



# Ocena zagrożeń zdrowia związanych ze skumulowanym narażeniem pracowników na silne pole magnetostatyczne skanerów rezonansu magnetycznego – badania pilotowe

## Evaluation of health hazards related to the cumulative workers exposure to static magnetic field of magnetic resonance scanners – pilot study

Jolanta Karpowicz

Zakład Bioelektromagnetyki, Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy, ul. Czerniakowska 16, 00-701 Warszawa, e-mail: jokar@ciop.pl

### Streszczenie

### Abstract

Wśród tematyki priorytetowych badań, dotyczących skutków oddziaływania pola elektromagnetycznego na biosferę, od lat wymieniane są badania dotyczące oceny zagrożeń zdrowia związanych ze skutkami skumulowanego narażenia na silne pole magnetostatyczne. Narażenie takie w środowisku pracy dotyczy głównie skutków wieloletniej pracy w otoczeniu magnesów skanerów rezonansu magnetycznego. W badaniach pilotowych, wykorzystując wyniki badań ekspozymetrycznych, oszacowano skumulowane oddziaływanie pola magnetostatycznego na pracowników wykonujących typowe badania diagnostyczne. Wyniki sugerują, że skumulowane narażenie elektroradiologów w ciągu 10-20 lat pracy przy skanerach osiąga poziom, przy którym w badaniach epidemiologicznych stwierdzono zwiększone zagrożenie rozwojem nadciśnienia tętniczego podczas zatrudnienia w narażeniu na pole magnetostatyczne. W badaniach epidemiologicznych z udziałem tej grupy zawodowej konieczne jest indywidualne ocenianie parametrów narażenia na pole magnetostatyczne, ponieważ skumulowane narażenie jest istotnie zróżnicowane podczas takiej pracy, m.in. ze względu na organizację pracy i stan zdrowia badanych pacjentów. Omawiany problem nie dotyczy skutków oddziaływania pola magnetostatycznego na pacjentów.

**Słowa kluczowe:** środowisko pracy, zagrożenia elektromagnetyczne, inżynieria biomedyczna

Among the topics of priority research on the effects caused by the influence of electromagnetic field on the biosphere, studies on the assessment of health hazards related to the effects of cumulative exposure to strong static magnetic field have been mentioned for years. Such exposure in the work environment relates mainly to the long years of work in the vicinity of magnets of magnetic resonance scanners. In pilot studies, using the results of exposimetric studies, the cumulative exposure to static magnetic field of workers performing typical MRI diagnostics was estimated. The results suggest that the cumulative exposure of radiographers during 10-20 years of employment by MRI scanners reaches the level at which epidemiological studies have found an increased risk of developing hypertension during employment in exposure to static magnetic field. In epidemiological studies involving this group of workers, it is necessary to individually assess the parameters of exposure to static magnetic field, because the cumulative exposure varies significantly during such work, e.g. due to the organization of work and the health of the diagnosed patients. Discussed problem do not valid with regard to effects of patients' exposure to static magnetic field.

**Key words:** work environment, electromagnetic hazards, biomedical engineering

otrzymano / received:

25.08.2021

poprawiono / corrected:

27.08.2021

zaakceptowano / accepted:

03.09.2021

## Wprowadzenie

### Zagrożenia elektromagnetyczne

Współcześnie narażenie ludzi na pole elektromagnetyczne (**po-la-EM**), bardzo zróżnicowane pod względem częstotliwości (od pola statycznego do częstotliwości 300 GHz) oraz rozkładu w przestrzeni i czasie, stało się wszechobecne wskutek dynamicznego rozwoju technologii elektromagnetycznych. Najsilniejsze narażenie, a niejednokrotnie również najbardziej długotrwałe, z reguły związane jest z wykonywaniem czynności zawodowych w pobliżu urządzeń wytwarzających silne pole-EM w związku z jego zamierzonym wykorzystaniem, m.in. w energetyce, radiokomunikacji, medycynie lub przemyśle. W środowisku pracy pole-EM bywa lokalnie znacznie silniejsze niż w miejscach dostępnych dla ludności, a jego źródła i emitowane pole-EM znacznie bardziej zróżnicowane. Niejednokrotnie pracownicy narażeni na pole-EM podlegają również oddziaływaniu innych czynników środowiskowych, chemicznych i fizycznych. Dane statystyczne wskazują, że w Polsce ok. 50% pracowników narażonych na pole-EM jest zatrudnionych w placówkach ochrony zdrowia (głównie w pobliżu urządzeń fizykoterapeutycznych, elektrochirurgicznych i rezonansu magnetycznego (**RM**), (Ryc. 1), chociaż zastosowanie pola-EM różnych częstotliwości jest tam coraz szersze,

