

mgr inż. KRZYSZTOF GRYZ  
mgr inż. JOLANTA KARPOWICZ  
Centralny Instytut Ochrony Pracy

## Pole magnetostatyczne – źródła, pomiary, ocena

Pracownik może stykać się w środowisku pracy ze sztucznymi źródłami pola magnetostatycznego, którymi są magnesy stałe lub elektromagnesy oraz instalacje stałoprądowe. W środowisku pracy silne pola magnetostatyczne występują m.in. wokół tomografów oraz spektrometrów wykorzystujących zjawisko jądrowego rezonansu magnetycznego Nuclear Magnetic Resonance (NMR), przemysłowych urządzeń do elektrolizy oraz zespołów napędowych i zasilających elektrowozy i tramwaje, chwytaków i separatorów magnetycznych.

Natomiast w życiu codziennym stykamy się z polem magnetycznym stałym w czasie, które jest składnikiem naturalnego środowiska na Ziemi. Dotychczas niewyjaśnione jest pochodzenie naturalnego ziemskiego pola magnetostatycznego i jego wpływ na rozwój życia na Ziemi. Pole magnetyczne opisuje się m.in. podając wartości natężenia pola w amperach na metr (A/m) lub wartości indukcji magnetycznej w teslach (T). Wielkość naturalnego pola ziemskiego zmienia się wraz z szerokością geograficzną. Tak więc, na równiku indukcja magnetyczna wynosi ok. 40  $\mu$ T ( $40 \times 10^{-6}$  T), a na biegunach magnetycznych 70  $\mu$ T.

### Oddziaływanie pól magnetostatycznych na ludzi i elementy środowiska

Wszystkie źródła pól magnetycznych stałych oddziałują na namagnesowane

Tabela 1

#### METALE MAGNETYCZNE I NIEMAGNETYCZNE

| Metale magnetyczne   | Metale niemagnetyczne   |
|--|---|
| Stopy kobaltu<br>Żelazo<br>Stopy niklu<br>Stal (z wyjątkiem stali nierdzewnej) | aluminium<br>mosiądz<br>brąz<br>miedź<br>złoto<br>stal nierdzewna<br>srebro czyste<br>tytan |

obiekty i przyciągają materiały ferromagnetyczne. Zestawienie wybranych materiałów magnetycznych i niemagnetycznych podano w tab. 1. Należy podkreślić, że różne rodzaje stali mogą być zarówno magnetyczne jak i niemagnetyczne. Przewidując wprowadzenie obiektu stalowego do silnego pola magnetostatycznego należy dokładnie sprawdzić z jakim rodzajem stali mamy do czynienia. Pola magnetostatyczne o indukcji przekraczającej 3 mT mogą powodować poruszanie się obiektów metalowych wykonanych z ferromagnetyków [4]. W silniejszych polach obiekty z metali magnetycznych mogą zachowywać się jak lecące w stronę magnesu pociski i z tego powodu stwarzają realne, poważne zagrożenie dla infrastruktury technicznej i ludzi.

Pola magnetostatyczne o indukcji powyżej 1 mT mogą niekorzystnie oddziaływać na zegarki analogowe, magnetyczne karty kredytowe, magnetyczne nośniki informacji (m.in. taśmy magnetofonowe, dyskiety i dyski komputerowe), powodując ich uszkodzenie [4].

Pole magnetostatyczne może zakłócać pracę urządzeń technicznych, m.in. oscyloskopów. Może powodować występowanie zakłóceń w pracy elektrostymulatorów serca przy indukcjach większych od 0,5 mT [1,3,4,5]. Wartość ta jest również graniczną, poniżej której nie notuje się zwykle przypadków wpływu pola magnetostatycznego na różnorodną aparaturę elektroniczną. Silne pole może spowodować przemieszczenie wszczepów z materiałów magnetycznych, np. klipsów naczyniowych itp.

