

Mierzymy pola elektromagnetyczne dla Twojego bezpieczeństwa

Katarzyna Falińska¹⁾, Jolanta Karpowicz²⁾, Zygmunt Grabarczyk²⁾, Krzysztof Gryz²⁾,
Grzegorz Koślacz¹⁾, Wiesław Widłaszewski¹⁾, Patryk Zradziński²⁾

¹⁾ Główny Urząd Miar, ²⁾ Centralny Instytut Ochrony Pracy

1. Wprowadzenie

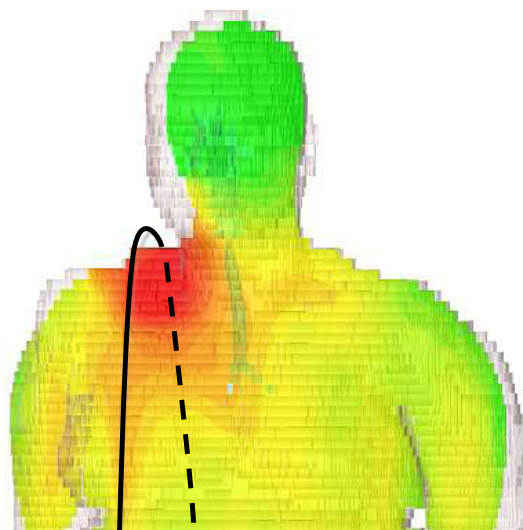
Niejonizujące promieniowanie elektromagnetyczne o częstotliwości mniejszej od 300 GHz, lub inaczej mówiąc o długości fali przekraczającej 1 mm, nazywane jest polami elektromagnetycznymi. Są to zarówno współlistniejące zmienne w czasie pola elektryczne i magnetyczne, jak i pole magnetostatyczne i elektrostatyczne.

Podstawowymi cechami fizycznymi pól elektromagnetycznych jest ich zdolność rozprzestrzeniania się w powietrzu z prędkością światła oraz zdolność indukowania napięć i prądów elektrycznych w obiektach elektroprzewodzących, takich jak metale lub roztwory elektrolitów, w tym organizmy żywe. Cechy te są powszechnie wykorzystywane m.in. w systemach bezprzewodowego przesyłania informacji, takich jak RTV czy telefonia mobilna oraz w systemach przesyłania i przetwarzania energii elektrycznej, np. w licznych aplikacjach przemysłowych i medycznych. Eksploatacja wszystkich urządzeń i instalacji zasilanych prądem elektrycznym związana jest nierozdzielnie z zamierzonym lub pasożytniczym procesem rozpraszania w ich otoczeniu pól elektromagnetycznych.

Pola elektromagnetyczne charakteryzuje pasmo częstotliwości (wyrażonych w hercach, Hz) oraz natężenie składowej elektrycznej (wyrażone w woltach na metr, V/m) i natężenie składowej magnetycznej (wyrażone w amperach na metr, A/m lub alternatywnie poziom pola magnetycznego może być wyrażony poprzez podanie indukcji magnetycznej w teslach, T).

2. Zagrożenia bezpieczeństwa inicjowane oddziaływaniem pól elektromagnetycznych

Bezpośrednim zagrożeniem bezpieczeństwa człowieka przebywającego w polu elektromagnetycznym mogą być, uzależnione od częstotliwości, skutki zaindukowanego w organizmie prądu elektrycznego. W małych i średnich polach częstotliwości może wystąpić pobudzenie tkanki nerwowej lub mięśniowej (analogicznie jak w razie porażenia prądem przy dotknięciu do instalacji energetycznej), a w polach częstotliwości radiofalowych i mikrofalowych wzrost temperatury tkanek wewnątrz organizmu lub przy powierzchni skóry – podobnie do procesu grzania mikrofalowego w kuchenkach mikrofalowych (rys. 1). Skutki termiczne mogą wywołać uszkodzenia tkanek, różnego stopnia i rozległości, które mogą wystąpić zarówno na powierzchni ciała, jak i wewnątrz, zależnie od częstotliwości promieniowania. Wypadki poważnych poparzeń tego rodzaju notowano m.in. przy obsłudze przemysłowych urządzeń mikrofalowych, ośrodkach radionadawczych, przy instalacjach radiolokacyjnych, a także przy wykorzystaniu urządzeń diagnostyki rezonansu magnetycznego czy diatermii elektrochirurgicznych.