np. w systemach RFID, hipertermii radiofalewej czy nawigacji magnetycznej). W specyficznych warunkach wykorzystywania technologii elektromagnetycznych w medycynie, również specyfika narażenia pacjentów i pracowników są diametralnie różne – narażenie pacjentów odbywa się zgodnie z indywidualnymi wskazaniami medycznymi, w kontrolowanych warunkach aplikacji pola-EM i krótkotrwałe (bądź jednorazowo), podczas gdy pracownicy przebywają w otoczeniu urządzeń medycznych podczas wielu godzin dziennie i wielu dziesięcioleci aktywności zawodowej. Ocena skutków narażenia na pole-EM w środowisku życia codziennego, a także ocena skutków aplikacji medycznych pola-EM są więc niewystarczające do oceny zagrożeń elektromagnetycznych dotyczących pracowników.

### Nadciśnienie tętnicze a narażenie na PMS

Do bardzo nielicznych danych dotyczących skutków zdrowotnych skumulowanego narażenia na silne pole magnetostatyczne (**PMS**) należą wyniki badania epidemiologicznego (kohortowego), w którym przeanalizowano wyniki pomiarów ciśnienia tętniczego krwi na podstawie dokumentacji badań lekarskich pracowników (w ramach medycyny pracy) w kontekście związku między skumulowanym oddziaływaniem PMS a rozwojem nadciśnienia tętniczego podczas zatrudnienia w takim narażeniu [1, 2]. Badana



*Ryc. 1 Praca w silnym PMS w pobliżu magnesu skanera RM, podczas przygotowania do badania kolana (zdjęcie ilustracyjne)  
Źródło: Adobe Stock (© Neiron Photo).*



kohorta składała się ze wszystkich pracowników zatrudnionych przez co najmniej jeden rok (w latach 1984-2010) w zakładach produkujących skanery RM. Rozwój nadciśnienia rozpoznawano, jeśli nadciśnienie (skurczowe przekraczające 140 mmHg lub rozkurczowe przekraczające 90 mmHg) stwierdzono w badaniu końcowym u osoby, która na początku zatrudnienia nie miała nadciśnienia (117/538 pracowników płci męskiej). Skumulowane narażenie (tzw. dozę), w Teslo-minutach ( $T \cdot \text{min}$ ), oszacowano na podstawie dokumentacji narażenia na PMS podczas zatrudnienia. Po uwzględnieniu w modelach analizy statystycznej: wieku, wskaźnika masy ciała (BMI), poziomu ciśnienia krwi podczas pierwszego badania i ochotniczego udziału w badaniach RM, autorzy stwierdzili zwiększone zagrożenie rozwojem nadciśnienia tętniczego (OR = 2,24, 95% CI: 1,25-4,00) jedynie wśród pracowników o wysokim skumulowanym narażeniu na PMS (doza przekraczająca poziom ok. 7500  $T \cdot \text{min}$ , tj.  $7,5 \times 10^6 \text{ mT} \cdot \text{min}$ ). Również wiek, BMI i skurczowe ciśnienie krwi na początku zatrudnienia były, zgodnie z oczekiwaniami autorów badania, dodatkowo związane z rozwojem nadciśnienia tętniczego. Podsumowując badanie stwierdzono, że długotrwałe silne narażenie na PMS związane z wytwarzaniem skanerów RM może sprzyjać rozwojowi nadciśnienia tętniczego podczas zatrudnienia.

## Cel badań

Biorąc pod uwagę, że w Polsce najliczniejszą grupą zawodową narażoną na silne PMS są użytkownicy skanerów RM, przeprowadzono pilotowe badanie celem oszacowania poziomu skumulowanego narażenia na PMS elektroradiologów zatrudnionych przy 1,5-teslowych skanerach RM.

## Metoda badań

W relacjonowanych badaniach pilotowych oszacowano skumulowane oddziaływanie PMS na elektroradiologów (dozę PMS) wykonujących typowe badania diagnostyczne RM na podstawie charakterystyk narażenia związanego z pojedynczym badaniem (tj. podczas sekwencji czynności związanych z przygotowaniem skanera RM i wymiennych akcesoriów do określonego badania pacjenta, wprowadzania pacjenta do sali diagnostycznej, pomocy pacjentowi przy ułożeniu się w odpowiedniej pozycji na stole diagnostycznym i wsunięcia stołu do magnesu przed badaniem, a po jego zakończeniu wysunięcia stołu, zabrania wymiennych akcesoriów i wyprowadzania pacjenta z sali diagnostycznej) [3-5]. Charakterystyki narażenia na PMS elektroradiologa wykonującego pojedyncze badanie (tzw. indywidualne profile ekspozymetryczne) zostały określone na podstawie pomiarów ekspozymetrycznych wykonanych opracowaną metodą, umożliwiającą badania narażenia w rzeczywistych warunkach pracy, w sposób niezakłócający badań pacjentów [6-8]. Wykorzystano zasilany bateryjnie przenośny rejestrator z umieszczonymi na

klatce piersiowej pracownika hallotronowymi czujnikami izotopowymi, wzorcowany w akredytowanym laboratorium CIOP-PIB (certyfikat Polskiego Centrum Akredytacji nr AP 061).