Pole magnetostatyczne może oddziaływać m.in. na układ nerwowy i krwionośny człowieka. Osoby ekspozycje na pola o indukcji 4 T odczuwały w czasie ekspozycji zawroty głowy, nudności, metaliczny smak w ustach oraz wrażenia wzrokowe przy ruchach gałkami ocznymi lub głową [4]. Objawy te zniknęły po ustaniu działania pola. W czasie krótkotrwałego oddziaływania na całe ciało człowieka pól o indukcjach do 2 T, a w przy-

*Praca wykonana w ramach Programu Wieloletniego (b. SPR-1) pn. „Bezpieczeństwo i ochrona zdrowia człowieka w środowisku pracy” dofinansowanego przez Komitet Badań Naukowych*

padku kończyn pola o indukcji 5 T nie obserwowano widocznych skutków ekspozycji [4, 5]. Ekspozycja całego ciała w polach magnetostatycznych powyżej 5 T, na skutek oddziaływania magnetoelektrodynamicznego i magnetohydrodynamicznego z przepływającą w organizmie człowieka krwią może powodować wzrost ciśnienia krwi.

Dotychczas brak jednoznacznych danych na temat skutków zdrowotnych powodowanych przez wieloletnią ekspozycję na silne pola magnetostatyczne.

### Zasady pomiarów i oceny ekspozycji

Z powodu możliwości szkodliwego oddziaływania pola magnetostatycznego na organizm człowieka ustalono warunki dopuszczalnej ekspozycji i obowiązek jej okresowej kontroli.

### Warunki dopuszczalnej ekspozycji

Krajowy system ochrony przed narażeniem na pola elektromagnetyczne (w tym pola magnetostatyczne) opiera się na ustanowionych odpowiednimi aktami prawnymi wartościach granicznych natężeń pól o działaniu ogólnym na całe ciało pracownika, które wyznaczają wokół źródeł pól obszary silnych pól. Są to tzw. strefy ochronne pola elektromagnetycznego (niebezpieczna, zagrożenia i pośrednia), w których obowiązują następujące zasady przebywania pracowników [13]:

- na obszarze stref ochronnych mogą przebywać wyłącznie pracownicy, u których w wyniku przeprowadzonych badań lekarskich stwierdzono brak przeciwi-

wskazań zdrowotnych do przebywania w zasięgu pól elektromagnetycznych,

- w strefie pośredniej mogą przebywać pracownicy w czasie jednej zmiany roboczej,

- w strefie zagrożenia mogą przebywać pracownicy przez czas ograniczony; dopuszczalny czas przebywania w tej strefie ulega skróceniu zależnie od natężenia pola, z zastosowaniem tzw. dozy i wskaźnika ekspozycji (doza definiowana jest jako iloczyn kwadratu natężenia pola lub indukcji magnetycznej i czasu ekspozycji),

- w strefie niebezpiecznej przebywanie pracowników jest zabronione.

Obszar występowania słabych pól elektromagnetycznych poza strefami ochronnymi określono jako strefę bezpieczną.

Ograniczenia ekspozycji zawodowej i ogółu ludności na pole magnetostatyczne określone są w przepisach krajowych [13], zaleceniach ICNIRP [4] oraz projekcie

normy europejskiej [2] (tabela 2 i 3).

Dla pól magnetostatycznych i pól magnetycznych niskich częstotliwości dopuszcza się możliwość zwiększonego narażenia lokalnego ograniczonego do kończyn.

W myśl postanowień przepisów krajowych kobiety w ciąży nie powinny być zatrudniane w polach elektromagnetycznych o natężeniach przekraczających wartości graniczne dla strefy bezpiecznej [11]. Zabroniona jest również ekspozycja pracowników młodocianych na pola magnetostatyczne powyżej 3,75 mT [12].

Warto podkreślić, że wg projektu nowelizacji krajowych przepisów dotyczących dopuszczalnej ekspozycji na pole elektromagnetyczne granica strefy pośredniej pola magnetostatycznego wynosi ok. 3,3 mT, czyli jest zbliżona do granicy pól, w których zachodzi zagrożenie „łatającymi obiektami” w otoczeniu źródła pola magnetostatycznego.