Rys. 1. Skutki termiczne – symulacje numeryczne wykonane z zastosowaniem oprogramowania CST Studio Suite, źródło pola – przewód z prądem o częstotliwości radiofalowej położony na prawym ramieniu anatomicznego modelu ciała kobiety (kolor czerwony – temperatura wyższa, kolor zielony – temperatura niższa) [CIOP-PIB]

Innego typu zagrożenia bezpieczeństwa ludzi mogą być wynikiem indukowania prądów i napięć elektrycznych bezpośrednio w urządzeniach elektrycznych i elektronicznych, czyli tzw. zakłócenia elektromagnetyczne. Elektromagnetyczne zagrożenia bezpieczeństwa mogą być również związane z oddziaływaniem indukowanych prądów i napięć na tak specyficzne urządzenia jak elektroniczne implanty medyczne. Do zagrożeń elektromagnetycznych zaliczane są także przypadkowe, niekontrolowane wyładowania elektryczne. Przy zbliżaniu dwóch obiektów o różnych wartościach potencjałów, jeśli różnica ta jest na tyle duża, że wartość natężenia pola elektrycznego między tymi obiektami przekracza lokalnie ok. 3 MV/m (co najmniej przy jednej z elektrod), dochodzi do jonizacji powietrza i przepływu prądu elektrycznego przez przestrzeń między obu obiektami. Taki przepływ zwany jest wyładowaniem elektrycznym w powietrzu. W zależności od rozkładu natężenia pola i kształtu elektrod może to być wyładowanie ulotowe, snopiaste, iskrowe i inne. W przypadku wyładowania w przestrzeni w obecności atmosfery wybuchowej, możliwy jest jej zapłon i w konsekwencji wybuch lub pożar.

W przypadku pola elektromagnetycznego wielkiej częstotliwości wytwarzanego przez układy nadawcze dużej mocy (rzędu kilkudziesięciu kW lub większej) do zagrożenia tego rodzaju dochodzi, gdy w dużych konstrukcjach metalowych (rusztowania, rurociągi, instalacje procesowe, magazyny paliw itp.) znajdujących się w zasięgu atmosfery wybuchowej, pole elektromagnetyczne indukuje napięcia wystarczająco duże do spowodowania wyładowań iskrowych lub snopiastych. W przypadku, gdy źródłem pola elektrycznego są zgromadzone na powierzchni, odizolowanych obiektów przewodzących lub obiektów nieprzewodzących, ładunki elektrostatyczne, możliwe są wyładowania zwane elektrostatycznymi, takie jak iskrowe, snopiaste, stożkowe, snopiaste rozprzestrzeniające się, mające zazwyczaj energie wystarczające do zapłonu gazów palnych, par cieczy palnych i pyłów.

W związku z tym zapewnienie bezpieczeństwa ludziom przebywającym w pobliżu źródeł pól elektromagnetycznych realizowane jest w znacznym stopniu z wykorzystaniem specjalistycznych technik pomiarowych i wymagań bezpieczeństwa ustanowionych przez przepisy prawne, zalecenia i normy uwzględniające specyfikę różnych dziedzin aktywności człowieka i różnych rodzajów zagrożeń.

3. Wymagania prawne, normy i zalecenia dotyczące ochrony przed zagrożeniami elektromagnetycznymi

Pola elektromagnetyczne w przeciwieństwie do innych fizycznych czynników środowiska, jak np. hałas, nie są odczuwane zmysłami. Niemożliwe jest więc oszacowanie wspomnianych zagrożeń na podstawie subiektywnych odczuć. W związku z tym konieczne jest wykorzystanie specjalistycznych technik pomiarowych lub obliczeń komputerowych, stosowanych m.in. w ramach wymagań dotyczących tzw. kompatybilności elektromagnetycznej (EMC), wymagań dotyczących ochrony ludności i pracowników czy wymagań przeciwpożarowych.

4. Kompatybilność elektromagnetyczna (EMC)

Kompatybilność elektromagnetyczna (EMC) jest to „zdolność sprzętu lub systemu do zadowalającego działania w określonym środowisku elektromagnetycznym równocześnie bez wprowadzania do tego środowiska niedopuszczalnych zaburzeń elektromagnetycznych [EEV 161-01-07]”. Realizację tego założenia powinno zapewnić stosowanie postanowień dyrektywy EMC, która wdrożona jest do polskiego prawa ustawą o kompatybilności elektromagnetycznej (Dz. U. z dnia 11 maja 2007 r., nr 82, poz. 556).

