Biuletyn WAT
Vol. LVIII, Nr 4, 2009

Pola elektromagnetyczne w budynkach ze stacjami transformatorowymi

KRZYSZTOF GRYZ, JOLANTA KARPOWICZ

Centralny Instytut Ochrony Pracy, Państwowy Instytut Badawczy,
00-701 Warszawa, ul. Czerniakowska 16

Streszczenie. Przedstawiono problematykę zagrożeń elektromagnetycznych występujących w budynkach, w których zlokalizowane są stacje transformatorowe. Zaprezentowano wyniki badań indukcji magnetycznej pola magnetycznego zmiennego o częstotliwości przemysłowej 50 Hz w pomieszczeniach sąsiadujących ze stacjami transformatorowymi. Omówiono metody ograniczania pola magnetycznego w otoczeniu elektroenergetycznego wyposażenia budynków.
Słowa kluczowe: inżynieria środowiska, stacje transformatorowe, pole magnetyczne, pole elektryczne, ekspozycja środowiska
Symbole UKD: 537.8:621.311.4

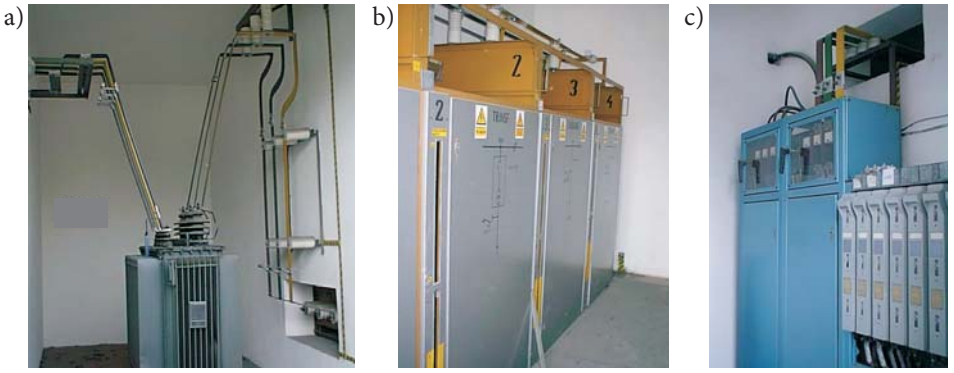
1. Wprowadzenie

Pola elektromagnetyczne powszechnie występują w środowisku pracy i aktywności pozazawodowej człowieka, m.in. wskutek wykorzystania i przetwarzania energii elektrycznej. W Polsce wewnątrz wielu budynków z pomieszczeniami pracy lub budynków mieszkalnych zlokalizowane są energetyczne transformatory rozdzielcze wraz z rozdzielniami średniego i niskiego napięcia. Osoby pracujące lub zamieszkujące w sąsiedztwie bywają zaniepokojone możliwością zagrożenia zdrowia w skutek ekspozycji na pole elektromagnetyczne, wytwarzane przez tego rodzaju urządzenia elektroenergetyczne. Obawy te wynikają m.in. z doniesień naukowych o możliwości zwiększonego ryzyka zachorowań na nowotwory wśród osób podlegających wieloletniej ekspozycji na stosunkowo słabe pola elektromagnetyczne, wskutek zamieszkiwania w pobliżu elektroenergetycznych linii przesyłowych wysokiego napięcia [2, 10].

2. Metodyka badań

2.1. Obiekt badań

Prezentowane badania przeprowadzone były w elektroenergetycznych stacjach transformatorowych, zlokalizowanych w budynkach oraz w pomieszczeniach sąsiadujących z takimi stacjami. Zwyczajowo stacją transformatorową nazywana jest część systemu elektroenergetycznego, która wykorzystywana jest przy rozdziale energii elektrycznej do poszczególnych odbiorców. Energia elektryczna prądu przemiennego o częstotliwości 50 Hz przesyłana elektroenergetycznymi liniami średniego i wysokiego napięcia (WN, 15-400 kV) wymaga dopasowania do urządzeń elektrycznych zasilanych niskim napięciem (nn, zwykle jednofazowym 230 V lub trójfazowym 400 V). W tym celu wykorzystuje się transformatory rozdzielcze zmniejszające stopniowo napięcie przesyłowe do napięcia pracy odbiorników elektrycznych małej mocy. W budynkach znajdują się najczęściej transformatory o przekładni 15/0,4 kV. Napięcie 15 kV doprowadzane jest do transformatora poprzez rozdzielnię średniego napięcia, a napięcie 230/400 V odprowadzane poprzez rozdzielnię niskiego napięcia (rys. 1).



