionadawczych, suszarek mikrofalowych, zgrzewarek itp. (niektórzy sugerują odsunięcie kobiet w ogóle od pracy z tymi urządzeniami).
- Należy powstrzymać się od korzystania ze sprzętu emitującego silne PEM w miejscach, gdzie występują opary substancji łatwo palnych (stacje benzynowe itp.) lub silne zapylenie (magazyny mąki, młyny). Używanie telefonów komórkowych, a także innych urządzeń elektronicznych powszechnego użytku (szczególnie z rozbudowaną częścią cyfrową) na pokładzie samolotów może spowodować katastrofę na skutek zakłócenia pracy czułych urządzeń nawigacyjno - kontrolnych.

Tab. 15-9. Minimalne odległości od terminali ruchomych zalecane przez IRPA i ANSI [33]

Organizacja	f [MHz]	Moc [W]		Odległość [cm]	
				pracownicy	inni
IRPA (moc wyjściowa)	900	2		-	-
		4		1,5	3,0
		8		2,5	5,0
		20		4,0	8,0
	1800	1		-	-
		2		1,5	3,0
		8		3,5	7,0
		20		6	12,0
ANSI/IEEE (moc promieniow.)	<450	War. kontrol.	War. niekontrol.	2,5	2,5
		7	1,4		
	450 - 1500	7 (450/f)	1,4 (450/f)	2,5	2,5

Tab. 15-10. Minimalne odległości zalecane przez Komisję Ochrony Przed Promieniowaniem w Niemczech [33]. Moce telefonów komórkowych dostępnych na rynku nie przekraczają 2 W dla systemu GSM 900 MHz i 1 W dla systemu GSM 1800 MHz.

Zakres częstotliwości	Moc szczytowa	Minimalna odległość
450 MHz systemy analogowe	do 0,5W	bez ograniczenia
	do 1 W do 5 W	ok. 4 cm ok. 20 cm
900 MHz systemy analogowe	do 20 W	ok. 40 cm
	do 0,5 W do 1 W do 5 W	bez ograniczenia ok. 5 cm ok. 25 cm
900 MHz systemy cyfrowe GSM	do 20 W	ok. 50 cm
	do 2 W do 4 W do 8 W	bez ograniczenia ok. 3 cm ok. 5 cm
1800 MHz system cyfrowy DCS 1800	do 20 W	ok. 8 cm
	do 1 W do 2 W do 8 W do 20 W	bez ograniczenia ok. 3 cm ok. 7 cm ok. 12 cm

- Przebywania w silnych polach elektromagnetycznych, pochodzących z różnych źródeł, powinny unikać osoby z rozrusznikami serca. Szczególnie niebezpieczne mogą być urządzenia cyfrowej telefonii komórkowej, których sygnały mają składowe częstotliwościowe mogące stymulować wadliwą pracę serca. Rozrusznik wytrzymuje co prawda duże natężenia (rzędu 200 V/m), lecz przewód łączący go z sercem ma kilkadziesiąt cm i działa jak antena odbiorcza, w której mogą indukować się przebiegi zakłócające pracę serca. Silne pole magnetyczne może doprowadzić do zmiany programu pracy rozrusznika. Telefony komórkowe mogą zakłócać pracę rozruszników, jeśli znajdują się w odległości mniejszej niż 20 cm [46]. Najbardziej podatne na zakłócenia są stymulatory z elektrodami jednobiegunowymi bez wbudowanych filtrów przeciwwakłóceniowych. Komórek nie powinno się zatem nosić na wysokości serca, a w czasie rozmowy przykładając je do ucha po przeciwnej stronie wszczepionego stymulatora. Silnych pól elektromagnetycznych powinny też unikać osoby z wszczepionymi metalowymi protezami np. kości, gdyż powstałe w metalu prądy wirowe mogą doprowadzić do lokalnego wzrostu temperatury tkanek i poparzeń.
- Monitory komputerowe i odbiorniki TV starego typu (z lampami kineskopowymi) należy ustawiać w taki sposób, aby z tyłu obudowy nie znajdowali się ludzie (fotele, łóżka za ścianą z telewizorem, stanowiska pracy).
- Warto zawsze przybliżyć podstawowe zagadnienia osobom, które będą wykorzystywać lub już wykorzystują (nawet sporadycznie) w swojej pracy urządzenia radionadawcze. Pozwoli to na zwiększenie wśród pracowników świadomości co do przyczyn ewentualnego zagrożenia zdrowia i sposobów zabezpieczania się przed PEM.