Ze względu na analizowanie parametrów profili ekspozymetrycznych w kontekście oceny wieloletniego narażenia skumulowanego pracowników (dozy), wykorzystano wartość średnią PMS zarejestrowanego w poszczególnych profilach ( $Bpb_{sr}$ , w militeslach) oraz czas narażenia na PMS w sali diagnostycznej ( $\Delta Tpb_{>0,5}$ , w minutach). Na podstawie badań rozkładu przestrzennego PMS w otoczeniu magnesów skanerów RM ustalono, że niemal w całej sali diagnostycznej PMS przekracza poziom 0,5 mT [3, 8]. W konsekwencji jako czas narażenia w sali diagnostycznej związanego z pojedynczym badaniem (pb) przyjęto czas, w którym poziom zarejestrowanej w poszczególnych profilach ekspozymetrycznych indukcji B przekracza tę wartość.

Wykorzystując parametry statystyczne serii analizowanych profili ekspozymetrycznych (wartości średnie, maksymalne i minimalne, 1. i 3. kwartyli), oszacowano narażenie skumulowane (dozę PMS) podczas wieloletniej pracy przy badaniach RM, zakładając, że elektroradiolog średnio pracuje przy 2500 badaniach rocznie, wykonując w ciągu 250 dni po 10 badań dziennie ( $D_{2500/R}$ , w  $T \cdot \text{min}$ ).

## Wyniki badań

W relacjonowanych badaniach pilotowych oszacowano skumulowane oddziaływanie PMS na elektroradiologów (dozę), wykorzystując wyniki badań ekspozymetrycznych, charakteryzujących ich typowe narażenie związane z pracą przy najpopularniejszej diagnostyce RM – głowy lub kręgosłupa szyjnego. Do badań pilotowych wybrano próbki typowych pomiarów ekspozymetrycznych (N = 33) z badań wykonywanych w ostatnim dziesięcioleciu w różnych placówkach na potrzeby wymaganej prawem pracy oceny wskaźnika narażenia pracowników na PMS (Tabela 1).

Wybrane profile ekspozymetryczne charakteryzują narażenie elektroradiologów w 7 placówkach diagnostyki RM w wyspecjalizowanych szpitalach klinicznych zlokalizowanych w różnych regionach Polski, które użytkowały typowe 1,5-teslowe skanery RM. Analizowane w badaniu pilotowym profile charakteryzujące narażenie na PMS elektroradiologów zostały zarejestrowane podczas rzeczywistych prac związanych z diagnostyką głowy lub kręgosłupa szyjnego pacjentów, które przeważają w większości placówek diagnostyki RM, reprezentują więc typowe warunki narażenia w polskich placówkach RM.

Przy typowych badaniach elektroradiolog przebywa w PMS w otoczeniu 1,5 T magnesu skanera RM średnio 2-3 minuty, jednak należy brać pod uwagę narażenie o czasie trwania w zakresie 1-6,5 minut przy badaniu jednego pacjenta. Przy badaniach pacjentów wymagających większej uwagi, lub dużej ilości wymiennych akcesoriów, czas ten może być znacznie dłuższy.

**Tabela 1** Charakterystyka narażenia na PMS elektroradiologów wykonujących typową diagnostykę RM głowy lub kręgosłupa szyjnego – parametry statystyczne serii profili ekspozymetrycznych, zarejestrowanych podczas pracy przy 1,5 T skanerach RM.

Parametry statystyczne analizowanej serii profili ekspozymetrycznych	Parametry narażenia na PMS elektroradiologa wykonującego pojedyncze badanie (pb) RM głowy lub kręgosłupa szyjnego, w 1,5 T skanerach RM		
	Czas narażenia	Średni poziom narażenia	Skumulowane narażenie (doza PMS)
[N = 33]	$\Delta Tpb_{0,05}$ [min]	$Bpb_{5r}$ [mT]	$Dpb$ [mT <sup>2</sup> ·min]
Wartość maksymalna	6,4	78	500
3. kwartyl	2,9	42	120
Mediana	2,4	35	84
1. kwartyl	1,9	29	54
Wartość minimalna	0,98	8	8

- $\Delta Tpb_{0,05}$  – czas narażenia w pojedynczym profilu ekspozymetrycznym na PMS o  $B > 0,5$  mT, wyrażony w minutach
- $Bpb_{5r}$  – wartość średnia z rejestracji indukcji magnetycznej w pojedynczym profilu ekspozymetrycznym, wyrażona w militeslach
- $Dpb$  – skumulowane narażenie na PMS (doza) w pojedynczym profilu ekspozymetrycznym, wyrażone w militesla-minutach

Źródło: Opracowanie własne.

