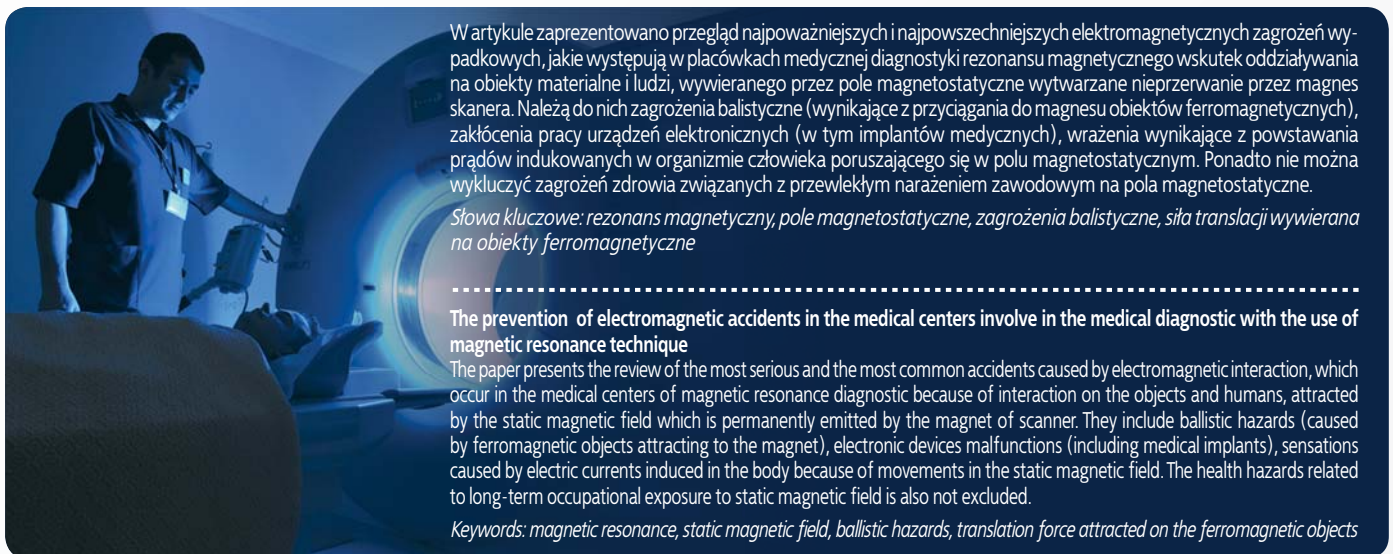


dr inż. JOLANTA KARPOWICZ
 dr inż. KRZYSZTOF GRYZ
 Centralny Instytut Ochrony Pracy
 – Państwowy Instytut Badawczy
 Kontakt: jokar@ciop.pl

Profilaktyka elektromagnetycznych zagrożeń wypadkowych w placówkach diagnostyki medycznej stosujących technikę rezonansu magnetycznego



W artykule zaprezentowano przegląd najpoważniejszych i najpowszechniejszych elektromagnetycznych zagrożeń wypadkowych, jakie występują w placówkach medycznej diagnostyki rezonansu magnetycznego wskutek oddziaływania na obiekty materialne i ludzi, wywieranego przez pole magnetostaticzne wytwarzane nieprzerwanie przez magnes skanera. Należą do nich zagrożenia balistyczne (wynikające z przyciągania do magnesu obiektów ferromagnetycznych), zakłócenia pracy urządzeń elektronicznych (w tym implantów medycznych), wrażenia wynikające z powstawania prądów indukowanych w organizmie człowieka poruszającego się w polu magnetostaticznym. Ponadto nie można wykluczyć zagrożeń zdrowia związanych z przewlekłym narażeniem zawodowym na pola magnetostaticzne.

Słowa kluczowe: rezonans magnetyczny, pole magnetostaticzne, zagrożenia balistyczne, siła translacji wywierana na obiekty ferromagnetyczne

The prevention of electromagnetic accidents in the medical centers involve in the medical diagnostic with the use of magnetic resonance technique

The paper presents the review of the most serious and the most common accidents caused by electromagnetic interaction, which occur in the medical centers of magnetic resonance diagnostic because of interaction on the objects and humans, attracted by the static magnetic field which is permanently emitted by the magnet of scanner. They include ballistic hazards (caused by ferromagnetic objects attracting to the magnet), electronic devices malfunctions (including medical implants), sensations caused by electric currents induced in the body because of movements in the static magnetic field. The health hazards related to long-term occupational exposure to static magnetic field is also not excluded.

Keywords: magnetic resonance, static magnetic field, ballistic hazards, translation force attracted on the ferromagnetic objects

Wstęp

Rosnącą popularnością cieszy się wykorzystanie niejonizujących pól elektromagnetycznych do medycznej diagnostyki obrazowej w tzw. skanerach rezonansu magnetycznego (S-RM). Pacjent w S-RM poddawany jest równoczesnemu oddziaływaniu diagnostycznemu silnego pola magnetostaticznego, o indukcji B_0 z zakresu od 0,1 do 3,0 tesli (T), i zmiennych pól magnetycznych różnych częstotliwości (radiofalowych i tzw. gradientowych). Aby wyeliminować zakłócenia elektromagnetyczne, pogarszające jakość badania, magnes S-RM jest z reguły ustawiony w ekranowanym elektromagnetycznie pomieszczeniu diagnostycznym. Pacjent w czasie badania przebywa na stole wsuniętym do magnesu, a na badaną część ciała mogą być zakładane wymienne cewki diagnostyczne.

Według danych Narodowego Funduszu Zdrowia i Państwowej Inspekcji Sanitarnej, w Polsce eksploatowanych jest już ponad 200 S-RM (najczęściej o $B_0 \approx 1,5$ T), przy których pracuje ponad 1 tys. pracowników, głównie: elektroradiologów, pielęgniarek, anestezjologów i sprzętacz.

Przy rutynowych badaniach kolejnych pacjentów elektroradiolodzy i pielęgniarki wykonują powtarzające się sekwencje prac, których charakterystykę, bazując na wcześniejszych publikacjach [1-4] zamieszczono w załączniku.

Zagrożenia wypadkowe w placówkach diagnostyki medycznej

W niniejszym artykule opisano naturę najpoważniejszych i najpowszechniejszych elektromagnetycznych zagrożeń wypadkowych istotnych dla bezpieczeństwa i zdrowia pracowników, jak i pacjentów, jakie występują w placówkach diagnostyki obrazowej wskutek oddziaływania pola magnetostaticznego, a także niezbędne działania profilaktyczne. Kluczowe znaczenie ma tu zapewnienie właściwej ochrony przed takimi zjawiskami, jak zagrożenia balistyczne i oddziaływanie na urządzenia elektroniczne oraz zagrożenia związane z dynamicznym oddziaływaniem silnego pola magnetostaticznego na poruszającego się w nim człowieka.

Zagrożenia związane z oddziaływaniem pól radiofalowych i gradientowych nie zostały

omówione, ponieważ występują one jedynie w pomieszczeniu diagnostycznym, gdzie przy rutynowych badaniach pracownicy nie przebywają.