Ograniczenia podawane w przytoczonych przepisach dotyczą ekspozycji powtarzalnej, przez długi czas, np. przez cały okres aktywności zawodowej. Dlatego wartości dopuszczalne są znacznie mniejsze od największych wartości indukcji dopuszczalnych do wykorzystania w jednorazowych diagnostycznych badaniach lekarskich lub badaniach doświadczalnych prowadzonych dla uzyskania informacji o efektach działania pola na organizm ludzki.

W zaleceniach ICNIRP [4], podobnie jak w zaleceniach IEC i ACGIH [1, 3] objęto szczególną ochroną osoby z elektrostymulatorami serca i innymi podobnego typu elektronicznymi wszczepami. Zalecono, aby osoby te nie przebywały w polach o indukcji większej od 0,5 mT.

**Zasada pomiaru pola magnetostatycznego**

Istota pomiaru składowych pola elektromagnetycznego polega na przetwarzaniu energii pola na sygnał elektryczny. Sygnał z czujnika podawany jest do układu detekcyjnego, a następnie poddawany jest wzmocnieniu i przetwarzany z analogowego na cyfrowy.

Do pomiaru pól magnetycznych stałych w środowisku pracy stosuje się mierniki wyposażone w czujnik Halla (element półprzewodnikowy, tzw. hallotron). Zachodzi w nim galwanomagnetyczne zjawisko Halla, tzn. występuje różnica potencjałów na elektrodach wyjściowych elementu, na skutek działania pola magnetycznego na przepływ zewnętrznego prądu sterującego między elektrodami wejściowymi (rys. 1) [9].

Napięcie  $U_H$  powstające w czujniku wyrażone jest wzorem [9]:

$$U_H = \frac{I}{n \cdot e \cdot d} I_s \cdot B$$

gdzie:  
 $n$  – koncentracja nośników ładunku charakteryzująca materiał półprzewodnika, z którego wykonany jest hallotron,  
 $e_o$  – ładunek elektronu,  
 $r_0$ wny  $1,6 \times 10^{-19} C$ ,  
 $d$  – grubość hallotronu,  
 $I_s$  – natężenie prądu sterującego,  
 $B$  – indukcja magnetyczna pola działającego na hallotron.

Tabela 2

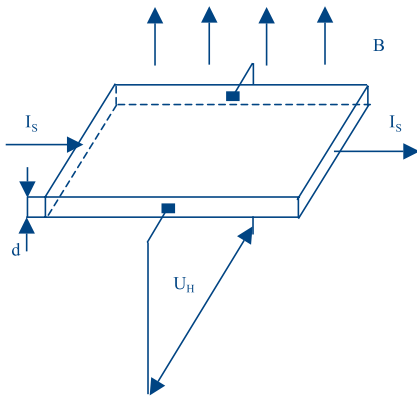
DOPUSZCZALNA EKSPOZYCJA NA POLA MAGNETOSTATYCZNE WG PRZEPISÓW KRAJOWYCH [8,13]

| Rodzaj ekspozycji     |  | Aktualne przepisy krajowe | Projekt nowelizacji przepisów krajowych |
|-----------------------|--|---------------------------|---|
| Zawodowa całego ciała | cały dzień pracy – jedynie ekspozycja zawodowa (granica strefy pośredniej) | ---                       | powyżej 3,33 mT                         |
|                       | cały dzień pracy – ekspozycja ciągła (granica strefy zagrożenia)           | 10 mT                     | 10 mT                                   |
|                       | wartość maksymalna – ekspozycja chwilowa (granica strefy niebezpiecznej)   | 100 mT                    | 100 mT                                  |
|                       | doza dopuszczalna  | 800 mT <sup>2</sup> h     | 800 mT <sup>2</sup> h                   |
| Zawodowa kończyn      | cały dzień pracy – ekspozycja ciągła (granica strefy zagrożenia)           | 50 mT                     | 50 mT                                   |
|                       | wartość maksymalna – ekspozycja chwilowa (granica strefy niebezpiecznej)   | 500 mT                    | 500 mT                                  |
|                       | doza dopuszczalna  | 20000 mT <sup>2</sup> h   | 20000 mT <sup>2</sup> h                 |
| Ogółu ludności        | całe ciało – ekspozycja ciągła   | 10 mT                     | ?                                       |