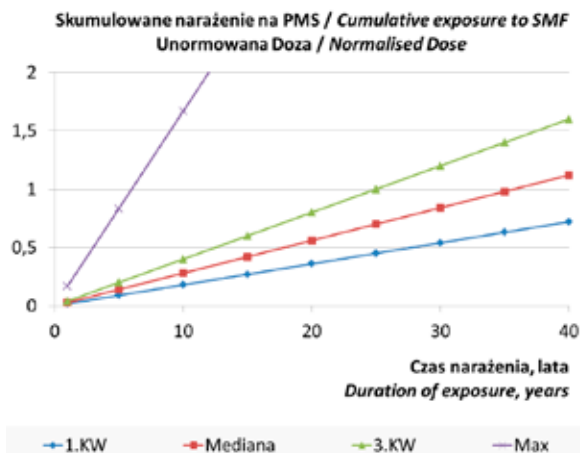
Średni poziom narażenia zarejestrowany w poszczególnych profilach  $Bpb_{5r}$  wynosi typowo 30-40 mT, jednak należy brać pod uwagę narażenie o średnim poziomie co najmniej dwukrotnie wyższym, a także możliwość narażenia pracownika również w tunelu magnesu skanera RM, gdzie PMS osiąga poziom pola wykorzystywanego diagnostycznie (tj. 1500 mT), z reguły jedynie sporadycznie i krótkotrwałe.

Na podstawie danych ekspozymetrycznych oszacowano również skumulowane oddziaływanie PMS na elektroradiologów (dozę PMS) podczas wieloletniej pracy przy typowej diagnostyce RM –  $D_{2500/R}$  (Ryc. 2). Wyniki prezentowanej analizy wskazują,

że skumulowane narażenie elektroradiologów (przynajmniej niektórych) w ciągu mniej niż 20 lat pracy, nawet przy 1,5 T skanerach RM może osiągać poziom, przy którym należy brać pod uwagę możliwość zwiększonego zagrożenia rozwojem nadciśnienia tętniczego podczas zatrudnienia w narażeniu na PMS.

## Dyskusja

Długotrwałe badania naukowe, epidemiologiczne, laboratoryjne (*in vitro* i *in vivo*) i modelowe (*in silico*), a także obserwacje okoliczności występowania zdarzeń wypadkowych, ugruntowały podstawy naukowe oceny zagrożeń elektromagnetycznych w środowisku pracy i życia codziennego. Zgodnie z aktualnymi wymaganiami prawnymi w UE (opartymi o wymagania art. 152 Traktatu ustanawiającego Wspólnotę Europejską) zagrożenia elektromagnetyczne ogranicza się celem ochrony bezpieczeństwa i zdrowia ludzi. Środki ochronne powinny ograniczać niepożądane skutki oddziaływania pola-EM: (i) bezpośrednio na organizm człowieka (tj. indukowane w organizmie pole-EM i związane z nim skutki obciążenia termicznego i elektrostymulacji w tkankach) lub (ii) pośrednio (tj. poprzez skutki oddziaływania energii elektromagnetycznej na inne obiekty materialne znajdującej się w pobliżu lub w ciele człowieka, np. powodujące zakłócenia zamierzonego funkcjonowania urządzeń elektronicznych, takich jak implanty medyczne), które mogą prowadzić do pogorszenia zdrowia, jak i do zdarzeń wypadkowych, ponadto te środki ochronne powinny być dostosowywane do rozwoju wiedzy naukowej o skutkach natychmiastowych i odległych narażenia (Rekomendacja Parlamentu Europejskiego 1999/S19/EC, Dyrektywa Europejska 2013/35/UE).



**Ryc. 2** Skumulowane (wieloletnie) narażenie na PMS elektroradiologów wykonujących typową diagnostykę głowy w 1,5 T skanerach RM – roczna doza PMS przy wykonywaniu średnio 2500 badań rocznie ( $D_{2500/R}$ ) oszacowana na podstawie charakterystyki narażenia podczas wykonywania pojedynczego badania (tabela 1) i unormowana względem wartości 7500 T<sup>2</sup>·min, przyjętej jako wskaźnik poziomu zagrożenia rozwojem nadciśnienia tętniczego podczas zatrudnienia w narażeniu na PMS (na podstawie badań Bongers, Slotje i Kromhout, OEM 2018 [2]); Mediana – wartość dozy wyznaczona względem mediany narażenia elektroradiologa przy pojedynczym badaniu; 1.KW i 3.KW. – wartość dozy wyznaczona względem 1. i 3. kwartyla narażenia przy pojedynczym badaniu; Max – wartość dozy wyznaczona względem maksymalnego narażenia przy pojedynczym badaniu.  
Źródło: Opracowanie własne.