Zdrowie ludzkie jest najwyższą wartością i dlatego pod żadnym pozorem nie wolno zaniechać działań, które mogą prowadzić do jego ochrony lub poprawy.

- Prace konserwacyjne lub naprawcze oraz użytkowanie w sposób ciągły urządzeń radionadawczych może wykonywać personel związany zawodowo z eksploatacją źródeł pól, który z pozytywnym wynikiem przeszedł przez:
- szkolenie specjalistyczne z zakresu bhp w polach elektromagnetycznych niejonizujących
- specjalistyczne badania lekarskie w zakresie określonym w [40].

Przeciwwskazania do pracy w PEM obejmują osoby ze schorzeniami krwi, ośrodkowego układu nerwowego, padaczką, zaćmą, jaskrą, chronicznym zapaleniem spojówek, schorzeniem nerwu wzrokowego, siatkówki i naczyńówki, stałym niedociśnieniem tętniczym, układu bodźcotwórczego serca, chorobą wrzodową, chronicznym zapaleniem wątroby i chorobami psychicznymi [17], [40].

Literatura

1. ANSI (American National Standard Institute), *IEEE Standard for Safety Levels with Respect to Human Exposure to Radio Frequency Electromagnetic Fields*. 3kHz to 300 GHz, New York 1992
2. D. J. Bem. *Kompatybilność w radiokomunikacji*. SAT-Audio-Video, nr 7-8/93, str. 36 - 39
3. D. J. Bem. *Impulsowe narażenia elektromagnetyczne*. SAT-Audio-Video, nr 10/93, str. 30 - 33
4. *Blisko mózgu*. Wywiad z prof. Leonem Drobniakiem, prorektorem Akademii Medycznej w Poznaniu, Gazeta Lubuska nr 296 z 20 - 21.12.1997
5. S. Bolkowski. *Elektrotechnika*, Wydawnictwa Szkolne i Pedagogiczne, Warszawa 1993
6. A. Dziak, A. Kamiński (red.). *Doraźna pomoc lekarska*. Państwowy Zakład Wydawnictw Lekarskich, Warszawa 1988
7. K. Fujimoto, J. R. James. *Mobile Antenna Systems Handbook*. Artech House, Boston - London 1994
8. Zalecenie IEC 479-1. *Effects of current passing through the human body*. 1984
9. A. Karwowski. *Narażenia elektromagnetyczne powodowane przez terminale doręcznej telefonii komórkowej*. Krajowa Konferencja Radiokomunikacji i Radiodyfuzji, Poznań 1998, str. 107 - 110
10. A. Karwowski, W. Nowak. *Narażenia elektromagnetyczne powodowane przez urządzenia telefonii komórkowej*. Materiały Krajowego Sympozjum Telekomunikacji, Bydgoszcz 1997, tom D, str. 317 - 326
11. F. Kokot (red.). *Choroby wewnętrzne*. Wydawnictwo Lekarskie PZWL, Warszawa 1996
12. A. Koperski. *Aktualny stan środowiska elektromagnetycznego w Polsce*. Materiały Krajowego Sympozjum Telekomunikacji, Bydgoszcz 1995, tom A, str. 153 - 158
13. F. Lewicki, S. A. Lesiak. *Oddziaływanie stacji bazowej GSM na środowisko*. Materiały Krajowego Sympozjum Telekomunikacji, Bydgoszcz 1997, tom D, str. 356 - 362
14. S. L. Micek, A. Surdacki, J. Dubiel. *Zmienność rytmu serca w zmiennym polu magnetycznym*. Materiały VIII Krajowego Sympozjum Nauk Radiowych URSI, Wrocław 1996, str. 241 - 244
15. H. Mikołajczyk. *Korzystne, nieszkodliwe i szkodliwe działanie energii elektromagnetycznej na ludzi*. Materiały Krajowego Sympozjum Telekomunikacji, Bydgoszcz 1995, tom A, str. 149 - 152
16. H. Mikołajczyk, M. Kameduła, T. Kameduła. *Kryteria biologiczno - lekarskie dopuszczalnych natężeń pól elektromagnetycznych*. Materiały VIII Krajowego Sympozjum Nauk Radiowych URSI, Wrocław 1996, str. 281 - 285
17. L. Minecki. *Promieniowanie elektromagnetyczne wielkiej częstotliwości. Działanie biologiczne i ochrona zdrowia*. Wydawnictwo Związkowe CRZZ, Warszawa 1967
18. L. Pacholski. *Ergonomia*. Skrypt Politechniki Poznańskiej, Poznań 1980
19. C. R. Paul. *Introduction to Electromagnetic Compatibility*. John Wiley, London 1992
20. R. Pełka. *Promieniowanie elektromagnetyczne i jego pomiary*. SAT-Audio-Video 1/92, str. 13
21. R. Pełka. *Szkodliwe promieniowanie elektromagnetyczne*. SAT-Audio-Video 10/92, str. 13 - 14