Tabela 3

DOPUSZCZALNA EKSPOZYCJA NA POLA MAGNETOSTATYCZNE WG ZALECEŃ MIĘDZYNARODOWYCH [2,4]

| Rodzaj ekspozycji     |  | Zalecenia ICNIRP | Projekt normy EN |
|-----------------------|--|------------------|------------------|
| Zawodowa całego ciała | cały dzień pracy – ekspozycja ciągła     | 200 mT           | 200 mT           |
|                       | wartość maksymalna – ekspozycja chwilowa | 2 T              | 2 T              |
| Zawodowa kończyn      | wartość maksymalna – ekspozycja chwilowa | 5 T              | 5 T              |
| Ogółu ludności        | całe ciało – ekspozycja ciągła           | 40 mT            | 40 mT            |
|                       | kończyny – ekspozycja ciągła             | -                | 100 mT           |
|                       | osoby z elektrostymulatorami serca       | 0,5 mT           | -                |



Rys. 1. Zasada działania hallotronu [9]

Do przeskalowania miernika na jednostki natężenia pola stosuje się zależność:

$$B = \mu H$$

gdzie:

$H$  – natężenie pola magnetycznego,

$\mu$  – przenikalność magnetyczna

ośrodka.

W powietrzu przyjmuje się, że  $1 \text{ A/m} = 1,25 \mu\text{T}$  ( $1,25 \times 10^{-6} \text{ T}$ ).

Utrzymując  $I_s = \text{const.}$  uzyskuje się liniową zależność napięcia wyjściowego  $U_H$  od indukcji  $B$ .

Mierniki produkowane i używane w Polsce powinny spełniać wymagania odpowiednich polskich norm. Wymagania dotyczące aparatury do pomiaru pól magnetycznych i metodyki pomiarów podaje PN-89/T-06583 [10].

Zgodnie z projektem normy ISO/IEC FDIS 17025 [6] mierniki powinny podlegać okresowej kontroli metrologicznej. Jako źródło pola wzorcowego może być zastosowany układ cewek Helmholtz'a – powietrznych lub rdzeniowych, zasilanych prądem stałym (rys. 2). Wskazania kalibrowanego miernika można porównać ze wskazaniami miernika z czujnikiem wykorzystującym zjawisko NMR (Nuclear Magnetic Resonance). Miernik taki zapewnia pomiar pola magnetycznego o niejednorodności rzędu 0,005–0,15% z dokładnością na poziomie ppm, czyli tysięcznych części procenta. Dzięki temu mierniki hallotronowe można wzorcować w polu wyznaczonym z niepewnością nie przekraczającą 0,2%. Jednak-

że pomiary na stanowisku pracy wykonane sondą hallotronową izotropową obarczone są dużymi błędami z powodu charakterystyki kierunkowej hallotronu. Dlatego pożądane jest prowadzenie pomiarów sondą hallotronową bezkierunkową, tzn. z trzema ortogonalnymi czujnikami hallotronowymi.

### Źródła pól magnetostacyjnych w środowisku pracy istotne z punktu widzenia bezpieczeństwa pracy

#### Diagnostyka medyczna – tomografia NMR

Wykorzystanie zjawiska jądrowego rezonansu magnetycznego, zachodzą-

a)



b)



Rys. 2. a) stanowisko wzorcowych pól magnetostacyjnych, stosowane w CIOP, do badania teslomierzy hallotronowych, b) teslomierz hallotronowy

cego w jednorodnym silnym polu magnetostacyjnym, umożliwiają uzyskanie obrazu tkanek pacjenta.