Do wytworzenia diagnostycznego pola magnetostaticznego wykorzystywane są magnesy stałe lub nadprzewodzące. Magnesy stałe nie można wyłączyć. Również magnesy nadprzewodzące wykorzystywane w S-RM są instalacjami pracującymi po uruchomieniu stale – 24 godziny na dobę, 7 dni w tygodniu. W placówkach diagnostyki rezonansu magnetycznego, w otoczeniu skanerów występuje zatem stałe oddziaływanie pola magnetostaticznego, dotyczące wszystkich pracowników, również sprzątających otoczenie, bądź wykonujących czynności konserwacyjno-remontowe.

Stabilną pracą magnesu nadprzewodzącego zapewni utrzymanie go w temperaturze bliskiej zeru bezwzględnemu, dzięki instalacji chłodzącej (np. ciekły hel, którego niekontrolowany wyciek może być przyczyną poważnych zagrożeń bezpieczeństwa i zdrowia). Natomiast pola gradientowe wytwarzane są impulsowym prądem o natężeniach dochodzących do tysięcy amperów, co powoduje gwałtowne procesy elektrodynamiczne w zasila-

Tabela. Zagrożenia bezpieczeństwa i zdrowia w polach magnetostatycznych stref ochronnych oraz zalecenia profilaktyczne

Table. The health and safety hazards in the static magnetic fields of safety zones and preventive guidelines

Strefa pola magneto-statycznego [Z8]	Indukcja magnetyczna	Zagrożenia	Zalecenia profilaktyczne
Strefa bezpieczna	$B < 3,3 \text{ mT}$	– zagrożenia mogą dotyczyć jedynie niektórych użytkowników implantów elektronicznych, dla których zalecane jest unikanie oddziaływania pola o $B > 0,5 \text{ mT}$	– brak wymagań BHP – indywidualna ocena zagrożeń dla użytkownika implantów medycznych może wskazać przeciwwskazania do zatrudnienia – obszar pola o $B > 0,5 \text{ mT}$ i zagrożenia dla użytkowników implantów powinny być oznakowane
Strefy ochronne (pośrednia i zagrożenia)	$3,3 \text{ mT} < B < 100 \text{ mT}$	– zagrożenia mogą dotyczyć użytkowników implantów elektronicznych – mogą wystąpić zagrożenia balistyczne – pamięci magnetyczne mogą ulec trwałemu uszkodzeniu – urządzenia elektroniczne mogą niepoprawnie funkcjonować lub ulec trwałemu uszkodzeniu	– indywidualna ocena zagrożeń dla użytkownika implantów medycznych może wskazać przeciwwskazania do zatrudnienia – zabronione zatrudnienie kobiet w ciąży i pracowników młodocianych – obszar pola o $B > 0,5 \text{ mT}$ i zagrożenia dla użytkowników implantów oraz zagrożenia balistyczne i zagrożenia dla urządzeń elektronicznych powinny być oznakowane
Strefa niebezpieczna	$B > 100 \text{ mT}$	– zagrożenia mogą dotyczyć użytkowników implantów elektronicznych, jak również mechanicznych – mogą wystąpić zagrożenia balistyczne – pamięci magnetyczne mogą ulec trwałemu uszkodzeniu – urządzenia elektroniczne mogą niepoprawnie funkcjonować lub ulec trwałemu uszkodzeniu – przy szybkim poruszaniu się mogą wystąpić niepożądane reakcje na indukowane prądy elektryczne (takie jak wrażenia wzrokowe czy utrata równowagi)	– indywidualna ocena zagrożeń dla użytkownika implantów medycznych może wskazać przeciwwskazania do zatrudnienia – zabronione zatrudnienie kobiet w ciąży i pracowników młodocianych – obszar pola o $B > 0,5 \text{ mT}$ i zagrożenia dla użytkowników implantów oraz zagrożenia balistyczne i zagrożenia dla urządzeń elektronicznych powinny być oznakowane – zagrożenia związane z poruszaniem się w polu magnetostatycznym powinny być oznakowane

nych nim cewkach i emisję impulsowego hałasu, przed którego niepożądanym oddziaływaniem należy chronić pacjentów i pracowników [5].

Profilaktyka

Niekontrolowane oddziaływanie pola magnetostatycznego w otoczeniu silnych magnesów S-RM może przyczynić się do bardzo poważnych wypadków (nawet śmiertelnych) oraz uszkodzenia urządzeń, mogącego skutkować poważnymi stratami finansowymi. Profilaktyka tych zagrożeń jest najistotniejszym elementem międzynarodowych wymagań dotyczących skutecznego zapewnienia bezpieczeństwa i higieny pracy przy silnych magnesach [6-7].

Do najistotniejszych przekazów profilaktyki należy uświadomienie, że zarówno magnesy stałe, jak i nadprzewodzące są stale aktywne i zagrożenia związane ze skutkami oddziaływania silnego pola magnetostatycznego mogą być równie groźne dla pracowników obsługujących badania diagnostyczne, jak i dla wszystkich osób wykonujących dowolne czynności przy skanerze – również te, które nie dotyczą pacjentów, takie jak sprzątanie pomieszczeń, czyszczenie lub konserwacja urządzeń, prace remontowe itp.

Uwzględniając omówione zagrożenia, występujące w poszczególnych strefach ochronnych pola magnetostatycznego (scharakteryzowanych w załączniku) można wskazać zagrożenia bezpieczeństwa i zdrowia oraz zalecenia profilaktyczne podsumowane w tabeli. Wymagania prawa pracy, mające odniesienia do pracy w polach elektromagnetycznych S-RM, a także dane bibliograficzne, omówiono również w załączniku [8-15].

Podsumowanie

Brak jest danych dotyczących skutków zdrowotnych narażenia wieloletniego pracowników na pole magnetostatyczne, głównie z powodu stosunkowo krótkiego wykorzystywania takich pól w środowisku pracy. Natomiast dostępne są liczne doniesienia wskazujące na możliwość biologicznego

działania pola magnetostatycznego silniejszego niż kilkadziesiąt mikrotesli, takiego jak zwiększenie kinetyki reakcji enzymatycznych, procesu peroksydacji lipidów, uszkodzeń DNA w limfocytach krwi obwodowej, aberracji chromosomalnych w limfocytach, częstotliwości zaindukowanych wybranymi mutagenami mikrojąder w erytrocytach [2,7].

Wyniki badań naukowych nakazują daleko idącą ostrożność przy ocenie zagrożeń zdrowia związanych z wieloletnią pracą w narażeniu na pole magnetostatyczne wytwarzane przez magnesy S-RM. Ponadto specyfika warunków pracy przy S-RM wymaga szerokiego stosowania profilaktyki zagrożeń wypadkowych i bardzo konsekwentnego – ze względu na omówione w artykule różnorodne zagrożenia elektromagnetyczne, jakie występują wskutek oddziaływania na obiekty materialne i ludzi, wywieranego przez wytwarzane nieprzerwanie przez magnes skanera pole magnetostatyczne.