Z dyrektywą EMC zharmonizowane są normy techniczne, przedmiotowe. Jeżeli urządzenie elektryczne lub elektroniczne spełnia wymagania normy zharmonizowanej, wtedy istnieje domniemanie, że spełnia również wymagania zasadnicze dyrektywy. Badania kompatybilności elektromagnetycznej obejmują swoim zakresem zarówno badania odporności jak i emisji. Jednymi z ważniejszych badań EMC są badania odporności na pole elektromagnetyczne w szerokim zakresie częstotliwości oraz badania emisji, tj. pola elektromagnetycznego promieniowanego przez badane urządzenie. Badania EMC mają również duże znaczenie dla bezpieczeństwa.

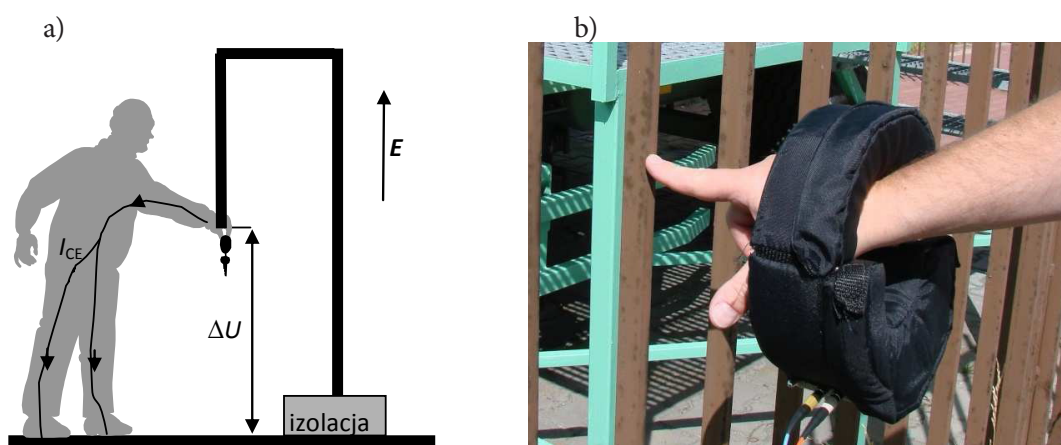
Szczegółnej uwagi wymaga bezpieczeństwo osób z implantami medycznymi. Osoby takie mogą należeć do grupy o zwiększonej wrażliwości na pola elektromagnetyczne, np. wskutek używania wszczepionych implantów elektronicznych takich jak stymulatory serca, implanty słuchowe czy pompy insulinowe. Dotychczas nie sformalizowano w kraju warunków dopuszczalnego narażenia osób z wszczepionymi implantami elektronicznymi i mechanicznymi. Zalecenia międzynarodowe wskazują przykładowo, że dla osób z elektrostymulatorami serca obszar ograniczonego dostępu, to pola przekraczające poziom 0,5 mT, dla pola magnetostatycznego oraz 0,1 mT, dla pola magnetycznego 50 Hz lub 1 kV/m, dla pola elektrycznego 50 Hz [PN-EN-60601-2-33, ACGIH].

5. Kontrola środowiskowych pól elektromagnetycznych

W związku z powszechnym występowaniem pól i promieniowania elektromagnetycznego, wymagania prawne dotyczące dopuszczalnego poziomu narażenia ludzi ustalono, zarówno dla narażenia ludności (rozporządzeniem ministra środowiska – Dz. U. z 2003, nr 192, poz. 1883), jak i dla narażenia pracowników – oddzielnie dla trzech grup pracowników: ogółu zdrowych pracowników dorosłych (rozporządzenie ministra pracy i polityki społecznej [Dz. U. z 2002, nr 217, poz. 1833]), kobiet w ciąży [Dz. U. z 1996, nr 114, poz. 545 i zm. Dz. U. z 2002, nr 127, poz. 1092]) oraz pracowników młodocianych (rozporządzenie Rady Ministrów [Dz. U. z 2004, nr 200, poz. 2047, zm. Dz. U. z 2005, nr 136, poz. 1145]). W związku z charakterystyką omówionych zagrożeń elektromagnetycznych kryteria oce-

ny są funkcją częstotliwości ocenianego pola elektromagnetycznego. Zasady badań i oceny przedstawia norma PN-T-06580-2002 (związana z rozporządzeniem ministra pracy w sprawie najwyższych dopuszczalnych natężeń pól elektromagnetycznych).