Rys. 1. Przykładowa stacja transformatorowa zlokalizowana w budynku: a) transformator 15/0,4 kV; b) rozdzielnia średniego napięcia 15 kV; c) rozdzielnia niskiego napięcia 0,4 kV z szafami rozdzielnicy głównej

Typowy zakres mocy transformatorów rozdzielczych 15/0,4 kV, stosowanych u komunalnych i przemysłowych odbiorców energii, wynosi 160-1000 kVA.

Stacje transformatorowe znajdują się często w budynkach w sąsiedztwie pomieszczeń pracy lub mieszkalnych — są to tzw. stacje wnętrzowe. Wokół urządzeń stanowiących wyposażenie stacji transformatorowych występują pola elektryczne i magnetyczne o częstotliwości 50 Hz (często o znacznej zawartości wyższych harmonicznych w przebiegu zmienności w czasie).

Głównym źródłem pola elektrycznego są szyny średniego napięcia 15 kV, doprowadzone do transformatora. Pole to jest ekranowane przez ściany budynku. Wskutek tego jego natężenie poza pomieszczeniem stacji nie jest podwyższone w stosunku do wartości występujących w typowych pomieszczeniach biurowych czy mieszkalnych. Potencjalne zagrożenie związane z oddziaływaniem tego pola może dotyczyć jedynie pracowników przebywających w pomieszczeniu rozdzielni SN na zlecenie właściciela stacji transformatorowej.

Z kolei głównym źródłem pola magnetycznego w otoczeniu stacji transformatorowych są szyny i kable niskiego napięcia 0,4 kV. W przeciwieństwie do pola elektrycznego, pole magnetyczne nie jest ekranowane przez ściany budynku.

2.2. Metoda badań

Zgodnie z przedstawioną w rozdziale 2.1. charakterystyką zagrożeń badania obejmowały:

— pomiary wartości chwilowej indukcji magnetycznej i natężenia pola elektrycznego w wybranych punktach pomieszczeń stacji transformatorowych oraz pomiary wartości chwilowej indukcji magnetycznej w pomieszczeniach sąsiadujących ze stacjami,
— rejestracje wielogodzinne (w tym całodobowe) wartości skutecznej indukcji magnetycznej w wybranych punktach ww. pomieszczeń.

Pomiary wykonywano miernikami obejmującymi częstotliwość 50 Hz i wyższe harmoniczne z pasma częstotliwości do kilku kHz (tzw. pasmo ELF: 5 Hz-2 kHz).

W czasie badań identyfikowano również warunki obciążenia prądowego stacji transformatorach w celu odniesienia wyników pomiarów pola magnetycznego do warunków typowych oraz do tzw. najgorszego przypadku ekspozycji, występującego przy największym obciążeniu.

3. Wyniki pomiarów pola magnetycznego małej częstotliwości w otoczeniu stacji transformatorowych

Badania pól magnetycznych występujących w pomieszczeniach mieszkalnych lub pracy, znajdujących się w otoczeniu stacji transformatorowych, w miejscach sąsiadujących bezpośrednio z kablami niskiego napięcia, wyprowadzonymi z transformatora lub rozdzielni, wskazują, że występują tam pola magnetyczne o indukcji magnetycznej dochodzącej do kilku lub kilkunastu μT (przykładowe poziomy pola magnetycznego zaprezentowano w tabeli 1).

Przykładowe poziomy pola magnetycznego w pomieszczeniach stacji transformatorowych zaprezentowano w tabeli 2 (stacje transformatorowe i warunki ich obciążenia identyczne jak w tabeli 1).