22. S. T. Perry, L. Geppert. *Do portable electronics endanger flight?* IEEE Spectrum, September 1996
23. Z. Piwowarczyk. *Ochrona zbiorowa i indywidualna przed silnymi polami elektromagnetycznymi z zakresu mikrofalowego.* Materiały Krajowego Sympozjum Telekomunikacji, Bydgoszcz 1997, tom A, str. 151 - 156
24. A. Sowiński. *Co to jest kompatybilność elektromagnetyczna?* Radioelektronik Audio-Hi-Fi-Video, nr 11/92, str. 5 - 6
25. S. Szmigielski. *Ryzyko zdrowotne pracy w polach radio- i mikrofalowych.* Materiały Krajowego Sympozjum Telekomunikacji, Bydgoszcz 1997, tom A, str. 137 - 148
26. J. Thuery. *Microwaves: Industrial, Scientific, and Medical Applications.* Artech House, London 1992
27. H. Trzaska. *Ochrona środowiska elektromagnetycznego.* Materiały Krajowego Sympozjum Telekomunikacji, Bydgoszcz 1995, tom A, str. 143 - 148
28. H. Trzaska. *Czy i jak chronić się przed polami elektromagnetycznymi?* Materiały Krajowego Sympozjum Telekomunikacji, Bydgoszcz 1997, tom A, str. 133 - 136
29. H. Trzaska. *EM Environment in Apartment Houses.* Proc. of International Wrocław Symposium on Electromagnetic Compatibility, Wrocław 1998, str. 471 - 474
30. A. Vander Vorst, F. Duhamel. *1990-1995 Advances in Investigating the Interaction of Microwave Fields with the Nervous System.* IEEE Trans. on Microwave Theory and Techniques, vol. 44, No. 10, October 1996, str. 1898 - 1909
31. *Zakłócenia w aparaturze elektronicznej.* Praca zbiorowa, Radioelektronik sp. z o.o., Warszawa 1995
32. R. J. Zieliński. *Oddziaływanie energii elektromagnetycznej na człowieka.* Przegląd Telekomunikacyjny 8/96, str. 509 - 516
33. R. Zienkiewicz. *Wpływ urządzeń komórkowych na człowieka.* Przegląd Telekomunikacyjny 5-6/95
34. *The ARRL Book for Radio Amateurs.* Amateur Radio Relay League, New York 1994
35. *Rozporządzenie Rady Ministrów z dn. 25 maja 1972 r. w sprawie bezpieczeństwa i higieny pracy przy stosowaniu urządzeń wytwarzających pola elektromagnetyczne w zakresie mikrofalowym (Dz. U. nr 21 z 1972 r., poz. 153)*
36. *Rozporządzenie Ministra Pracy i Polityki Socjalnej z dn. 23 grudnia 1994 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie najwyższych dopuszczalnych stężeń i natężeń czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy (Dz. U. nr 3 z 1995, poz. 16)*
37. *Rozporządzenie Ministra Pracy, Płacy i Spraw Socjalnych oraz Zdrowia i Opieki Społecznej z dn. 19 lutego 1977 r. w sprawie bezpieczeństwa i higieny pracy przy stosowaniu urządzeń wytwarzających pola elektromagnetyczne w zakresie od 0,1 MHz do 300 MHz (Dz. U. nr 8 z 1977 r.)*
38. *Rozporządzenie Ministra Ochrony Środowiska, Zasobów Naturalnych i Leśnictwa z dn. 11.08.1998 r. w sprawie szczegółowych zasad ochrony przed promieniowaniem szkodliwym dla ludzi i środowiska, dopuszczalnych poziomów promieniowania, jakie mogą występować w środowisku, oraz wymagań obowiązujących przy wykonywaniu pomiarów kontrolnych promieniowania (Dz. U. nr 107 z sierpnia 1998, poz. 676)*
39. *Rozporządzenie Rady Ministrów z dn. 5 listopada 1980 r. w sprawie szczegółowych zasad ochrony przed elektromagnetycznym promieniowaniem niejonizującym szkodliwym dla ludzi i środowiska (Dz. U. nr 25 z 1980, poz. 101)*
40. *Badania lekarskie kwalifikujące do pracy w narażeniu na promieniowanie elektromagnetyczne (Dz. U. Nr 69/96, poz. 332)*
41. *Health effects of static and time varying electric and magnetic fields.* WHO document WHO/SDE/OEH/99.4. Zagreb 1998.
42. J. Szóstka. *Electromagnetic Compatibility in Automotive Industry.* Materiały IX Krajowego Sympozjum Nauk Radiowych URSI'99, Poznań 1999, str. 219 - 224
43. <http://www.tassie.net.au/emfacts/mobiles/carlo.html>