PIŚMIENICTWO

[1] Hansson Mild K., Hand J., Hietanen M., Gowland P., Karpowicz J., Keevil S., Lagroye L., van Rongen E., Scarfi M. R., Wilen J. *Exposure Classification of MRI Workers in Epidemiological Studies*. „Bioelectromagnetics” 2013,34,1:81-84

[2] Karpowicz J., Gryz K., Politański P., Zmysłony M. *Narażenie na pole magnetostatyczne i zagrożenia zdrowia przy obsłudze skanerów rezonansu magnetycznego*. „Medycyna Pracy” 2011,62,3:309-321

[3] Karpowicz J., Gryz K.: *Narażenie na pola elektromagnetyczne przy czynnościach pielęgnarskich w placówkach diagnostyki rezonansu magnetycznego*. „Inżynieria Biomedyczna, Acta Bio-Optica et Informatica Medica” 2012, Vol. 18, 3:206-212

[4] Wilén J, de Vocht F.: *Health complaints among nurses working near MRI scanners - a descriptive pilot study*. “Eur. J. Radiol.” 2011,80,2:510-513

[5] Morzyński L., Kozłowski E., Młyński R., Karpowicz J. *Ocena hałasu generowanego przez skanery rezonansu magnetycznego i jego wpływ na narząd słuchu – badania pilotowe*. „Inżynieria Biomedyczna, Acta Bio-Optica et Informatica Medica” 2011, Vol. 17, 4:292-296

[6] PN-EN 60601-2-33:2003. Medyczne urządzenia elektryczne. Część 2-33: Szczegółowe wymagania bezpieczeństwa urządzeń rezonansu magnetycznego do diagnostyki medycznej (wcześniej opublikowana jako norma IEC-601-2-33: Medical electrical equipment – Part

2: Particular requirements for the safety of magnetic resonance equipment for medical diagnosis).

[7] ICNIRP International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection Guidelines on Limit of Exposure to Static Magnetic Fields. “Health Physics”, 2009, Vol. 96,4:404-514

[8] Karpowicz J.: *Oddziaływanie wywierane przez pole magnetostatyczne wytwarzane przez magnesy na przedmioty metalowe – zagrożenia bezpieczeństwa przy skanerach rezonansu magnetycznego i spektrometrach NMR*. „Inżynier Medyczny” 2012, 3:135-137

[9] Serwis internetowy: *Your information resource for MRI safety, bioeffects and patient management*, <http://www.MRIsafety.com> (dostęp z 1.06.2013)

[10] Rawa H *Elektryczność i magnetyzm w technice*. Wydawnictwo Naukowe PWN, pp. 300-335, Warszawa 1994

[11] Chaljub G., Kramer L.A., Johnson R.F. i wsp. *Projectile cylinder accidents resulting from the presence of ferromagnetic nitrous oxide or oxygen tanks in the MR suite*. “Am. J. Roentgenol” 2001,177,1:27-30

[12] Serwis internetowy „Bezpieczniej” <http://www.ciop.pl/bezpieczniej>

[13] Chen D.W. *Boy, 6, dies of skull injury during M.R.I.* “NY Times” 2001, Jul 31:Sec. B:1,5

[14] <http://ducknetweb.blogspot.com/2010/06/mri-accident-earlier-this-year-kills.html> (dostęp z 1.06.2013)

[15] Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2013/35/UE z dnia 26 czerwca 2013 r. w sprawie minimalnych wymagań w zakresie ochrony zdrowia i bezpieczeństwa dotyczących narażenia pracowników na zagrożenia spowodowane czynnikami fizycznymi (polami elektromagnetycznymi) (dwudziesta dyrektywa szczegółowa w rozumieniu art. 16 ust. 1 dyrektywy Rady 89/391/EWG) i uchylająca dyrektywę 2004/40/WE, Dz.Urz. UE L 179/1, 2013

Publikacja opracowana na podstawie wyników II etapu programu wieloletniego pn. „Poprawa bezpieczeństwa i warunków pracy”, finansowanego w latach 2011-2013 w zakresie badań naukowych i prac rozwojowych ze środków Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego/Narodowego Centrum Badań i Rozwoju. Koordynator programu: Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy.

ZAŁĄCZNIK

Charakterystyka czynności wykonywanych przez elektroradiologów i pielęgniarki przy skanerach rezonansu magnetycznego

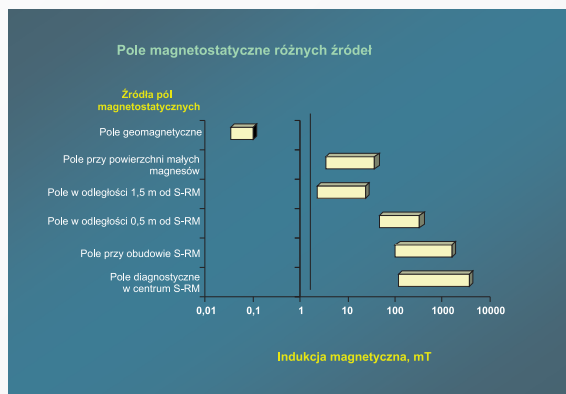
Czynności wykonywane przy rutynowych badaniach diagnostycznych z wykorzystaniem techniki rezonansu magnetycznego przez elektroradiologów i pielęgniarki składają się z powtarzających się sekwencji prac wykonywanych przy badaniach kolejnych pacjentów – wprowadzenie pacjenta do pomieszczenia skanera rezonansu magnetycznego (S-RM), ułożenie go na stole i przygotowanie go do badania, wyprowadzenie pacjenta po badaniu, w razie potrzeby przygotowanie do dożylnego podania kontrastu i jego podanie w czasie badania [Z1, Z2, Z3, Z4, Z5, Z6]. Konsola do sterowania położeniem stołu pacjenta umieszczona jest na obudowie magnesu. Wszystkie czynności w pobliżu magnesu S-RM związane są z narażeniem na pole magnetostaticzne, którego poziom zależy od odległości od magnesu w jakiej są one wykonywane – determinowanych konstrukcją S-RM, stanem zdrowia pacjenta, ale również sposobem wykonywania pracy. Czynności manualne można wykonać z odległości wyciągniętej ręki, tj. zależnie od wzrostu pracownika w odległości ok. 60-90 cm [Z7].

Elektroradiolodzy i pielęgniarki zwykle nie przebywają w pobliżu magnesu w czasie badania – nadzorują je ze stanowiska komputerowego sterowania pracą S-RM, które znajduje się przy oknie umożliwiającym wizualną kontrolę zachowania pacjenta. Kontakt z pacjentem zapewniony jest również przez urządzenia do komunikacji głosowej, znajdujące się przy konsoli komputerowej. Sporadycznie konieczne jest asystowanie pacjentowi w czasie całego badania, ale często w takich przypadkach z pacjentem zostają członkowie rodziny, np. rodzice przy badaniach dzieci.