## Skutki długotrwałego narażenia na pole-EM

Przewlekłe narażenie pracowników na pole-EM sprzyja wystąpieniu zdarzeń wypadkowych lub zainicjowaniu procesów



chorobotwórczych w różnorodny sposób: stwarzając okoliczności sprzyjające (i) wielokrotnemu występowaniu epizodów krótkotrwałego silnego narażenia na pole-EM lub (ii) niepożądane oddziaływanie pośrednie w pobliżu źródeł, zwiększając (iii) poziom wieloletniego narażenia skumulowanego, a także prawdopodobieństwo (iv) wystąpienia epizodów równoczesnego narażenia na pole-EM i inne czynniki środowiskowe lub (v) oddziaływania pola-EM na pracownika podczas jego słabszej sprawności psychofizycznej bądź pogorszonego stanu zdrowia.

Wyniki badań epidemiologicznych (dotyczące m.in. układu sercowo-naczyniowego, nerwowego, hormonalnego) wykazały zwiększoną częstotliwość różnych problemów zdrowotnych w populacjach pracowników (stosunkowo mało licznych) narażonych na pole-EM silniejsze od średniego poziomu narażenia w całym społeczeństwie. Badania dotyczące związków narażenia na pole-EM i problemów nowotworowych podsumowano, klasyfikując pole-EM małych częstotliwości i radiofalowe w grupie 2B rakotwórczości dla ludzi (wg klasyfikacji IARC) czynników środowiskowych [9, 10]. Nowsze opracowania przeglądowe nie kwestionują wniosków IARC, podkreślając trudności związane z miarodajną oceną wieloletniego narażenia na pole-EM, konieczną do określenia zależności „doza-skutek” przy narażeniu przewlekłym, a także problemy dotyczące oceny skutków narażenia na złożone pole-EM lub na wiele czynników środowiska [11, 12].

## Zagrożenia przy źródłach PMS

Pole magnetostatyczne (PMS) oddziałuje specyficznie z żywymi tkankami: głównie elektrodynamicznie i magnetomechanicznie [1]. Oddziaływanie elektrodynamiczne (siła Lorentza) dotyczy poruszających się ładunków elektrycznych (elektronów, jonów lub dipoli) znajdujących się w krwi przepływającej w naczyniach krwionośnych, w poruszających się tkankach, takich jak bijący mięsień sercowy lub w całym organizmie będącym w ruchu w stosunku do źródła PMS. Oddziaływanie to jest przeciwnie skierowane na ładunki różnoimienne, a zatem indukuje w organizmie zależne od jego ruchu egzogenne potencjały elektryczne. Oddziaływanie magnetomechaniczne zachodzi ze zróżnicowaną siłą z materiałami o właściwościach diamagnetycznych, paramagnetycznych lub ferromagnetycznych (wynikającą z oddziaływania z dipolami magnetycznymi w tych materiałach). Oddziaływania te mogą spowodować u człowieka m.in. zaburzenia zmysłu równowagi czy zatknięcia implantów medycznych, zaliczane do zagrożeń wypadkowych [14-16]. W niejednorodnym PMS siły magnetomechaniczne mogą powodować przyciąganie lub odpychanie obiektów, głównie ferromagnetycznych, które w silnym PMS może spowodować ich gwałtowne przemieszczenie w powietrzu z prędkością pocisku (określane jako zagrożenia balistyczne lub latającymi obiektami – ang. *flying objects, ballistic hazards, projectile hazards*).

Wszechobecne geomagnetyczne PMS jest zbyt słabe do wywołania opisanych skutków, jednak PMS rzędu 0,2-7 T wykorzystywane w skanerach RM jest wystarczające [1, 13]. Wymaga to stosowania odpowiednich środków ochronnych ograniczających możliwość wniesienia obiektów ferromagnetycznych w pobliże magnesu skanera RM, a także ograniczające dostęp użytkowników implantowanych kardiostymulatorów, których ochrona jest konieczna nawet w PMS słabszym niż wywołujące zagrożenia balistyczne [3-5].