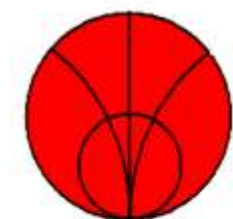
44. H. Aniołczyk (red.). *Pola elektromagnetyczne. Źródła – oddziaływanie – ochrona*. Wyd. Inst. Medycyny Pracy im. prof. J. Nofera, Łódź 2000
45. *Rozporządzenie Min. Pracy i Polityki Socjalnej z dn. 2.01.2001 zmieniające rozporządzenie w sprawie dopuszczalnych stężeń i natężeń czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy* (Dz.U. nr 4 z dn.23.01.2001, poz. 36).
46. „Medycyna pracy” nr 2/2001.
47. P. Bieńkowski. *Ochrona przed polem elektromagnetycznym – nowe przepisy, wymagania i pomiary*. Mat. Krajowej Konferencji Radiokomunikacji, Radiofonii i Telewizji. Poznań, 14-16 maja 2001.
48. H. Trzaska. *Góra urodziła mysz. O nowelizacji uregulowań prawnych w dziedzinie ochrony pracy przed niepożądaną ekspozycją na pola elektromagnetyczne*. Przegląd Telekomunikacyjny, nr 8-9/2001.
49. M. Kameduła. *Zagrożenia ludzi przez energię elektromagnetyczną systemów telekomunikacji krańcowo długofalowej*. Przegląd Telekomunikacyjny, nr 8-9/2001.
50. P. Bieńkowski. *Postawy społeczne wobec „zagrożenia” promieniowaniem elektromagnetycznym*. Mat. Krajowej Konferencji Radiokomunikacji, Radiofonii i Telewizji. Poznań, 14-16 maja 2001.
51. *Ustawa z dn. 27.04.2001 – Prawo ochrony środowiska* (tekst jednolity Dz. U. z 2016 r. poz. 672 z późniejszymi zmianami).
52. *Ustawa z dn. 27.07.2001 o wprowadzeniu ustawy – Prawo ochrony środowiska, ustawy o odpadach oraz o zmianie niektórych ustaw* (Dz. U. nr 100/2001, poz.1085)
53. M. Rochalska. *Electromagnetic Radiation Hazard in Amateur Radio Service*. Proc. of 16 International Wrocław Symposium on Electromagnetic Compatibility, Wrocław, 25-28 June, 2002.
54. I. Goldberg. *EMF Standardization - Stand 2002. An Overview*. Proc. of 16 International Wrocław Symposium on Electromagnetic Compatibility, Wrocław, 25-28 June, 2002.
55. C.Dale, J. Wiart, M.Wong. *EMF Exposure Regarding Base Station*. Proc. of 16 International Wrocław Symposium on Electromagnetic Compatibility, Wrocław, 25-28 June, 2002.
56. M. Meier. *Standardization in the Field of Mobile Telephones - Evaluation of the Human Exposure*. Proc. of 16 International Wrocław Symposium on Electromagnetic Compatibility, Wrocław, 25-28 June, 2002.
57. J. Robijns. *EMF and Household Appliances*. Proc. of 16 International Wrocław Symposium on Electromagnetic Compatibility, Wrocław, 25-28 June, 2002.
58. H. Aniołczyk. *New Safety Limits (2001) for Occupational Exposure in Poland*. Proc. of 16 International Wrocław Symposium on Electromagnetic Compatibility, Wrocław, 25-28 June, 2002.
59. [Rozporządzenie Ministra Środowiska z dn. 30.10.2003 r. w sprawie dopuszczalnych poziomów pól elektromagnetycznych w środowisku oraz sposobów sprawdzania dotrzymania tych poziomów, Dz. U. Nr 192 z 14 listopada 2003 r., poz. 1883.](#)
60. *Ustawa z dn. 18.05.2005 o zmianie ustawy – Prawo ochrony środowiska oraz niektórych innych ustaw* (Dz.U. nr 113, poz. 954).
61. *Rozporządzenie Rady Ministrów z dn. 29.11.2004 w sprawie określenia rodzajów przedsięwzięć mogących znacząco oddziaływać na środowisko oraz szczegółowych uwarunkowań związanych z kwalifikowaniem przedsięwzięcia do sporządzenia raportu oddziaływania na środowisko* (Dz.U. nr 257, poz. 2573). (patrz też pozycje [81,87,88,93])
62. *Rozporządzenie Ministra Pracy i Polityki Społecznej z dn. 29.11.2002 w sprawie najwyższych stężeń i natężeń czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy* (Dz.U. nr 217, poz. 1833).
63. *Rozporządzenie Ministra Zdrowia z 20.12.2002 zmieniające rozporządzenie w sprawie badań i pomiarów czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy* (Dz. U. nr 21 z 2003 r., poz. 180).
64. *Norma PN-T-06580 Ochrona pracy w polach i promieniowaniu elektromagnetycznym o częstotliwościach od 0 Hz do 300 GHz*.
65. P. Bieńkowski, H. Trzaska. *Co promieniuje z komórki?* Materiały Krajowego Sympozjum Telekomunikacji, Bydgoszcz 2002.