Zazwyczaj w ciągu dnia pracy zespół 1-4 pracowników (elektroradiologów i pielęgniarek) wykonuje od 10 do 30 badań pacjentów. Najczęściej wykonywane są badania głowy, kręgosłupa szyjnego, tułowia i stawów kończyn.

Charakterystyka zagrożeń balistycznych przy magnesach skanerów rezonansu magnetycznego

Pole magnetostaticzne o niejednorodnym rozkładzie przestrzennym wywiera siłę przesunięcia na przedmioty ferromagnetyczne, a na przedmioty o wydłużonym kształcie również siłę obrotu [2, 8]. Oddziaływanie to może powodować przesuwanie przedmiotu w kierunku magnesu lub jego obrót do ustawienia zgodnie z polaryzacją pola (jak w przypadku igły kompasu ustawiającej się zgodnie z kierunkiem północ-południe). Może spowodować też lewitowanie przedmiotu z narastającą gwałtownie prędkością w kierunku magnesu. Dlatego niepożądane skutki takich oddziaływań nazywane są zagrożeniami balistycznymi, lub latającymi obiektami. Ze względu na to, że w środowisku pracy magnesy S-RM należą do najsilniejszych źródeł pól magnetostaticznych, zagrożenia te należą do najpoważniejszych zagrożeń bezpieczeństwa i zdrowia pracowników i pacjentów, a także urządzeń, jakie występują w placówkach rezonansu magnetycznego (rys. Z1, Z2).



Rys. Z1. Pola magnetostaticzne wytwarzane przez różne źródła



Rys. Z2. Przykład ilustrujący zagrożenia balistyczne – typowa pompa infuzyjna (MR Unsafe), stwarzająca zagrożenie w pomieszczeniu diagnostycznym, została przyciągnięta przez magnes S-RM [9, za zgodą F.G. Shellock]

Silne magnesy mogą przyciągać bardzo ciężkie przedmioty, o masie nawet wielu kilogramów (takie jak narzędzia, klucze, butle z tlenem, urządzenia elektryczne). Uderzenie przez taki przedmiot może spowodować nie tylko uszkodzenie urządzenia zawierającego magnes, czy innych znajdujących się przy nim urządzeń, ale również poważne uszkodzenie ciała lub nawet utratę życia osób (pracowników i pacjentów), znajdujących się przy magnesie (szczególnie zagrożone są głowa i oczy).

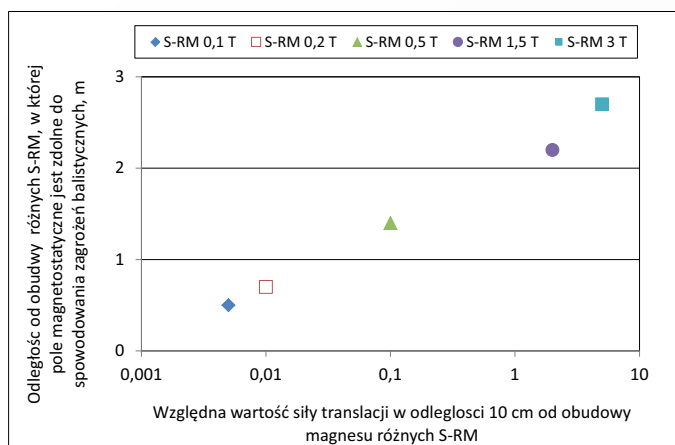
Podatność na oddziaływanie magnesu poszczególnych obiektów zależy m.in. od ich składu chemicznego, sposobu wytwarzania i obróbki w procesach konstrukcyjnych, a więc może być znacznie zróżnicowana (tab. Z1), a także zależna od ich wielkości i kształtu, a więc wymaga indywidualnej oceny [8, 10]. Przykładowo wkrętaki, tzw. śrubokręty elektrotechniczne, których stalowy grot jest namagnesowany, należą do przedmiotów szczególnie podatnych na oddziaływanie magnesu. Skutki oddziaływania pola magnetostaticznego są zależne również od rodzaju powierzchni przedmiotów i podłoża na jakim się znajdują.

Tabela Z1. Podatność różnych materiałów na oddziaływanie pola magnetostaticznego [10]

Rodzaj materiału	Ferromagnetyki	Paramagnetyki	Diamagnetyki
Przykładowe materiały	żelazo czyste lub techniczne nikiel stal nierdzewna *)	powietrze aluminium tytan stal nierdzewna *)	próżnia złoto srebro miedź woda stal nierdzewna *)
Podatność na groźne oddziaływanie magnesu	Bardzo duża	Brak	Brak

*) – zależnie od składu i metod obróbki przedmiotów ze stali nierdzewnej mogą one w różnorodny sposób reagować na oddziaływanie pola magnetostaticznego

Siła translacji wywierana przez pole magnetostaticzne jest proporcjonalna do iloczynu indukcji magnetycznej i gradientu indukcji tego pola w przestrzeni, natomiast siła obrotu jest proporcjonalna do kwadratu indukcji magnetycznej, a więc gwałtownie narastają w miarę zbliżania się do magnesu. W odległości 2-3 m od niego zmniejszają się do tego stopnia, że zagrożenia balistyczne zanikają [8]. Na rys. Z3 zestawiono względną wartość siły translacji wywieranej na obiekty ferromagnetyczne znajdujące się przy obudowie magnesów różnych S-RM oraz zasięg pola o $B > 3$ mT (tj. pola magnetostaticznego w jakim mogą wystąpić zagrożenia balistyczne) w otoczeniu magnesów.



Rys. Z3. Względna wartość siły transjacji wywieranej na obiekty ferromagnetyczne i zasięg pola magnetycznego wywołującego zagrożenia balistyczne w otoczeniu magnesów różnego typu S-RM

Zdarzenia z udziałem „latających obiektów”, które nie spowodowały strat materialnych lub uszkodzenia ciała i konieczności kosztownego wyłączenia magnesu, z reguły nie są ewidencjonowane, nie są więc znane dane o ilości i skutkach takich zdarzeń. Opierając się jednak na publikacjach internetowych, piśmiennictwie specjalistycznym i relacjach świadków różnego typu zdarzeń, można podać przykłady reprezentujące różnorodność niepożądanego zdarzeń z udziałem „latających obiektów”, takich jak: metalowe narzędzia, wózki i łóżka do przewożenia pacjentów, butle z tlenem, gazami anestetycznymi lub spawalniczymi, krzesła biurowe, odkurzacze, klucze, itp. Uderzenia takich przedmiotów w magnes powodowały różnego typu uszkodzenia urządzeń i konieczność wyłączenia magnesu, aby można było je zabrać [8, 11, 12]. W niektórych przypadkach doszło do uszkodzenia ciała, a nawet śmierci ludzi wskutek np. przygnięcia pracownika wykonującego remont do obudowy skanera przez przyciągnięte przez magnes butle z gazami spawalniczymi lub uderzenia pacjenta przyciągniętą butlą tlenową [13, 14].