Podkreślenia wymaga tutaj, że doza jest jednym z możliwych sposobów scharakteryzowania narażenia długotrwałego lub skumulowanego, który jest wykorzystywany w omawianych badaniach przez analogię do badań dotyczących skutków wieloletniego narażenia na pole-EM małych częstotliwości [9]. Jednak wielkość ta nie uwzględnia pełnej charakterystyki oddziaływania PMS z organizmem człowieka, przykładowo nie odnosi się do procesów elektrodynamicznych w narażonym organizmie, które również mogą być istotne np. ze względu na skutki wielokrotnego, krótkotrwałego oddziaływania bardzo silnego PMS (osiągającego poziom wystarczający do stymulacji funkcjonowania zmysłów). W razie szerszych badań, szczególnie uwzględniających różne grupy zawodowe, konieczne wydaje się scharakteryzowanie warunków narażenia na PMS uwzględniające różne mechanizmy oddziaływania pola na organizm i zróżnicowanie ich skutków w różnych warunkach pracy.

## Zagrożenia zdrowia związane z narażeniem na PMS

Skutki oddziaływania PMS na stan zdrowia są stosunkowo słabo poznane w porównaniu z bogatą dokumentacją dotyczącą pola-EM częstotliwości przemysłowej lub radiofalowej [9-12]. PMS nie zostało dotychczas sklasyfikowane przez IARC [9]. Wobec ograniczonych i niespójnych danych epidemiologicznych i biomedycznych w monografii WHO podano, że **brak wystarczających danych naukowych dla ustalenia ryzyka zdrowotnego oddziaływania PMS** [1]. Najwięcej kontrowersji wzbudza ocena odległych skutków zdrowotnych narażenia pracowników, szczególnie wobec coraz lepiej udokumentowanych hipotez dotyczących mechanizmów oddziaływania PMS obejmujących mechanizmy leżące u podstaw patogenezy wielu chorób, takie jak: genotoksyczność, modyfikacja peroksydacji lipidów czy ekspresji niektórych białek [1, 8, 11, 12, 14-18].

## Międzynarodowe priorytety badawcze

Badania dotyczące oceny zagrożeń związanych z narażeniem na PMS należą do priorytetów badawczych m.in. WHO i aktualnych programów badawczych Unii Europejskiej [1, 9, 11, 12]. Narażenie takie w środowisku pracy dotyczy głównie skutków wieloletniej pracy w otoczeniu magnesów skanerów RM. Ponieważ nadal

niewiele jest danych naukowych dotyczących skutków zdrowotnych narażenia pracowników na PMS, epidemiologiczne badania kohortowe (prospektywne lub retrospektywne) pracowników narażonych na silne PMS, szczególnie na PMS występujące przy magnesach skanerów RM, zaliczono do badań bioelektromagnetycznych o wysokim priorytecie [12]. Ponieważ badania *in vitro* wykazały oddziaływanie PMS na ekspresję genów, do badań związanych ze skutkami narażenia na PMS o średnim priorytecie zaliczono również badania nad ekspresją genów i badania epigenetyczne [12]. Rozpoznanie charakterystyki indywidualnego narażenia na PMS pracowników z różnych grup zawodowych jest istotnym elementem planowania takich badań, koniecznym do miarodajnej analizy korelacji parametrów biomedycznych stanu zdrowia uczestników badań z parametrami narażenia środowiskowego, a także oceny zagrożeń zawodowych i skuteczności środków podjętych celem ich ograniczania.

### Ocena zagrożeń zdrowia związanych ze skumulowanym narażeniem pracowników na silne PMS podczas wykonywania badań RM – wyniki badań pilotowych

Dotychczas w kraju nie prowadzono kompleksowej oceny skutków zdrowotnych narażenia na PMS podczas wieloletniej pracy przy skanerach RM. Rutynowej ocenie podlega od 25 lat jedynie charakterystyka narażenia na PMS w środowisku pracy w otoczeniu magnesów skanerów RM, a wspomniane badania ekspozymetryczne pełniły uzupełniającą rolę w ramach realizacji wymagań prawa pracy w placówkach diagnostycznych lub działalności badawczej CIOP-PIB. Również w innych krajach europejskich badania z tego zakresu są dotychczas bardzo nieliczne.

Wyniki omawianych badań pilotowych sugerują, że skumulowane narażenie elektroradiologów (przynajmniej niektórych) na PMS może w ciągu 10-20 lat pracy przy 1,5 T skanerach osiągać poziom, przy którym w omawianych badaniach epidemiologicznych dotyczących pracowników narażonych na PMS przy produkcji skanerów stwierdzono zwiększone zagrożenie rozwojem nadciśnienia tętniczego podczas zatrudnienia w narażeniu na PMS. Omawiane badania pilotowe dotyczyły charakterystyki narażenia na PMS jedynie elektroradiologów. Taką kategorię pracowników wybrano do analizy pilotowej, ponieważ elektroradiolodzy są zwykle najlicniejszą i najsilniej narażoną grupą zawodową w pracowniach medycznej diagnostyki RM.