66. M. Rochalska. *Oddziaływanie pola elektromagnetycznego na organizmy żywe zwierzęce i roślinne*. Materiały Krajowego Sympozjum Telekomunikacji, Bydgoszcz 2002.
67. H. Trzaska. *Wspomaganie naturalnego środowiska elektromagnetycznego*. Materiały Krajowego Sympozjum Telekomunikacji, Bydgoszcz 2002.
68. M. Zmyślony. *Aktualne problemy ochrony przed polami elektromagnetycznymi 0 – 300 GHz w Polsce*. Materiały Krajowego Sympozjum Telekomunikacji, Bydgoszcz 2003.
69. E. Grudziński, D. Wójcik. *Prognozowanie narażeń elektromagnetycznych w polu bliskim anten stacji bazowych GSM*. Materiały Krajowej Konferencji Radiokomunikacji, Radiofonii i Telewizji, Warszawa 2004.
70. D. Wójcik, K. Szczepański, T. Topa. *Absorpcja energii elektromagnetycznej przez ciało człowieka w bliskim sąsiedztwie anteny stacji bazowej GSM*. Materiały Krajowej Konferencji Radiokomunikacji, Radiofonii i Telewizji, Warszawa 2004.
71. P. Bieńkowski. *Czy $0.1 \text{ W/m}^2 = 7 \text{ V/m}$?* Materiały Krajowej Konferencji Radiokomunikacji, Radiofonii i Telewizji, Warszawa 2004.
72. W. Krzysztofik, M. Haluch. *Kwalifikacja terminali doręcznych telefonii komórkowej w aspekcie narażeń elektromagnetycznych*. Materiały Krajowej Konferencji Radiokomunikacji, Radiofonii i Telewizji, Warszawa 2004.
73. H. Trzaska. *Pole elektromagnetyczne a materia ożywiona*. Materiały Krajowego Sympozjum Telekomunikacji, Bydgoszcz 2005.
74. E. Grudziński, V. Nichoga. *Małe i duże pola oraz ich „szkodliwa rola”*. Materiały Krajowego Sympozjum Telekomunikacji, Bydgoszcz 2005.
75. H. Trzaska, *Homo electricus*. Materiały Krajowego Sympozjum Telekomunikacji, Bydgoszcz 2006.
76. T. Długosz, H. Trzaska, *Pomiary PEM w polu bliskim i dalekim*. Materiały Krajowego Sympozjum Telekomunikacji, Bydgoszcz 2006.
77. E. Grudziński, *Anteny telefonii komórkowej – zakłócenia i zagrożenia?* Materiały Krajowej Konferencji Radiokomunikacji, Radiofonii i Telewizji, Poznań 2006.
78. A. Burakowska, *Promieniowanie elektromagnetyczne telefonów komórkowych – realne zagrożenie*. Materiały Krajowej Konferencji Radiokomunikacji, Radiofonii i Telewizji, Gdańsk 2007.
79. *Rozporządzenie Rady Ministrów z dn. 21.08.2007 zmieniające rozporządzenie w sprawie określenia rodzajów przedsięwzięć mogących znacząco oddziaływać na środowisko oraz szczegółowych uwarunkowań związanych z kwalifikowaniem przedsięwzięcia do sporządzenia raportu o oddziaływaniu na środowisko* (Dz.U. nr 158 z 2007 r., poz.1105).
80. *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 i wybrane zagadnienia z metrologii środowiska elektromagnetycznego*. Sprawozdanie SP IV.6. Instytut Łączności Oddział we Wrocławiu, listopad 2007.
81. P. Bieńkowski, K. Bicki, *Perspektywy monitoringu pola elektromagnetycznego w środowisku*. Materiały Krajowej Konferencji Radiokomunikacji, Radiofonii i Telewizji, Wrocław 2008.
82. S. Różycki, P. Bieńkowski, *Społeczny odbiór przedsięwzięć polegających na budowie instalacji radiokomunikacyjnych. Wybrane zagadnienia*. Materiały Krajowej Konferencji Radiokomunikacji, Radiofonii i Telewizji, Wrocław 2008.
83. P. Bieńkowski, S. Różycki, *Środowisko elektromagnetyczne – problem pomiarów w otoczeniu wybranych rodzajów instalacji radiokomunikacyjnych*, Materiały Krajowej Konferencji Radiokomunikacji, Radiofonii i Telewizji, Warszawa 2009.
84. *Wpływ pola elektromagnetycznego na zdrowie człowieka. Płaszczyny dialogu*. Polskie Towarzystwo Zastosowań Elektromagnetyzmu, Instytut Naukowo-Badawczy ZTUREK, Warszawa 2009.