Charakterystyka zagrożeń wynikających z oddziaływania na urządzenia elektroniczne w otoczeniu magnesów

Pole magnetyczne oddziałuje również w inny sposób na przedmioty i urządzenia elektroniczne – ma zdolność modyfikowania pamięci na nośnikach magnetycznych, co może prowadzić do trwałego uszkodzenia np. magnetycznych kart bankomatowych, plików danych zarchiwizowanych na dyskietkach lub dyskach magnetycznych, zmiany parametrów magnetycznych urządzeń zabezpieczających. Uszkodzenie pamięci magnetycznej może prowadzić do dysfunkcji lub trwałego uszkodzenia urządzeń elektronicznych, w których znajdują się takie podzespoły [7, 12].

Łącznie ze wspomnianym przyciągnięciem przez magnes ferromagnetycznych elementów urządzeń, m.in. wielu rodzajów baterii elektrycznych, oddziaływania takie w pobliżu silnych magnesów bardzo istotnie ograniczają możliwość eksploatacji urządzeń elektronicznych, takich jak: urządzenia medyczne do diagnostyki, monitorowania lub wspomaganie funkcji życiowych pacjenta oraz urządzenia elektroniczne kontrolno-pomiarowe, komputerowe, telefony komórkowe, czy elektroniczne implanty medyczne używane przez pacjentów lub pracowników [7, 12].

Charakterystyka zagrożeń związanych z poruszaniem się w pobliżu magnesów

W związku z tym, że aktywność pracowników w otoczeniu S-RM odbywa się z reguły w czasie kiedy nie są emitowane pola radiofale i gradientowe, wykorzystywane w czasie badania pacjenta, kluczowe jest rozpatrzenie zagrożeń wynikających z oddziaływania na organizm pracownika stale włączonego pola magnetycznego magnesu.

Pracownik poruszający się szybko w polu magnetycznym o indukcji większej od 1 T może odczuwać na przykład: zaburzenia wzrokowe, zabu-

żenia koordynacji ręka-oko, zawroty głowy, utratę równowagi, nudności, problemy z koncentracją i funkcjonowaniem pamięci, zmęczenie lub senność, które są powodowane przez prądy elektryczne, indukowane wskutek oddziaływania pola [4, 7]. W czasie pracy mogą być one nieobojętne zarówno dla bezpieczeństwa i zdrowia pracowników, jak i bezpieczeństwa pacjentów, powodując zdarzenia wypadkowe, na przykład wskutek upośledzonej samokontroli i nieprecyzyjnego wykonywania przez pracownika czynności.

Dotychczas brak szczegółowych zaleceń międzynarodowych dotyczących ochrony pracowników przed zagrożeniami związanymi z poruszaniem się w otoczeniu magnesu, jednak zalecenia międzynarodowe i dyrektywa europejska, wskazują na konieczność przeciwdziałania im w środowisku pracy [7, 15]. Profilaktyka obejmuje w tym przypadku organizację pracy taką, aby pracownik nie był zmuszony do zbyt pośpiesznego wykonywania czynności w obszarze silnych pól magnetycznych (im silniejsze pole magnetyczne tym sposób poruszania się musi być wolniejszy), informowanie pracowników o miejscach, gdzie zagrożenia takie mogą wystąpić oraz działania organizacyjne i techniczne modyfikujące procedury pracy tak, aby czynności zawodowe były wykonywane przez pracowników przebywających w jak najniższych polach magnetycznych. Na przykład wydłużone stoły do układania pacjentów przygotowywanych do badania, umożliwiają poruszanie się w odległości od magnesu na tyle dużej, że zarówno pracownicy jak i pacjenci nie odczuwają silnego dyskomfortu związanego ze skutkami poruszania się w polu magnetycznym. Przesuwanie pacjenta leżącego na stole do wnętrza magnesu odbywa się później z niewielką prędkością, aby nie odczuwał on wspomnianych skutków oddziaływania pola. Osoby poruszające się szybciej (zwykle pracownicy) odczuwają skutki zaindukowania prądów w organizmie, w stopniu zależnym od ich indywidualnej wrażliwości, a także od poziomu pola magnetycznego, jak i szybkości i sposobu poruszania się w otoczeniu magnesu [7].

Wymagania polskiego prawa pracy i zalecenia międzynarodowe dotyczące pracowników narażonych na pola elektromagnetyczne przy skanerach rezonansu magnetycznego

W celu ochrony zdrowia pracowników przed niepożądanymi skutkami wieloletniego narażenia na pola elektromagnetyczne (tj. skutkami oddziaływania bezpośredniego) ustanowiono w Polsce wymagania przepisów bezpieczeństwa i higieny pracy (BHP), uwzględniając wyniki wspomnianych badań biomedycznych. Są to wymagania rozporządzenia Ministra Pracy i Polityki Społecznej w sprawie najwyższych dopuszczalnych stężeń i natężeń czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy, Część E „Pola i promieniowanie elektromagnetyczne 0 Hz – 300 GHz”, określające zasady ekspozycji zawodowej w polach stref ochronnych [Z8]:

- w polach strefy bezpiecznej ($B < 3,3$ mT) przebywanie wszystkich pracowników jest dozwolone bez ograniczeń
- w polach stref ochronnych (pośredniej i zagrożenia), ($3,3$ mT $< B < 100$ mT) ocenie podlega wskaźnik ekspozycji pracownika, zależny od poziomu narażenia i czasu oddziaływania pola (zasady jego obliczania podaje PN-T-06580:2002) [Z9]
- w polach strefy niebezpiecznej ($B > 100$ mT) przebywanie pracowników jest zabronione, z wyjątkiem narażenia kończyn.

Postanowienia rozporządzenia nie odnoszą się do bezpieczeństwa osób poddawanych zabiegom medycznym.

W otoczeniu magnesów S-RM, dla bezpieczeństwa i zdrowia pracowników, a także pacjentów, kluczowe znaczenie ma zapewnienie właściwej ochrony również przed innymi skutkami bezpośredniego i pośredniego oddziaływania pola magnetycznego na obiekty materialne i ludzi. Zagrożenia wynikające ze skutków oddziaływania pola elektromagnetycznego bezpośrednio w organizmie przebywającego w nim człowieka, nazywane są elektromagnetycznymi zagrożeniami bezpośrednimi – dotyczą zarówno skutków występujących w czasie narażenia (odczuwanych zmysłami lub bez świadomości człowieka), jak i zagrożeń zdrowia wynikających z narażenia przewlekłego. Ponadto dla bezpieczeństwa i zdrowia ludzi istotne mogą być tzw. elektromagnetyczne zagrożenia pośrednie, wynikające z oddziaływania pól elektromagnetycznych na urządzenia i przedmioty

znajdujące się w miejscu pracy. Do zagrożeń pośrednich zaliczane są głównie zagrożenia balistyczne i oddziaływanie na urządzenia elektroniczne, a do zagrożeń bezpośrednich nie objętych wymaganiami rozporządzenia w sprawie NDN zagrożenia związane z poruszaniem się w silnych polach magnetostatycznych.