Tabela 1

Przykładowe wartości indukcji magnetycznej 50 Hz w pomieszczeniach mieszkalnych lub biurowych, znajdujących się w sąsiedztwie stacji transformatorowych

Stacja transformatorowa	Moc znamionowa transformatora [kVA]	Lokalizacja pomieszczenia/miejsce pomiarów	Maksymalna zmierzona indukcja magnetyczna B [μT]	Obciążenie transformatora w czasie wykonywania pomiarów względem obciążenia znamionowego [%]	Indukcja magnetyczna B odpowiadająca obciążeniu znamionowemu transformatora (wg obliczeń) [μT]
A	400	nad stacją	2,70	~(10-12)	22,5-27
B	400	nad stacją	0,90	~(5-9)	10-18
C	630	nad stacją	1,10	~(9-14)	7,8-12,2
D	630	nad stacją	0,20	~(58-65)	0,3-0,4
E	160	nad stacją	0,20	~(12-15)	1,3-1,7
F	630	nad stacją	5,80	~(40-61)	9,5-14,5
G	400	nad stacją	0,80	~(6-12)	6,7-13,3
H	250	obok stacji	0,15	~(18-29)	0,5-0,8
I	400	nad stacją	0,95	~(12-14)	6,8-7,9
J	400	nad stacją	0,95	~(16-21)	4,5-5,9
K	250	nad stacją	2,20	~(22-34)	6,5-10
L	250	nad stacją	1,90	~(15-21)	9,0-12,7

Tabela 2

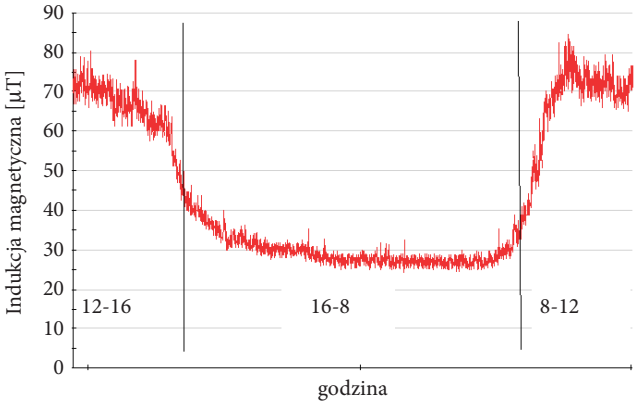
Przykładowe wartości indukcji magnetycznej 50 Hz w stacjach transformatorowych

Stacja transformatorowa	Moc znamionowa transformatora [kVA]	Miejsce pomiarów	Maksymalna zmierzona indukcja magnetyczna B [μT]	Obciążenie transformatora w czasie wykonywania pomiarów względem obciążenia znamionowego [%]	Indukcja magnetyczna B odpowiadająca obciążeniu znamionowemu transformatora (wg obliczeń) [μT]
A	400	rozdzielnia nn	45	~(10-12)	375-450
C	630	rozdzielnia nn	36	~(9-14)	255-400
D	630	rozdzielnia nn	380	~(58-65)	585-655
E	160	rozdzielnia nn	15	~(12-15)	100-125

cd. tabeli 2

F	630	rozdzielnia nn	165	~(40-61)	270-415
G	400	rozdzielnia nn	25	~(6-12)	210-415
H	250	rozdzielnia nn	60	~(18-29)	205-335
I	400	rozdzielnia nn	14	~(12-14)	105-120
J	400	rozdzielnia nn	20	~(16-21)	95-125
K	250	rozdzielnia nn	57	~(22-34)	165-260
L	250	rozdzielnia nn	54	~(15-21)	255-360
M	400	komora transformatora i rozdzielnia nn (wspólne)	54	~(18-22)	245-300

Rozkład zmienności w czasie pola magnetycznego występującego w pomieszczeniu jest skorelowany ze zmianami obciążenia prądowego stacji transformatorowej w ciągu doby. W przypadku stacji zasilających budynki mieszkalne największe obciążenia i związane z nimi najwyższe poziomy pola magnetycznego w otoczeniu stacji transformatorowej występują w popołudniowo-wieczornej porze dnia (największe zapotrzebowanie ludności na energię elektryczną), natomiast w przypadku stacji transformatorowych zlokalizowanych w budynkach biurowych czy użyteczności publicznej największe obciążenia i poziomy pola magnetycznego są zgodne z okresem pracy odbiorców energii w tych budynkach (rys. 2).