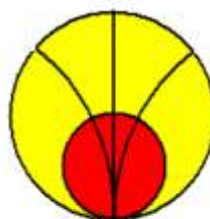
85. Rozporządzenie Ministra Środowiska z dn. 02.07.2010 r. w sprawie rodzajów instalacji, których eksploatacja wymaga zgłoszenia. Dz. U. nr 130, poz. 880, Warszawa 2010.
86. Rozporządzenie Ministra Środowiska z dn. 02.07.2010 r. w sprawie zgłoszenia instalacji wytwarzających pole elektromagnetyczne. Dz. U. nr 130, poz. 879, Warszawa 2010.
87. *IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans. Vol. 80. Non-ionizing Radiation, Part 1: Static and Extremely Low-Frequency (ELF) Electric and Magnetic Fields*, World Health Organization, International Agency for Research on Cancer, IARC Press, Lyon 2002.
88. International Agency for Research on Cancer, *IARC Classifies Radiofrequency Electromagnetic Fields as Possibly Carcinogenic to Humans*, Press Release No. 208, 31 May, 2011.
89. *The potential dangers of electromagnetic fields and their effect on the environment*, Report (Doc. 12608), Committee on the Environment, Agriculture and Local and Regional Affairs, Council of Europe, 6 May, 2011.
90. <https://monographs.iarc.fr/ENG/Classification/ClassificationsGroupOrder.pdf>
91. Rozporządzenie Rady Ministrów w sprawie przedsięwzięć mogących znacząco oddziaływać na środowisko z dn. 09.11.2010 r. (tekst jednolity Dz. U. z 2016 r., poz. 71).
92. Rozporządzenie Ministra Rodziny, Pracy i Polityki Społecznej z dn. 29.06.2016 r. w sprawie bezpieczeństwa i higieny pracy przy pracach związanych z narażeniem na pole elektromagnetyczne, Dz. U. z 2016 r., poz. 950.
93. Rozporządzenie Ministra Pracy i Polityki Społecznej z dn. 06.06.2014 r. w sprawie najwyższych dopuszczalnych stężeń i natężeń czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy, Dz. U. z 2014 r. poz. 817 i Dz. U. z 2016 r. poz. 944.
94. Rozporządzenie Ministra Rodziny, Pracy i Polityki Społecznej z dn. 27.06.2016 r. zmieniająca rozporządzenie w sprawie najwyższych dopuszczalnych stężeń i natężeń czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy, Dz. U. z 2016 r., poz. 952.