Ponadto zgodnie z wymaganiami rozporządzenia Rady Ministrów w sprawie wykazu prac wzbronionych kobietom nie wolno zatrudniać kobiet w ciąży (par. IV.1) m.in. w zasięgu pól elektromagnetycznych o natężeniach przekraczających wartości dla strefy bezpiecznej oraz przy obsłudze monitorów ekranowych powyżej 4 godzin na dobę [Z10]. Rozporządzenie Rady Ministrów w sprawie wykazu prac wzbronionych młodocianym i warunków ich zatrudniania przy niektórych z tych prac stanowi również, że wzbronione jest zatrudnianie młodocianych przy pracach w zasięgu pól elektromagnetycznych o natężeniach przekraczających wartości dla strefy bezpiecznej, określone w przepisach w sprawie najwyższych dopuszczalnych stężeń i natężeń czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy [Z11]. Ze względu na występowanie w otoczeniu magnesów skanerów RM pól magnetostatycznych stref ochronnych zabronione jest więc zatrudnianie do tej pracy kobiet w ciąży i pracowników młodocianych oraz pracowników z implantami [PN-EN 60601-2-33:2003, dyrektywa 2013/35/UE] [Z12, Z18].

Sposób obsługi S-RM i szczegółowe instrukcje obsługi poszczególnych rodzajów badań oraz organizacja badań wykonywanych skanerem w ciągu zmiany roboczej powinny być takie, aby pracownicy nie wykonywali czynności w obszarze strefy niebezpiecznej, a wskaźnik ekspozycji poszczególnych pracowników obsługujących urządzenie nie przekraczał wartości dopuszczalnej $W = 1$, ustalonej przez obowiązujące przepisy [Z8]. Na podstawie wyników badań wykonanych w wybranych placówkach diagnostyki obrazowej można wskazać, że skuteczne działania zmierzające do ograniczenia narażenia pracowników na pole magnetostatyczne mogą obejmować:

- tzw. rotację pracy w polach stref ochronnych, tzn. wykonywanie określonej pracy w ciągu zmiany roboczej zamiennie przez zespół odpowiednio przeszkolonych pracowników
- seryjne wykonywanie badań tego samego typu, tj. bez wymiany cewek diagnostycznych
- maksymalne wysuwanie stołu pacjenta w celu przygotowania badania lub podania mu kontrastu
- instruowanie pacjenta nt. przebiegu badania przez pracownika stojącego z dala od obudowy magnesu.

Pracownicy powinni zostać również poinstruowani, jak poziom ich narażenia zależy od sposobu wykonywania czynności związanych z obsługą pacjentów, i jak unikać ekspozycji niebezpiecznej lub nadmiernej.

Pracownicy zatrudnieni przy obsłudze S-RM na podstawie rozporządzenia Ministra Zdrowia i Opieki w sprawie przeprowadzania badań lekarskich pracowników, zakresu profilaktycznej opieki zdrowotnej nad pracownikami oraz orzeczeń lekarskich wydawanych do celów przewidzianych w Kodeksie pracy powinni być poddawani wstępnym i okresowym badaniom lekarskim uwzględniającym wykonywanie czynności zawodowych w warunkach narażenia na pola elektromagnetyczne [Z13].

Ze względu na występowanie w otoczeniu S-RM pól magnetostatycznych stref ochronnych, warunki narażenia pracowników na pola elektromagnetyczne podlegają okresowej kontroli – zgodnie z postanowieniami Kodeksu pracy i przepisów BHP – rozporządzenia Ministra Zdrowia w sprawie badań i pomiarów czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy [Z14], a o wynikach takich badań należy poinformować pracowników zatrudnionych przy obsłudze S-RM – zgodnie z art. 226 Kodeksu pracy i par. 17 ust. 2 wspomnianego rozporządzenia.

Zgodnie z ogólnymi przepisami o bezpieczeństwie i higienie pracy [Z15] oraz przepisami bezpieczeństwa i higieny pracy w polach elektromagnetycznych [Z8], miejsca występowania pola elektromagnetycznego stref ochronnych powinny być oznakowane znakami ostrzegawczymi, których wielkość i kolorystykę określono w normach [Z16, Z17]. Zgodnie z PN-T-06580:2002, znaki ustalone normą PN-74/T-06260 są zalecane do stosowania przy źródłach pól o częstotliwości z całego zakresu objętego postanowieniami rozporządzenia w sprawie NDN, tj. 0-300 GHz. Oznaczenia znormalizowane mogą być uzupełnione lub zastąpione również informacja-

mi opisowymi umieszczonymi w widocznych miejscach w otoczeniu źródeł pól elektromagnetycznych.

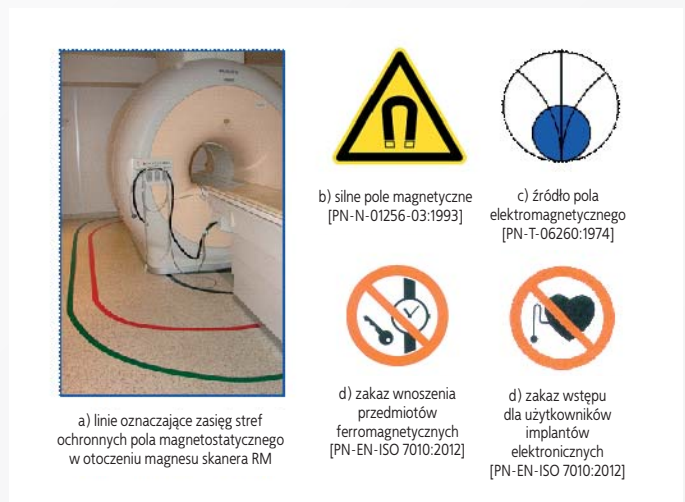
Ze względu na złożone zagrożenia zawodowe występujące przy magnesie S-RM, takie jak: zagrożenie balistyczne, zagrożenie eksplozją ciekłego gazu chłodzącego magnes, możliwość utraty równowagi wskutek oddziaływania silnego pola magnetostatycznego na pracownika wykonującego szybko czynności bezpośrednio przy magnesie – czynności wykonywane przy obsłudze S-RM mogą należeć niewątpliwie do prac szczególnie niebezpiecznych, których dotyczą specjalne wymagania w zakresie organizacji pracy i szczegółowe instrukcje wykonywania pracy.

Międzynarodowe zalecenia dotyczące bezpieczeństwa w polach magnetostatycznych zwracają uwagę na konieczność przeciwdziałania zagrożeniom balistycznym. PN-EN 60601-2-33 i wymagania dyrektywy europejskiej dotyczącej ochrony pracowników przed zagrożeniami elektromagnetycznymi w miejscu pracy podają, że zagrożenia balistyczne występują w PMS przekraczających 3 mT, traktując jako zagrożenie porwanie przez magnes nawet drobnych przedmiotów o masie kilkunastu-kilkudziesięciu gramów, które mogą spowodować uszkodzenie ciała człowieka [Z12, Z18]. Wyższe poziomy progowe, rzędu 30-70 mT, podane w innych źródłach dotyczą przedmiotów o większej masie. Natomiast zalecenia Międzynarodowej Komisji ds. Promieniowań Niejonizujących (ICNIRP'2009) podają, że zagrożenia balistyczne występują w polach o indukcji magnetycznej większej od kilku mT [Z19].