Rys. 2. Przykładowa zmienność indukcji magnetycznej zarejestrowana w stacji transformatorowej zlokalizowanej w budynku biurowym

Wyniki pomiarów indukcji magnetycznej pola magnetycznego o częstotliwości przemysłowej 50 Hz, zestawione w tabeli 1, są poniżej wartości dopuszczalnych zarówno dla narażenia zawodowego, jak i ogółu ludności [6, 7]. Jednak poziom pola magnetycznego w tych pomieszczeniach jest zdecydowanie wyższy w porównaniu do pomieszczeń znajdujących się z dala od stacji transformatorowych [3].

Przy interpretacji wyników pomiarów pola magnetycznego w pomieszczeniach sąsiadujących ze stacjami transformatorowymi, w przypadku braku danych odnośnie do obciążenia stacji w czasie pomiarów należy przyjąć znaczny margines bezpieczeństwa, nawet 10-krotny (ze względu na możliwe jedynie ok. 10% obciążenie stacji) i z wartościami granicznymi porównać dane odnoszące się do znamionowego obciążenia transformatorów.

W przypadku pola magnetycznego wewnątrz pomieszczeń stacji transformatorowej, poziomy indukcji magnetycznej są już zdecydowanie wyższe i mogą, w zależności od obciążenia transformatorów, osiągać istotne z punktu widzenia przepisów bezpieczeństwa i higieny pracy poziomy (łącznie z przekroczeniem wartości, przy której ekspozycja pracowników powinna być krótsza od 8 godzin w ciągu zmiany roboczej) [6].

4. Dyskusja

4.1. Czynniki wpływające na poziom pola magnetycznego w otoczeniu stacji transformatorowych

O poziomie pola magnetycznego w pomieszczeniach sąsiadujących ze stacjami transformatorowymi, w miejscach sąsiadujących bezpośrednio z kablami niskiego napięcia, wyprowadzonymi z transformatora lub rozdzielni decydują:

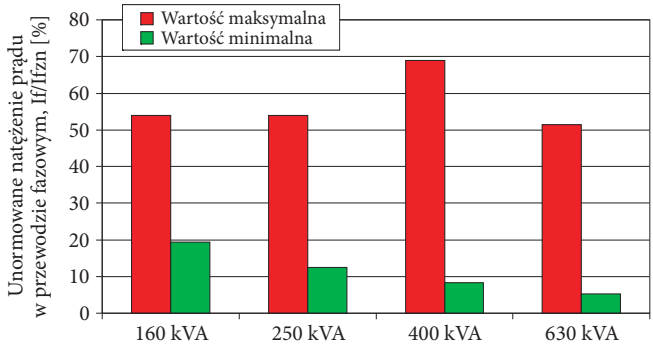
- moc i obciążenie chwilowe transformatora,
- sposób odprowadzenia mocy z transformatora (rozseparowane szynoprzewody bądź kable połączone w wiązki),
- sposób prowadzenia szynoprzewodów lub kabli (odległość od ścian i stropu).

Wyższych ekspozycji na pole magnetyczne należy się spodziewać w przypadku urządzeń o większych mocach, w których możliwy jest przepływ prądów o większych natężeniach. Dane uzyskane od operatorów miejskich systemów elektroenergetycznych wskazują na występowanie dużych różnic natężenia prądu pobieranego z transformatorów o określonej mocy znamionowej, od 50 A dla wszystkich rodzajów transformatorów, do:

- 460 A w przypadku transformatorów o mocy 630 kVA (różnice rzędu 900%),
- 400 A dla transformatorów o mocy 400 kVA (różnice rzędu 800%),

— 200 A dla transformatorów o mocy 250 kVA (różnice rzędu 500%),
— 130 A dla transformatorów o mocy 160 kVA (różnice rzędu 300%).

Obciążenie transformatorów zmienia się proporcjonalnie do zmian poboru energii w różnych porach dnia lub roku, na przykład wskutek różnej ilości odbiorców energii przyłączonych do danej stacji transformatorowej. Maksymalne natężenia prądu fazowego pobieranego z transformatorów stanowią w typowych stacjach transformatorowych ok. 50-70% obciążenia znamionowego (rys. 3). Zanotowano również stacje obciążone jedynie w ok. 10% mocy znamionowej. Możliwy jest więc znacznie większy pobór prądu z takich transformatorów. Jednak ograniczeniem w tym zakresie mogą być warunki techniczne instalacji (np. przekrój szyn lub przewodów) i związane z tym zabezpieczenia prądowe (tj. wartości znamionowe zastosowanych bezpieczników). Najczęściej obciążenie fazowe transformatorów o mocach 160-630 kVA zawiera się w przedziale 50-150 A.