95. Rozporządzenie Ministra Zdrowia z dn. 02.02.2011 r. w sprawie badań i pomiarów czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy, Dz. U. z 2011 r., poz. 166.
96. J. Karpowicz, K. Gryz, *Wymagania nowej dyrektywy WE w sprawie ochrony pracowników przed oddziaływaniem pól elektromagnetycznych*, Centralny Instytut Ochrony Pracy, Warszawa 2011.
97. *Wpływ pola elektromagnetycznego na zdrowie. Płaszczyzny dialogu*. Polskie Towarzystwo Zastosowań Elektromagnetyzmu, Warszawa 2009.
98. P. Bieńkowski, H. Aniołczyk, J. Karpowicz, J. Kieliszek, *Narażenie na pole elektromagnetyczne w przestrzeni pracy podczas użytkowania urządzeń nadawczych systemów radiokomunikacyjnych. Metoda pomiaru pola elektromagnetycznego in situ - wymagania szczegółowe*, Podstawy i Metody Oceny Środowiska Pracy, 2017, nr 2 (92).
99. Sz. Szmigielski, E. Sobiczewska, *Ryzyko chorób nowotworowych w warunkach narażenia na pola radio- i mikrofalowe - badania epidemiologiczne*, Medycyna Pracy 2009, 60 (5), str. 389-398.
100. M. Ruetschling, *5G Antenna Design for Mobile Phones*, Simulia EM eSeminar Series 2018, 29. 11.2018
101. Rozporządzenie Ministra Zdrowia z 17 grudnia 2019 r. w sprawie dopuszczalnych pól elektromagnetycznych w środowisku, Dz. U. z dn.19.12.2019 r., poz. 2448.
102. Tatoń G., *Oddziaływanie pól elektromagnetycznych na zdrowie – wstępne wyniki badań krajowych i płynące z nich wnioski*, materiały konferencyjne IV Międzynarodowej Konferencji Pole elektromagnetyczne i przyszłość telekomunikacji. *Badania. Monitoring. Doświadczenia krajowe i zagraniczne*. Warszawa, grudzień 2019.
103. *Oddziaływanie elektromagnetycznych fal milimetrowych na zdrowie pracowników projektowanych systemów 5G i populacji generalnej*, Narodowy Program Zdrowia, Umowa nr: 6/4/11/NPZ/FRPH/2018/312/546.
104. Zmyślony M., *Oddziaływanie PEM z zakresu fal milimetrowych*, materiały konferencyjne IV Międzynarodowej Konferencji Pole elektromagnetyczne i przyszłość telekomunikacji. *Badania. Monitoring. Doświadczenia krajowe i zagraniczne*. Warszawa, grudzień 2019.