W typowych tomografach (rys. 3) źródłem jednorodnego pola magnetostacyjnego, w którym umieszczana jest badana część ciała pacjenta, jest elektromagnes nadprzewodzący lub otwarta nadprzewodząca cewka kołowa, wytwarzająca pole magnetostacyjne o indukcji rzędu 0,15–2,0 T (trwają prace nad wykorzystaniem pola o indukcji magnetycznej do 8 T). W starszych tomografach źródłem pola magnetycznego były magnesy trwałe. W obu przypadkach pole to występuje stale, nawet w czasie, gdy nie są prowadzone badania pacjentów.

Tomografy umieszczone są w kabinie ekranującej, aby wykluczać zakłócający wpływ zewnętrznych zmiennych pól elektromagnetycznych na wynik badania, nato-

miast ściany kabiny nie wpływają na rozkład pola magnetostycznego w otoczeniu tomografu.

Ekspozycja personelu obsługującego urządzenie występuje bezpośrednio przy elektromagnecie w czasie przygotowania pacjenta do badania oraz w czasie czynności nie związanych z diagnozowaniem, np. sprzątania, przeglądów i konserwacji tomografu. Czynności te wykonywane są w polach magnetostycznych o dużej niejednorodności w przestrzeni [7], o natężeniu zmieniającym się do ok. 100 razy na odcinku 1,5 m. W czasie wykonywania badania pracownicy najczęściej znajdują się poza kabiną elektromagnesu.

Na podstawie pomiarów wykonanych metodą wg PN-90/T-06583 [10] przy różnego typu tomografach (0,38; 0,5; 1,5

i 2,0 T) i dokonanej oceny wg kryteriów podanych w [13] stwierdzono, że w każdym przypadku wokół elektromagnesu występują strefy ochronne oraz obszar ograniczonego dostępu dla osób ze stymulatorami serca (tab. 4) [7].

Przy tomografach 1,5 i 2 T występuje możliwość ekspozycji niebezpiecznej, a przy wszystkich tomografach ekspozycji nadmiernej w przypadku nieprawidłowej organizacji pracy (tzn. jeżeli pracownik nie zachowuje dostatecznej odległości od źródła pola) lub jeżeli wyposażenie techniczne nie pozwala na sprawne wykonywanie czynności i nadmiernie przedłuża się niezbędny czas ekspozycji przy przygotowywaniu pacjenta). W czasie obsługi tomografów i przygotowywania pacjenta do badań ręce pracowników podlegają ekspozycji na pola o indukcji dochodzącej do 350 mT [7].





Rys. 3. Tomograf NMR

**Badania materiałowe – spektrometry NMR**

Spektrometry przeznaczone są do badania składu chemicznego substancji. Jedną z metod spektrometrycznych jest wykorzystanie zjawiska jądrowego rezonansu magnetycznego (NMR), zachodzącego w silnym jednorodnym polu magnetostaticznym. Izotopami pierwiastków posiadającymi niezerowy spin wypadkowy, tzn. podlegającymi zjawisku NMR są: H-1, C-13, O-17, F-19, Na-23, P-31. Każdy z nich charakteryzowany jest tzw. stałą żyromagnetyczną  $\gamma$ , wiążącą indukcję magnetyczną zewnętrznego pola stałego z częstotliwością pobudzającego pola zmiennego wielkiej częstotliwości (promieniowania), które jest pochłaniane rezonansowo i wypromieniowywane.

W spektrometrach stosuje się pole magnetostaticzne o indukcji do ok. 12 T, wytwarzane przez elektromagnes nadprzewodzący (rys. 4). Mimo że stosowane są pola znacznie silniejsze niż w tomografach medycznych, ekspozycja pracowników jest znacznie mniejsza, ponieważ obszar wytwarzanego silnego jednorodnego pola magnetostaticznego jest w porównaniu z tomografami niewielki (rzędu 1 do kilku  $cm^3$ ).