Skutki biofizyczne oddziaływania pola elektromagnetycznego na ludzi są uzależnione od częstotliwości i natężenia pola elektrycznego i magnetycznego, jakości izolacji elektrycznej pracownika, od obiektów uziemionych elektrycznie oraz od rozkładu narażenia w czasie i przestrzeni. Do oceny zagrożeń elektromagnetycznych mogą mieć zastosowanie również natężenia prądów przepływających w kończynach osób przebywających w pobliżu źródła pola lub dotykających do metalowych obiektów (rys. 2). W badaniach naukowych stosowane są również miary zagrożenia oceniane na podstawie modelowania komputerowego, ale ich użyteczność w ocenie jednostkowych miejsc pracy jest znikoma.

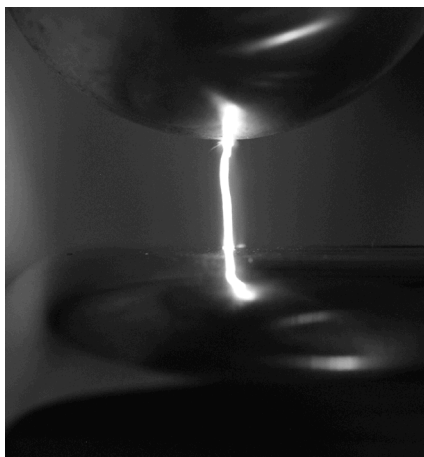


Rys. 2. Zjawisko przepływu prądu kontaktowego na skutek różnicy potencjałów między ciałem człowieka i dotykana przez niego konstrukcją metalową znajdującą się w polu elektrycznym (a) oraz pomiar tego prądu miernikiem indukcyjnym cęgowym (b) [Gryz, Karpowicz, PIMOŚ, 2008]

Zgodnie z definicją NDN dla czynników fizycznych, jaką podano w rozporządzeniu, jest to poziom narażenia na dany czynnik, dopuszczalny przy oddziaływaniu tego czynnika w ciągu 8. godzinnej zmiany roboczej. Zasady dopuszczalnego narażenia na silne pola elektromagnetyczne w strefach ochronnych (niebezpiecznej, zagrożenia i pośredniej) ustalono tak, aby ochronić pracowników przed opisanymi skutkami bezpośredniego i pośredniego oddziaływania pól, zarówno występującymi w czasie oddziaływania pola, jak i przed utratą zdrowia wskutek oddziaływania wieloletniego.

Istotnym, choć często nie uświadamianym zagrożeniem dla zdrowia (niekiedy także życia), mogą być wyładowania elektrostatyczne z naelektryzowanego ciała człowieka (rys. 3). Przypadkowe, nieoczekiwane wyładowania mogą powodować gwałtowne, odruchowe reakcje uniku lub wycofania, mogące prowadzić do upadku, uderzenia, kontaktu z maszyną itp., a w konsekwencji do poważnych urazów ciała. Obecnie nie ma znormalizowanej metody oceny tego zagrożenia. Najwłaściwszy wydaje się pomiar wartości ładunku elektrostatycznego zgromadzonego na powierzchni ciała i porównanie go z minimalną wartością ładunku, którego przepływ, w czasie wyładowania iskrowego, może odczuć człowiek. W przypadku, gdy ładunek elektrostatyczny jest indukowany na ciele człowieka przez pole elektrostatyczne, możliwe jest numeryczne lub doświadczone oszacowanie zależności między natężeniem pola i wartością indukowanego ładunku. Prace nad tą metodą oceny zagrożenia są obecnie prowadzone w Laboratorium Elektryczności Statycznej CIOP-PIB. Z kolei w GUM podjęto próbę uruchomienia stanowiska wzorca pola elektro-

statycznego, które w przyszłości będzie służyło do wzorcowania mierników (sond) pola elektrostatycznego do ok. 170 000 V/m.