105. Huss A., *Electromagnetic Hypersensitivity - a social, environmental or health problem*, materiały konferencyjne IV Międzynarodowej Konferencji *Pole elektromagnetyczne i przyszłość telekomunikacji. Badania. Monitoring. Doświadczenia krajowe i zagraniczne*. Warszawa, grudzień 2019.
106. Sieroń K., *Aspekty medyczne w kontekście PEM*, materiały konferencyjne IV Międzynarodowej Konferencji *Pole elektromagnetyczne i przyszłość telekomunikacji. Badania. Monitoring. Doświadczenia krajowe i zagraniczne*. Warszawa, grudzień 2019.
107. Roosli M., *Levels of RF-EMF exposure in our everyday environment and review of current epidemiological studies*, materiały konferencyjne IV Międzynarodowej Konferencji *Pole elektromagnetyczne i przyszłość telekomunikacji. Badania. Monitoring. Doświadczenia krajowe i zagraniczne*. Warszawa, grudzień 2019.
108. Wood M., Wills D., *5G - EMF Assessment. Exposure Scenarios*, materiały konferencyjne IV Międzynarodowej Konferencji *Pole elektromagnetyczne i przyszłość telekomunikacji. Badania. Monitoring. Doświadczenia krajowe i zagraniczne*. Warszawa, grudzień 2019.
109. Saustingl J., *Lighting the path to 5G*, materiały konferencyjne IV Międzynarodowej Konferencji *Pole elektromagnetyczne i przyszłość telekomunikacji. Badania. Monitoring. Doświadczenia krajowe i zagraniczne*. Warszawa, grudzień 2019.
110. Kopacz T., *Massive MIMO Antennas – Impact on Compliance Distances and Challenges for Human Exposure Assessment*, materiały konferencyjne IV Międzynarodowej Konferencji *Pole elektromagnetyczne i przyszłość telekomunikacji. Badania. Monitoring. Doświadczenia krajowe i zagraniczne*. Warszawa, grudzień 2019.
111. Bieńkowski P., *Optymalizacja sieci komórkowych pod kątem oddziaływania na środowisko - możliwości i ograniczenia*, materiały konferencyjne IV Międzynarodowej Konferencji *Pole elektromagnetyczne i przyszłość telekomunikacji. Badania. Monitoring. Doświadczenia krajowe i zagraniczne*. Warszawa, grudzień 2019.
112. Niewiadomski D., *SI2PEM – System Informacyjny o Instalacjach wytwarzających Promieniowanie ElektroMagnetyczne*, materiały konferencyjne IV Międzynarodowej Konferencji *Pole elektromagnetyczne i przyszłość telekomunikacji. Badania. Monitoring. Doświadczenia krajowe i zagraniczne*. Warszawa, grudzień 2019.
113. *Rozporządzenie Ministra Klimatu z dnia 17 lutego 2020 r. w sprawie sposobów sprawdzania dotrzymania dopuszczalnych poziomów pól elektromagnetycznych w środowisku*, Dz. U. z dnia 18 lutego 2020 r., poz. 258.

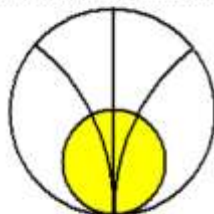
Znaki ostrzegawcze dla stref ochronnych i źródeł pola elektromagnetycznego wg PN-T-06260:1974 (PN-74/T-06260). *Źródła promieniowania elektromagnetycznego. Znaki ostrzegawcze*.



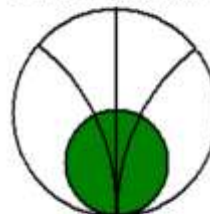
Strefa niebezpieczna



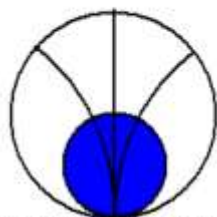
Strefa zagrożenia



Strefa pośrednia



Strefa bezpieczna



Źródło pola elektromagnetycznego