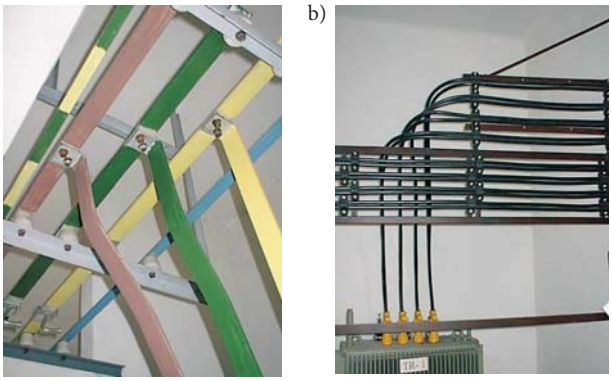


Rys. 3. Obciążenia fazowe szyn zbiorczych niskiego napięcia w badanych stacjach transformatorowych o mocach 160-630 kVA (wartości unormowane, odniesione do natężenia prądu znamionowego transformatora, w procentach)

Wskutek dużej różnorodności rozwiązań konstrukcyjnych (takich jak: wymiary geometryczne komory transformatorowej i rozdzielni nn oraz odległość elementów wyposażenia od sąsiadujących z nimi pomieszczeń pracy lub mieszkalnych) w otoczeniu urządzeń elektroenergetycznych występują zróżnicowane poziomy pola magnetycznego i rozległość obszarów o określonym poziomie pola magnetycznego.

Wymiary pomieszczeń uzależnione są od rozwiązań architektoniczno-budowlanych. Wysokość pomieszczeń stacji transformatorowej zawiera się w przedziale 3-4 m, a szynoprzewody lub kable niskiego napięcia najczęściej są prowadzone od transformatora do rozdzielni nn pod sufitem na wysokości ok. 2-2,5 m od podłogi komory, w odległości od 0,5-1,7 m od sufitu (rys. 4a). Możliwe jest też prowadzanie szyn lub kabli przy ścianie komory (rys. 4b).

a) b)



Rys. 4. Połączenie transformatora 15/0,4 kV z rozdzielnicą nn przy pomocy szynoprzewodów (a), prowadzonych pod sufitem stacji transformatorowej lub przy pomocy izolowanych kabli (b), prowadzonych po ścianie stacji transformatorowej

4.2. Wyniki badań biomedycznych dotyczących ryzyka ekspozycji na pola elektromagnetyczną małej częstotliwości

Od 1979 roku obserwuje się szczególne zainteresowanie możliwością zwiększonego ryzyka zachorowania na nowotwory w warunkach ekspozycji na pola elektromagnetyczne, zapoczątkowane publikacją wyników badań amerykańskich (Wertheimer i Leeper), w których stwierdzono zwiększone ryzyko zachorowań na białaczki u dzieci mieszkających w domach o wyższych od typowych poziomach pola magnetycznego małej częstotliwości (50/60 Hz). Zapoczątkowało to kolejne badania, w celu potwierdzenia lub odrzucenia hipotezy o związku pola magnetycznego małej częstotliwości z tego rodzaju zachorowaniami.

W latach 1980-2007 przeprowadzono blisko 250 znaczących badań epidemiologicznych odnoszących się do zachorowalności na nowotwory u dzieci i osób dorosłych narażonych na pola magnetyczne 50/60 Hz [8]. Dotyczyły one ludności zamieszkującej w pobliżu linii elektroenergetycznych oraz pracowników elektroenergetyki.

Wyniki wykonanych badań nie są jednoznaczne. W części badań stwierdzono zwiększone wskutek ekspozycji ryzyko zachorowań na nowotwory, ale w innych badaniach takiego związku nie potwierdzano. Metaanalizy wykonane w celu podsumowania wyników przeprowadzonych badań wykazały, że u dzieci przebywających w mieszkaniach o indukcji magnetycznej przekraczającej 0,3-0,4 μT dochodzi do 2-krotnego wzrostu zachorowań na niektóre postacie białaczek. Dotychczas nie wykazano jednak, czy pole magnetyczne jest czynnikiem przyczynowym tego ryzyka. Zaobserwowany wzrost nie dotyczy jednak innych, niż białaczki rodzajów nowotworów i innych, niż dzieci grup badanych.