W PN-EN 60601-2-33 oraz zaleceniach ICNIRP'2009 określono również strefę ograniczonego dostępu, w której nie powinni przebywać ludzie z elektrostymulatorami serca, tj. obszar, w którym PMS przekracza 0,5 mT [Z12, Z19].

W związku z tym ICNIRP proponuje, dla uproszczenia zasad ochrony przed pośrednimi zagrożeniami elektromagnetycznymi przy źródłach pola magnetostatycznego, przyjęcie poziomu indukcji magnetycznej 0,5 mT, zarówno jako progu dla systemu ochrony przed zagrożeniami balistycznymi, jak i kontrolowanego dostępu dla osób z implantami elektronicznymi [Z19].

Zarówno wspomniane zalecenia międzynarodowe, jak i wymagania polskich przepisów BHP, wymagają oznakowania miejsc gdzie występują zagrożenia elektromagnetyczne, jednak sposób tego oznakowania może być różnorodny. Przykłady zaprezentowano na rys. Z4.



Rys. Z4. Przykładowe oznaczenia ostrzegające o zagrożeniach związanych z oddziaływaniami PMS, umieszczone w otoczeniu S-RM [Z16, Z17]

PN-EN 60601-2-33 przewiduje również czytelne oznakowanie przedmiotów, które nie podlegają oddziaływaniu pola magnetostatycznego i mogą być bezpiecznie użytkowane lub przechowywane w pobliżu magnesu S-RM (rys. Z5) [Z12]. W polskich przepisach BHP brak odpowiednika, jednakże jest jak najbardziej wskazane stosowanie się do zasady, aby w pomieszczeniu diagnostycznym (a także w pomieszczeniach, z których można bezpośrednio wejść w pobliże skanera) znajdowały się jedynie objekty, które nie podlegają oddziaływaniu pola magnetostatycznego (bez elementów ferromagnetycznych, pamięci magnetycznych, układów elektronicznych wrażliwych na oddziaływanie pola, itd.) i aby było to czytelnie oznaczone.



Rys. Z5. Oznaczenie informujące, że dany przedmiot nie podlega niepożądanym oddziaływaniom pola magnetostaticznego, tzn. może być bezpiecznie użytkowany w pobliżu magnesu S-RM (wg PN-EN-60601-2-33) [Z12]

Informacje ostrzegające o występujących zagrożeniach związanych z oddziaływaniem PMS w pobliżu magnesu skanera spełniają swoje funkcje przy właściwym rozmieszczeniu, wielkości i treści jeśli są one:

- łatwe do zauważenia (wystarczającej wielkości i umieszczone w widocznych miejscach) we wszystkich warunkach jakie występują w placówce diagnostycznej, zarówno w czasie prowadzenia badań pacjentów, jak i w czasie kiedy w placówce nie prowadzi się rutynowych działań
- jednoznacznie ostrzegające o poszczególnych zagrożeniach, aby były skuteczne również w czasie kiedy w placówce nie ma świadomych zagrożeń pracowników, zatrudnionych do rutynowych prac przy skanerze
- zrozumiałe, zarówno dla osób przeszkolonych na temat BHP w placówce diagnostycznej, jak i osób przebywających tam przypadkowo lub sporadycznie
- zredagowane po polsku (zgodnie z wymaganiami ustawy o ochronie języka polskiego).

Ponadto wspomniane zalecenia międzynarodowe wskazują na konieczność zapewnienia bezpieczeństwa pracowników, którzy wykorzystują różnego typu implanty medyczne – mechaniczne lub elektroniczne, całkowicie lub częściowo implantowane (jak na przykład implanty kardiologiczne, częściowo implantowane pompy insulinowe lub implanty słuchowe) oraz bezpieczeństwa pracownic w ciąży.

Pracowników wykorzystujących wspomagające elektroniczne urządzenia medyczne, dotyczy więc zalecenie aby nie przebywali we wspomnianej strefie ograniczonego dostępu, gdzie indukcja pola magnetostaticznego przekracza 0,5 mT. Od lat nie są implantowane wszczepy mechaniczne z materiałów ferromagnetycznych, więc dla większości pracowników którzy mają implanty mechaniczne pobyt w otoczeniu magnesu S-RM i oddziaływanie pola magnetostaticznego nie jest zagrożeniem. Jednakże każdy przypadek wymaga indywidualnej oceny zagrożeń, uwzględniającej rodzaj implantu i poziom pola w otoczeniu skanera.

W Polsce brak obecnie wymagań bezpieczeństwa i higieny pracy, które odwoływałyby się jawnie do ochrony przed pośrednimi zagrożeniami elektromagnetycznymi w otoczeniu źródeł pola magnetostaticznego – tj. przed zagrożeniami balistycznymi i zagrożeniami dla użytkowników medycznych implantów elektronicznych. Jednakże zgodnie z wymaganiami prawa pracy, pracodawca zobligowany jest do wyznaczenia i oznakowania zasięgu wspomnianych stref ochronnych, tj. obszaru pola > 3,3 mT. Ponieważ wartość $B_0 = 3,3$ mT, która jest granicą między strefą pośrednią i bezpieczną, jest zbliżona do granicy występowania niebezpiecznego zjawiska „latających obiektów” przyciąganych przez magnes, praktyczne konsekwencje stosowania się do wymagań polskich przepisów BHP są zbliżone do omówionych wymagań międzynarodowych. Wprawdzie zalecany zasięg obszaru ograniczonego dostępu dla użytkowników elektronicznych implantów medycznych jest nieznacznie większy od obszaru strefy pośredniej, ale prawidłowe wyznaczenie zasięgu strefy pośredniej powinno zapewnić również bezpieczeństwo dla takich osób ponieważ zasięg pola magnetostaticznego o indukcji przekraczającej 0,5 mT jest tylko nieco rozleglejszy (nie sięga dalej niż o dodatkowe 0,5 m od obudowy magnesu, w stosunku do zasięgów pola > 3 mT).

Zalecenia międzynarodowe nie rozstrzygają, czy pobyt w silnym polu magnetostaticznym jest dopuszczalny dla pracownic w ciąży.

Wymagania dyrektywy europejskiej 2013/35/EU, dotyczącej ochrony pracowników przed zagrożeniami elektromagnetycznymi, łączą obowiązek zapewnienia bezpieczeństwa dla wspomnianych grup „**pracowników szczególnie zagrożonych**” skutkami oddziaływania pól elektromagnetycznych (tj. użytkowników implantów medycznych czy pracownic

w ciąży) z realizacją opieki medycznej w systemie medycyny pracy oraz obowiązku informowania pracowników o zagrożeniach zawodowych (zasady opieki medycznej i szkoleń podlegają regulacjom szczegółowym poszczególnych państw członkowskich Unii Europejskiej). Pracodawca nie ma dostępu do dokumentacji medycznej nt. stanu zdrowia pracownika, w tym informacji na temat użytkowania przez niego implantów. Natomiast w ramach obowiązkowego informowania pracowników o zagrożeniach występujących na stanowisku pracy powinny być zawarte również informacje o przeciwwskazaniach zdrowotnych do wykonywania pracy w narażeniach zidentyfikowanych na poszczególnych stanowiskach.