Pracownicy obsługujący spektrometry narażają się na silne pole magnetostaticzne w czasie umieszczania próbki z badaną substancją oraz w czasie wykonywania regulacji, kiedy przebywają w bezpośredniej bliskości elektromagnesu. Ekspozycja dotyczy głównie dłoni.

Pola magnetostaticzne o indukcjach większych od 10 mT (strefy zagrożenia



Rys. 4. Spektrometr NMR

dla ekspozycji całego ciała) występują w odległości do 65 cm od obudowy (w zależności od typu spektrometru) [7]. Obszar pola o indukcji większej od 0,5 mT, tzn. obszar ograniczonego dostępu dla osób z rozrusznikami serca może występować do ok. 2 m. Przy wkładaniu próbek do wnętrza elektromagnesu ręce pracowników mogą być narażone na pola magnetostaticzne o indukcji do 120 mT [7]. Podczas badań nie stwierdzono ekspozycji niebezpiecznej ani nadmiernej zarówno całego ciała, jak i kończyn.

**Transport – zespoły napędowe i zasilające**

Pociągi, metro oraz tramwaje zasilane są z sieci prądu stałego. Źródłami pola magnetostaticznego są w nich instalacja zasilająca, układy napędowe i urządzenia sterujące pracą silników. W pojazdach tych występuje ekspozycja zawodowa pracowników (motorniczych) oraz ogółu ludności (pasażerów). Pole w pojazdach jak i w podstacjach trakcyjnych zmienia się w czasie jako funkcja trybu pracy silników napędowych i pobieranego przez nie prądu z sieci zasilającej. Największy pobór prądu i największe wartości indukcji magnetycznej pola występują podczas ruszania i przyspieszania.

Wartości indukcji magnetycznej w wagonie tramwajowym i w wagonie metra w przedziale pasażerskim i w kabinie motorniczego mogą dochodzić do 0,2-0,3 mT [7]. W odległości 15 cm od szyn prądowych w szafach zestawów prostownikowych w typowych warunkach eksploatacji podstacji (maksymalne prądy rzędu 1 kA) indukcja magnetyczna może dochodzić do 1-2 mT. Pola te są zdecydowanie mniejsze od dopuszczalnych dla ekspozycji zawodowej [13], jak i ogółu ludności [14].

**Przemysł – instalacje stałoprądowe**

Źródłem pola magnetostaticznego w przemyśle są głównie urządzenia elektrochemiczne wykorzystywane w procesach elektrolitycznych, np. w hutnictwie aluminium. W zależności od obciążenia, dochodzącego do kilkudziesięciu kA i sposobu prowadzenia torów prądowych tych urządzeń indukcja magnetyczna w bezpośredniej bliskości wokół nich może wynosić od kilku mT do kilkuset mT [7]. Są to więc potencjalne źródła pól magnetostaticznych stref ochronnych. Pracownicy przebywają jednak w większych odległościach od źródeł i są ekspozycjami na pola mniejsze, maksymalnie rzędu kilkudziesięciu mT.

Źródłem silnego pola magnetostaticznego, występującego w otoczeniu elektromagnesu, o indukcji do kilkuset mT, są również chwytaki magnetyczne. W otoczeniu silników prądu stałego o mocach do 320 kW indukcja magnetyczna nie przekracza natomiast 2 mT.