Analizując prezentowane dane, należy brać pod uwagę, że (przynajmniej czasowo) wielu elektroradiologów wykonuje znacznie więcej badań dziennie niż przyjęte w szacunkach 10, a także od lat użytkowane są skanery z silniejszymi magnesami. Obie przyczyny mogą istotnie zwiększyć narażenia skumulowane, podobnie jak wykonywanie skomplikowanych badań wymagających użycia wielu wymiennych akcesoriów czy badań pacjentów wymagających większej uwagi/pomocy ze strony

pracowników wykonujących badania RM. Jednak równocześnie należy brać pod uwagę, że charakterystyka warunków pracy przy diagnozowaniu pacjentów i przy produkcji skanerów, pod względem charakterystyki narażenia na PMS i inne czynniki, są odmienne i skutki skumulowanego narażenia na PMS mogą również być odmienne w rozpatrywanych grupach zawodowych.

Wprawdzie przy skanerach 3-teslowych narażenie pracowników może być silniejsze niż przy uwzględnionych w badaniach pilotowych skanerach 1,5-teslowych, jednak nadal stanowią one istotny odsetek urządzeń użytkowanych w Polsce, a są również najliczniejsze wśród urządzeń użytkowanych od wielu lat. Przytoczona argumentacja wskazuje, że grupę zawodową (kohortę), która potencjalnie mogłaby być objęta badaniami epidemiologicznymi o tematyce zbliżonej do omówionych badań dotyczących rozwoju nadciśnienia tętniczego można wyłonić głównie wśród pracowników pracujących przy skanerach 1,5-teslowych.

Wyniki badań pilotowych wykazały, że elektroradiolodzy są grupą zawodową, której narażenie na PMS powinno być przedmiotem dokładniejszych obserwacji epidemiologicznych, a także w ramach badań medycyny pracy (które obecnie obejmują: badanie lekarskie, morfologię krwi i badanie EKG; co 4 lata do 45 roku życia, a co 2 lata powyżej 45 roku życia [Załącznik do rozporządzenia ministra zdrowia, DzU 2020, poz. 2131, określający Wskazówki metodyczne w spr. przeprowadzania badań profilaktycznych pracowników]).

Zakres prac wykonywanych przez elektroradiologów oraz ich narażenie na PMS są istotnie zróżnicowane ze względu na stan zdrowia pacjenta, budowę skanera, organizację pracy w placówce diagnostycznej, umiejętności pracownika itd. W analizowanych profilach ekspozymetrycznych zróżnicowanie parametrów narażenia na PMS sięgało 6-krotności czasu narażenia i 10-krotności średniego narażenia elektroradiologa podczas pojedynczego badania. W związku z tym w badaniach epidemiologicznych konieczne byłoby indywidualne ocenianie parametrów narażenia na PMS, a także uwzględnienie rzeczywistej ilości badań wykonywanych przez pracowników włączonych do badania oraz zróżnicowania parametrów narażenia podczas różnego typu badań i badań wykonywanych w różnego typu skanerach.


## Podsumowanie

Wobec zasygnalizowanych wyników różnorodnych badań naukowych dotyczących skutków przewlekłego narażenia na pole-EM, prawodawstwo europejskie od lat wzywa Komisję Europejską, Państwa Członkowskie UE i pracodawców do dostosowania rozwiązań prawnych i organizacji pracy do rozwoju wiedzy naukowej o specyfice zagrożeń elektromagnetycznych, a także kontynuacji badań naukowych nad długo- i krótkoterminowymi skutkami narażenia (*Dyrektywa 2013/35/UE, Rekomendacja 1999/519/EC, Horyzont Europa*). Wśród tematyki priorytetowych badań dotyczących skutków oddziaływania pola-EM, od



lat wymieniane są badania dotyczące oceny zagrożeń zdrowia związanych ze skutkami skumulowanego narażenia na silne PMS, które w środowisku pracy dotyczy głównie skutków wieloletniej pracy w otoczeniu magnesów skanerów RM.

Wyniki omawianych badań pilotowych sugerują, że skumulowane narażenie elektromagnetyków w ciągu 10-20 lat pracy przy skanerach RM może osiągać poziom, przy którym w badaniach epidemiologicznych stwierdzono zwiększone zagrożenie rozwojem nadciśnienia tętniczego podczas zatrudnienia w narażeniu na PMS przy produkcji skanerów RM. W badaniach epidemiologicznych z udziałem elektromagnetyków konieczne byłoby indywidualne ocenianie parametrów narażenia na PMS, uwzględniające m.in. rodzaj skanera, organizację pracy i stan zdrowia badanych pacjentów.