W praktyce wymagania polskiego systemu BHP skutkują zbliżonymi do omówionych zaleceń międzynarodowych wymaganiami, pomimo tego że brak w nim zapisów odnoszących się wprost do ochrony „pracowników szczególnie zagrożonych” oddziaływaniem pól elektromagnetycznych. Wspomniane strefy ochronne pól elektromagnetycznych, ustanowione wymaganiami rozporządzenia ministra pracy i PN-T-06580:2002, zdefiniowano jako pola, w których mogą przebywać wyłącznie pracownicy, u których w wyniku przeprowadzonych badań lekarskich stwierdzono brak przeciwwskazań zdrowotnych do ekspozycji zawodowej w polach elektromagnetycznych [Z8, Z9]. Pracownicy ci podlegają również obowiązkowym szkoleniom z zakresu BHP przy urządzeniach będących źródłami pól elektromagnetycznych stref ochronnych. Jest to tzw. ekspozycja zawodowa. Pozostali pracownicy powinni przebywać jedynie w polach strefy bezpiecznej, podlegając tam tzw. ekspozycji pozazawodowej. W ramach wspomnianych okresowych badań lekarskich, lekarz medycyny pracy uwzględniając charakterystykę narażeń środowiskowych na stanowisku pracy, podejmuje decyzję o dopuszczeniu pracownika do wykonywania tam pracy. Jednoznacznie określono, że dla kobiet w ciąży praca w polach stref ochronnych jest zabroniona. Dla pracowników użytkujących implanty medyczne tak jednoznacznych wymagań brak, jednak są one powszechnie dostępne w publikacjach specjalistów z zakresu medycyny pracy oraz bezpieczeństwa i higieny pracy.

PIŚMIENNICTWO

- [Z1] Hansson Mild K., Hand J., Hietanen M., Gowland P., Karpowicz J., Keevil S., Lagroye I., van Rongen E., Scarfi M. R., Wilen J. *Exposure Classification of MRI Workers in Epidemiological Studies*, *Bioelectromagnetics* 34(1): 81-84
- [Z2] Karpowicz J., Gryz K. *Ekspozymetryczny profil narażenia zawodowego na pole magnetostaticzne przy tomografii rezonansu magnetycznego 1,5 T*. *Inżynieria Biomedyczna, Acta Bio-Optica et Informatica Medica* 2010, Vol. 16, nr 3:261-264
- [Z3] Karpowicz J., Gryz K., Politański P., Zmyślony M. *Narażenie na pole magnetostaticzne i zagrożenia zdrowia przy obsłudze skanerów rezonansu magnetycznego*. *Medycyna Pracy* 2011;62(3), 309-321
- [Z4] Karpowicz J., Gryz K. *Bezpieczeństwo pacjentów i pracowników przy wykorzystywaniu pól elektromagnetycznych w diagnostyce i terapii medycznej*. *Inżynier Medyczny*, 2012, nr 1, 25-28
- [Z5] Karpowicz J., Gryz K. *Narażenie na pola elektromagnetyczne przy czynnościach pielęgnarskich w placówkach diagnostyki rezonansu magnetycznego*. *Inżynieria Biomedyczna, Acta Bio-Optica et Informatica Medica* 2012, Vol. 18, 3:206-212
- [Z6] Wilén J., de Vocht F. *Health complaints among nurses working near MRI scanners - a descriptive pilot study*. *Eur. J. Radiol.* 2011, 80,2:510-513
- [Z7] Gedliczka A. *Atlas miar człowieka. Dane do projektowania i oceny ergonomicznej*. Warszawa, CIOPI, 2001
- [Z8] 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, DzU 2002, nr 217, poz. 1833
- [Z9] PN-T-06580:2002 *Ochrona pracy w polach i promieniowaniu elektromagnetycznym w zakresie częstotliwości od 0 Hz do 300 GHz*. Arkusz 01. Terminologia. Arkusz 03. Metody pomiaru i oceny pola na stanowisku pracy
- [Z10] Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 10 września 1996 r. w sprawie wykazu prac wzbronionych kobietom. DzU 1996, nr 114, poz. 545, i zm. DzU 2002, nr 127, poz. 1092
- [Z11] Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 24 sierpnia 2004 r. w sprawie wykazu prac wzbronionych młodocianym i warunków ich zatrudniania przy niektórych z tych prac. DzU 2004, nr 200, poz. 2047
- [Z12] PN-EN 60601-2-33:2003. *Medyczne urządzenia elektryczne. Część 2-33: Szczegółowe wymagania bezpieczeństwa urządzeń rezonansu magnetycznego do diagnostyki medycznej (wcześniej opublikowana jako norma IEC-601-2-33: Medical electrical equipment - Part 2: Particular requirements for the safety of magnetic resonance equipment for medical diagnosis)*

[Z13] Rozporządzeniu Ministra Zdrowia i Opieki Społecznej z dnia 30 maja 1996 w sprawie przeprowadzania badań lekarskich pracowników, zakresu profilaktycznej opieki zdrowotnej nad pracownikami oraz orzeczeń lekarskich wydawanych do celów przewidzianych w Kodeksie pracy. DzU 1996, nr 69, poz. 332

[Z14] Rozporządzenia Ministra Zdrowia z dnia 2 lutego 2011 r. w sprawie badań i pomiarów czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy. DzU 2011, nr 33, poz. 166

[Z15] Rozporządzenie Ministra Pracy i Polityki Socjalnej z dnia 26 września 1997 r. w sprawie ogólnych przepisów bezpieczeństwa i higieny pracy. DzU 2003, nr 169, poz. 1650 z późniejszymi zmianami

[Z16] PN-T-06260:1974 (PN-74/T-06260). *Źródła promieniowania elektromagnetycznego. Znaki ostrzegawcze*

[Z17] PN-EN-ISO 7010:2012. *Symbole graficzne. Barwy bezpieczeństwa i znaki bezpieczeństwa. Zarejestrowane znaki bezpieczeństwa*

[Z18] Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2013/35/UE z dnia 26 czerwca 2013 r. w sprawie minimalnych wymagań w zakresie ochrony zdrowia i bezpieczeństwa dotyczących narażenia pracowników na zagrożenia spowodowane czynnikami fizycznymi (polami elektromagnetycznymi) (dwudziesta dyrektywa szczegółowa w rozumieniu art. 16 ust. 1 dyrektywy Rady 89/391/EWG) i uchylająca dyrektywę 2004/40/WE. Dz. Urz. UE L 179/1, 2013

[Z19] International Commission on Non-ionizing Radiation Protection (ICNIRP): *Guidelines on limits of exposure to static magnetic fields*. "Health Physics", 2009, 96:504-514