TYPOWE ZASIĘGI STREF OCHRONNYCH POLA MAGNETOSTATICZNEGO W OTCZENIU MEDYCZNYCH TOMOGRAFÓW NMR

Tabela 4

| Rodzaj tomografu | B > 100 mT<br>(pola strefy niebezpiecznej) | B > 10 mT<br>(pola strefy zagrożenia) | B > 0,5 mT<br>(ograniczony dostęp osób z elektrostymulatorami serca) |
|------------------|--|---------------------------------------|--|
| 0,38 T           | -  | 0,3 m                                 | 1 m  |
| 0,5 T            | -  | 0,5 m                                 | 2 m  |
| 1,5 T            | 0, 3 m                                     | 1,2 m                                 | 4 m  |
| 2,0 T            | 0, 4 m                                     | 1,5 m                                 | 5 m  |

\* \* \*

Wokół wielu źródeł pól magnetostacyjnych występujących w środowisku pracy największe narażenie pracowników występuje przy tomografach NMR. Przy ich obsłudze mogą wystąpić przypadki ekspozycji nadmiernej (o zbyt długim czasie przebywania w strefie zagrożenia), a nawet niebezpiecznej.

Elektromagnesy nadprzewodzące zakończone są na stałe, dlatego na silne pola magnetostatyczne ekspozycyjni mogą być nie tylko pracownicy obsługujący urządzenie, ale także pracownicy dokonujący konserwacji urządzenia czy sprzątający pomieszczenie, w którym znajduje się urządzenie. Nie należy wykluczyć także przypadkowej ekspozycji innych osób. Dlatego należy informować o występowaniu silnych pól magnetostatycznych i możliwości narażenia na nie, np. stosując tablice ostrzegawcze na drzwiach wejściowych do pomieszczeń z silnym elektromagnesem, w otoczeniu którego  $B > 0,5 \text{ mT}$  (rys. 5).

Aby oszacować, czy przy danym urządzeniu może wystąpić pole magnetostatyczne o istotnej ekspozycji, można przeprowadzić proste obliczenia wykorzystując dane techniczne urządzenia. Na przykład indukcja magnetyczna wokół pojedynczego przewodu z prądem może być wyznaczana ze wzoru:

$$B = \mu_o \cdot \mu_r \cdot I / 2\pi \cdot r$$

gdzie:

$\mu_o$  – przenikalność magnetyczna próżni równa  $4\pi \cdot 10^{-7} \text{ H/m}$ ,

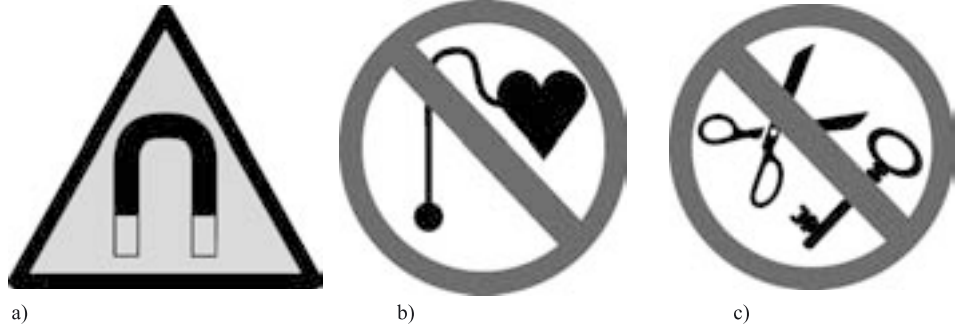
$\mu_r$  – względna przenikalność magnetyczna ośrodka (dla powietrza równa 1),

$I$  – natężenie prądu w przewodzie, np. przewodach zasilających wannę elektrolityczną,

$r$  – odległość od przewodu.

Na podstawie wzoru można stwierdzić, że w odległości 15 cm od przewodu z prądem o natężeniu ok. 7,5 kA, wystąpi indukcja magnetyczna o wartości 10 mT (dopuszczalnej wg przepisów krajowych). Wynika z tego, że źródłami pól magnetostatycznych, które powinny być objęte nadzorem są instalacje silnoprądowe, głównie urządzenia wykorzystujące nadprzewodnictwo.