Omawiany problem nie dotyczy skutków oddziaływania PMS na pacjentów. 

*Opracowano na podstawie wyników programu wieloletniego „Poprawa bezpieczeństwa i warunków pracy”, finansowanego w latach 2020-2022 w zakresie zadań służb państwowych ze środków ministra właściwego ds. pracy (zadanie nr 2.SP.10). Koordynator Programu: CIOP-PIB.*

## Piśmiennictwo

- World Health Organization (WHO), Environmental Health Criteria 232, Static Fields, WHO, Geneva, 2018.
- S. Bongers, P. Slottje, H. Kromhout: *Long-term exposure to static magnetic fields in MRI manufacturing and risk of developing hypertension*, Occupational and Environmental Medicine, 73 (Suppl 1), 2018, A213-A214 (DOI: 10.1136/oemed-2018-103951.592).
- J. Karpowicz, K. Gryz: *Rozpoznanie i ocena zagrożeń elektromagnetycznych w placówkach diagnostyki obrazowej rezonansu magnetycznego – część 1*, Inżynier i Fizyk Medyczny, 6, 2017, 399-406.
- J. Karpowicz, K. Gryz: *Dostosowanie środków ochronnych w placówkach diagnostyki rezonansu magnetycznego do wymagań prawa pracy dotyczących zagrożeń elektromagnetycznych – część 2*, Inżynier i Fizyk Medyczny, 2, 2018, 107-115.
- J. Karpowicz, K. Gryz: *Health Risk Assessment of Occupational Exposure to a Magnetic Field From Magnetic Resonance Imaging Devices*, Int J Occup Saf Ergon, 12, 2006, 155-167.
- J. Karpowicz, K. Gryz: *The pattern of exposure to static magnetic field of nurses involved in activities related to contrast administration to patients diagnosed in 1.5T MRI scanners*, Electromagnetic Biology and Medicine, 32(2), 2013, 182-191.
- M. Fatahi, J. Karpowicz, K. Gryz, A. Fattahi, G. Rose, O. Speck: *Evaluation of exposure to (ultra) high static magnetic fields during activities around human MRI scanners*, MAGMA, 30, 2017, 255-264.
- J. Karpowicz, K. Gryz, P. Politański, M. Zmyślony: *Narażenie na pole magnetyczne i zagrożenia zdrowia przy obsłudze skanerów rezonansu magnetycznego*, Medycyna Pracy, 62(3), 2011, 309-321.
- International Agency for Research on Cancer (IARC), Non-ionizing Radiation, Part 1: Static and extremely low-frequency (ELF) electric and magnetic fields. IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans, 80, IARC Press, Lyon, 2002.
- International Agency for Research on Cancer (IARC), Radiofrequency Electromagnetic Fields, IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans, 102, IARC Press, Lyon, 2013.
- Scientific Committee on Emerging and Newly Identified Health Risks (SCENIHR), Possible effects of Electromagnetic Fields (EMF) on Human Health, European Commission, Brussels 2009.
- Scientific Committee on Emerging and Newly Identified Health Risks (SCENIHR), Opinion on Potential health effects of exposure to electromagnetic fields (EMF), European Commission, Brussels 2015.
- J. Karpowicz, K. Gryz: *Experimental evaluation of ballistic hazards in imaging diagnostic center*, Pol J Radiol., 78, 2013, 31-37.
- F. de Vocht, H. van Drooge, H. Engels, H. Kromhout: *Exposure, health complaints and cognitive performance among employees of an MRI scanners manufacturing department*, J Magn Reson Imaging, 23, 2006, 197-204.
- K. Schaap, Y. Christopher-de Vries, C.K. Mason, F. de Vocht, L. Portengen, H. Kromhout: *Occupational exposure of healthcare and research staff to static magnetic stray fields from 1.5–7 tesla MRI scanners is associated with reporting of transient symptoms*, Occup Environ Med., 71, 2014, 423-429.
- J. Wilen, F. de Vocht: *Health complaints among nurses working near MRI scanners – A descriptive pilot study*, Eur J Radiol., 80, 2011, 510-513.
- K. Hansson Mild, J. Hand, M. Hietanen, P. Gowland, J. Karpowicz, S. Keevil, I. Lagroye, E. van Rongen, MR Scarfi, J. Wilen: *Exposure classification of MRI workers in epidemiological studies*. Bioelectromagnetics, 34(1), 81-84.
- J. Karpowicz, M. Hietanen, K. Gryz: *Occupational risk from static magnetic fields of MRI scanners*, Environmentalist, 27, 2007, 533-538.