Rys. 3. Wyładowanie elektrostatyczne iskrowe (pojemnościowe), zachodzi między przewodnikami przy różnicy potencjałów większej od 300 V, zapala wszystkie atmosfery wybuchowe gazowe oraz większość atmosfer wybuchowych pyłowych (Grabarczyk, Kurczewska, 2008)

6. Miarodajność pomiarów pól elektromagnetycznych

W celu zapewnienia wiarygodności wykonywanych pomiarów, niezbędne jest okresowe wzorcowanie aparatury pomiarowej. W Polsce istnieją tylko dwa laboratoria pomiarowe, akredytowane przez PCA, wzorcujące mierniki pól elektromagnetycznych (w tym CIOP-PIB, ITTiA PWr). Wzorcowanie mierników wykonuje także GUM. Na rynku działa wiele firm, akredytowanych jako laboratoria badawcze, wykonujących pomiary pól elektromagnetycznych. Jednak różnorodność stosowanej aparatury pomiarowej, często wątpliwej jakości, nie zawsze zapewnia odpowiednią rzetelność tych pomiarów. Istniejący system akredytacji laboratoriów badawczych do niedawna nie wymagał, zbyt rygorystycznie od tych laboratoriów, potwierdzania parametrów metrologicznych przyrządów pomiarowych, poprzez ich okresowe wzorcowanie, znacznie obniżając poziom jakości pomiarów, mających przecież tak ważne znaczenie dla bezpieczeństwa (pracowników, ogółu ludności, a także urządzeń technicznych). Pomiary pól elektromagnetycznych wymagają dość specjalistycznej i bardzo kosztownej aparatury pomiarowej. Główny Urząd Miar stara się zapewnić spójność pomiarową dla laboratoriów akredytowanych poprzez wzorcowanie swoich wzorców odniesienia w zagranicznych Krajowych Instytutach Metrologicznych oraz udział w porównaniach międzynarodowych (dwustronnych i kluczowych).

Jednakże brak formalnych wymagań dotyczących mierników do pomiaru pól elektromagnetycznych utrudnia eliminację z rynku mierników o nieodpowiedniej parametrach metrologicznych i konstrukcji, np. wrażliwych na zakłócenia układów elektronicznych przez pola środowiskowe (brak badań typu).

7. Podsumowanie

Zagrożenia elektromagnetyczne są na tyle poważne, że wymagają różnorodnych, kompleksowych działań profilaktycznych, opartych w znacznej mierze na systemie kontroli urządzeń i warunków narażeń środowiskowych, w ramach której kluczowe znaczenie mają

pomiary pól elektromagnetycznych. Ich miarodajność, niezbędna dla właściwego funkcjonowania tego systemu wymaga właściwej kontroli metrologicznej aparatury pomiarowej. Podstawą tego systemu są laboratoria wzorcujące (CIOP-PIB, ITTiA PWR, GUM) zapewniające, na odpowiednio wysokim poziomie, spójność pomiarową wzorcowanych mierników pól elektromagnetycznych. Laboratoria te poprzez wieloletnią współpracę oraz wzajemne okresowe porównania potwierdzają swoje kompetencje w zakresie rzetelności wykonywanych wzorcowań.

Publikacja opracowana z wykorzystaniem wyników programu wieloletniego „Poprawa bezpieczeństwa i warunków pracy”, finansowanego w latach 2008 – 2013 ze środków Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego/Narodowego Centrum Badań i Rozwoju oraz ministerstwa Pracy i Polityki Społecznej. Koordynator programu: Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy.