Silne pola magnetyczne stałe wytwarzane są w przemyśle przez urządzenia



Rys. 5. Znaki ostrzegawcze: a) informujący o silnych polach magnetostatycznych [PN-93/N-01256/03], b) zakaz wstępu dla osób z elektrostymulatorami serca, c) zakaz wnoszenia przedmiotów z metali magnetycznych. Kolorystyka: a) – tło żółte, linie i symbol czarne, b) i c) – tło białe lub żółte, linie czerwone, symbole czarne

elektrochemiczne, ale ich obsługa nie wymaga konieczności ekspozycji pracowników na działanie pól o indukcji przekraczającej wartości dopuszczalne. Przy innych źródłach pola magnetostatycznego ekspozycja jest zwykle pomijalna.

W swoim życiu codziennym również możemy być narażeni na oddziaływanie pola magnetostatycznego, pochodzącego od magnesów stałych, używanych w różnego rodzaju urządzeniach, np. słuchawkach, głośnikach, zamkach, zatraskach itp. Indukcja magnetyczna pola stałego w odległościach 1–2 cm od słuchawek nie przekracza jednak 1 mT, a przy najsilniejszych magnesach stosowanych w urządzeniach powszechnego użytku może dochodzić do kilkudziesięciu mT, w odległości 1 cm od magnesu i bardzo szybko maleje wraz ze wzrostem odległości.

#### PIŚMIENNICTWO

[1] American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH); *TLVs and BEIs Threshold Limit Values for Chemical Substances and Physical Agents and Biological Exposure Indices*. 2000

[2] ENV 50166-1. *Human exposure to electromagnetic fields low-frequency (0 Hz to 10 kHz)*. January 1995

[3] IEC 601-2-33 *Medical electrical equipment. Part 2: Particular requirements for the safety of magnetic resonance equipment for medical diagnosis*. 1995

[4] International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP); *Guidelines on Limits of Exposure to Static Magnetic Fields*, *Health Physics*, vol. 66, No. 1, 1994, pp. 100-106

[5] International Radiation Protection Association, International Non-Ionizing Radiation

Committee (IRPA/INIRC); *Protection of the Patient Undergoing a Magnetic Resonance Examination*, *Health Physics*, vol. 61, No. 16, 1991, pp. 923-928

[6] ISO/IEC FDIS 17025. *Ogólne wymagania dotyczące kompetencji laboratoriów badawczych i wzorcujących*

[7] Korniewicz H., Gryz K., Karpowicz J.: *Wyniki badań ekspozycji pracowników na działanie pola elektromagnetycznego*, niepublikowane opracowanie, Centralny Instytut Ochrony Pracy, Warszawa, 1990-2000

[8] Korniewicz H., Karpowicz J., Gryz K., Aniołczyk H., Zmysłony M., Kubacki R., Ciolek Z.: *Dokumentacja nowelizacji NDN*, 1999, CIOP, Warszawa

[9] Kwiatkowski W.: *Miernictwo elektryczne. Analogowa technika pomiarowa*. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, 1994

[10] PN-90/T-06583. *Ochrona pracy w polach magnetostatycznych. Mierniki i metody pomiaru natężenia pola magnetostatycznego*

[11] Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 10 września 1996 r. w sprawie wykazu prac wzbronionych kobietom, Dz.U. nr 114, poz. 545, 1996

[12] Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 10 września 1996 r. w sprawie wykazu prac wzbronionych młodocianym, Dz.U. nr 114, poz. 500, 1990

[13] Rozporządzenie Ministra Pracy i Polityki Socjalnej z dnia 17 czerwca 1998 r. w sprawie najwyższych dopuszczalnych stężeń i natężeń czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy. Dz.U. nr 79, poz. 513, 1998

[14] Rozporządzenie Ministra Ochrony Środowiska, Zasobów Naturalnych i Leśnictwa z dnia 11 sierpnia 1998 r. w sprawie szczegółowych zasad ochrony przed promieniowaniem szkodliwym dla ludzi i środowiska, dopuszczalnych poziomów promieniowania, jakie mogą występować w środowisku, oraz wymagań obowiązujących przy wykonywaniu pomiarów kontrolnych promieniowania. Dz.U. nr 107, poz. 676, 1998