Bibliografia

1. American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH); Threshold Limit Values for Chemical Substances and Physical Agents. Biological Exposure Indices. 2012.
2. Grabarczyk Z., Kurczewska A.: *Zagrożenia elektrostatyczne w strefach zagrożonych wybuchem*. Warszawa, CIOP-PIB, 2008.
3. Grudziński E., Widłaszewski W.: *Wzorce transferowe pola elektromagnetycznego*. Pomiar Automatyka Kontrola, 2007, nr 9bis, s. 50-53.
4. Gryz K., Karpowicz J.: *Zasady oceny zagrożeń elektromagnetycznych związanych z występowaniem prądów indukowanych i kontaktowych*. Podstawy i Metody Oceny Środowisko Pracy, 2008, nr 4(58), s. 137-171.
5. Gryz K., Karpowicz J.: *Ekspozycja na pola elektromagnetyczne w pomieszczeniach biurowych i metody jej ograniczania*, Przegląd Elektrotechniczny nr 12, 2004, s. 1188-1193.
6. Karpowicz J., Gryz K.: *Bezpieczeństwo pacjentów i pracowników przy wykorzystaniu pól elektromagnetycznych w diagnostyce i terapii medycznej*, Inżynier Medyczny – fizyka – inżynieria – elektroradiologia – radiologia, vol. 1, 1/2012, 25-28.
7. Karpowicz J., Gryz K.: *Pola elektromagnetyczne jako zagrożenia wypadkowe*, Atest – Ochrona Pracy, 2010, nr 3, s. 23-26.
8. Karpowicz J.: *Pola elektromagnetyczne*. W: *Ryzyko zawodowe. Metodyczne podstawy oceny*. Red. W. M. Zawieska. Warszawa, CIOP-PIB, 2007, s. 227-258.
9. Karpowicz J., Gryz K.: *Pola i promieniowanie elektromagnetyczne*. W: *Czynniki szkodliwe w środowisku pracy – wartości dopuszczalne*, red. D. Augustyńska, M. Pośniak. Warszawa, CIOP-PIB, 2010, 223-241.
10. PN-EN 60601-2-33:2003. *Medyczne urządzenia elektryczne. Część 2-33: Szczegółowe wymagania bezpieczeństwa urządzeń rezonansu magnetycznego do diagnostyki medycznej*.
11. PN-92/E-05201. *Ochrona przed elektrycznością statyczną. Metody oceny zagrożeń wywołanych elektryzacją materiałów dielektrycznych stałych*.
12. PN-E-05203:1992. *Ochrona przed elektrycznością statyczną – Materiały i wyroby stosowane w obiektach oraz strefach zagrożonych wybuchem – Metody badania oporu elektrycznego właściwego i oporu upływu*.
13. PN-E-05200:1992. *Ochrona przed elektrycznością statyczną – Terminologia*.
14. PN-E-05201:1992. *Ochrona przed elektrycznością statyczną – Metody oceny zagrożeń wywołanych elektryzacją materiałów dielektrycznych stałych – Metody oceny zagrożenia pożarowego i/lub wybuchowego*.
15. PN-E-05202:1992. *Ochrona przed elektrycznością statyczną – Bezpieczeństwo pożarowe i/lub wybuchowe – Wymagania ogólne*.
16. PN-E-05203:1992. *Ochrona przed elektrycznością statyczną – Materiały i wyroby stosowane w obiektach oraz strefach zagrożonych wybuchem – Metody badania oporu elektrycznego właściwego i oporu upływu*.

17. PN-E-05204:1994. *Ochrona przed elektrycznością statyczną – Ochrona obiektów, instalacji i urządzeń – Wymagania.*
18. PN-E-05205:1997. *Ochrona przed elektrycznością statyczną – Ochrona przed elektrycznością statyczną w produkcji i stosowaniu materiałów wybuchowych – Wymagania.*
19. PN-T-06580-1:2002. *Ochrona pracy w polach i promieniowaniu elektromagnetycznym o częstotliwości od 0 Hz do 300 GHz. Część 1. Terminologia.* Arkusz 01. *Terminologia*; Arkusz 03. *Metody pomiaru i oceny pola na stanowisku pracy.*
20. Rozporządzenie Ministra Pracy i Polityki Społecznej z dnia 29 listopada 2002 r. w sprawie najwyższych dopuszczalnych stężeń i natężeń czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy. Załącznik 2, Część E. *Pola i promieniowanie elektromagnetyczne z zakresu częstotliwości 0 Hz – 300 GHz.* Dz. U. nr 217, poz. 1833 (zm. Dz. U. z 2005, nr 212, poz. 1759).
21. Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 30 października 2003 r. w sprawie dopuszczalnych poziomów pól elektromagnetycznych w środowisku oraz sposobów sprawdzania dotrzymania tych poziomów. Dz. U. z 2003, nr 192 poz. 1883.
22. Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 10 września 1996 r. w sprawie wykazu prac wzbronionych kobietom. Dz. U. z 1996, nr 114, poz. 545 i zm. Dz. U. z 2002, nr 127, poz. 1092.
23. Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 24 sierpnia 2004 r. w sprawie wykazu prac wzbronionych młodocianym i warunków ich zatrudniania przy niektórych z tych prac Dz. U. z 2004, nr 200, poz. 2047, zm. Dz. U. z 2005, nr 136. poz. 1145.
24. Serwis internetowy: Pola elektromagnetyczne w środowisku pracy i życia człowieka. <http://www.ciop.pl/EMF>.
25. Ustawa z dnia 13 kwietnia 2007 r. o kompatybilności elektromagnetycznej Dz. U. z 2007, nr 82 poz. 556.