Pomimo 25-letnich badań doświadczalnych i epidemiologicznych pytanie odnośnie do istnienia związku pomiędzy polem magnetycznym małej częstotliwości a zachorowaniem na nowotwory pozostaje nadal otwarte.

Zależności między ekspozycją na pole magnetyczne i rozwojem choroby nowotworowej, które udało się ustalić w licznych badaniach epidemiologicznych i niektórych doświadczalnych są na tyle silne, że nie można ich uznać za przypadkowe i lekceważyć, pomimo że dotychczas nie ustalono bezspornie mechanizmów ich związku przyczynowego. Istotne znaczenie dla tych mechanizmów mogą mieć zaburzenia w profilu ekspresji genów cyklu komórkowego czy wykazane w kilku pracach obniżenie efektywności komórek układu odpornościowego [9].

Wyniki wielu prac wskazują, że w zależności od parametrów pola i czasu ekspozycji obserwuje się zarówno oddziaływanie genotoksyczne (uszkodzenia DNA), jak i zaburzenia proliferacji czy różnicowania komórek [9]. Wyniki badań *in vitro* wskazują na różną wrażliwość, a często wręcz na przeciwstawny skutek ekspozycji na pole elektromagnetyczne, w zależności od typu eksponowanej komórki (np. różnice wrażliwości komórek takich jak fibroblast, limfocyt czy komórka nerwowa).

Badania epidemiologiczne dotyczyły przede wszystkim działania rakotwórczego pola elektromagnetycznego, ale analizowano także wpływ ekspozycji na pole elektromagnetyczne o częstotliwości przemysłowej na ryzyko zachorowania na choroby neurodegeneratywne, na funkcjonowanie układu krążenia i na funkcje rozrodcze człowieka. Jak dotychczas żaden z powyższych skutków zdrowotnych nie został wystarczająco potwierdzony (istnieją zarówno badania potwierdzające taką możliwość, jak i przeczące jej). Przyczyną mogą być niedostatki metodologiczne badań, a przede wszystkim niedostateczna miarodajność oceny ekspozycji czy wpływ innych czynników środowiskowych na wyniki badań [10]. Podkreślić jednak należy, że wyniki badań również nie wykluczyły związku wymienionych zachorowań z oddziaływaniem pola.

Na podstawie dostępnych ograniczonych dowodów z badań epidemiologicznych Międzynarodowa Agencja Badań nad Rakiem (IARC) w roku 2002 sklasyfikowała pola magnetyczne małej częstotliwości do czynników przypuszczalnie rakotwórczych (grupa 2B), a pole elektryczne do czynników, których nie można sklasyfikować pod względem działania rakotwórczego (grupa 3) [2].

Parlament Europejski zalecił w 2008 roku, by w celu zmniejszenia szkodliwych skutków środowiskowych dla zdrowia, Komisja Europejska zachęciła państwa członkowskie Unii Europejskiej do pobudzania podmiotów działających na rynku do poprawy jakości powietrza wewnątrz budynków oraz ograniczenia narażenia na pola elektromagnetyczne w budynkach [4]. W roku 2009 Parlament Europejski wskazał m.in. na potrzebę podjęcia środków ograniczających ekspozycję na pola elektromagnetyczne zagrożonych grup społeczeństwa oraz zalecił Komisji Europejskiej opracowanie, w koordynacji z ekspertami z państw członkowskich i zainteresowanymi branżami przemysłu (np. spółkami elektroenergetycznymi)

przewodnika po dostępnych i skutecznych technologicznych możliwościach obniżania narażenia na pola elektromagnetyczne [5].

Ograniczenie poziomu ekspozycji osób przebywających w sąsiedztwie urządzeń elektroenergetycznych można uzyskać przy wykorzystaniu dostępnych środków technicznych i organizacyjnych, często niskobudżetowych i równocześnie bardzo skutecznych [1, 3]. Poziom pola elektromagnetycznego w otoczeniu urządzeń elektroenergetycznych eksploatowanych w budynkach zależy od parametrów elektrycznych urządzeń (napięcia pracy, obciążenia prądowego), konstrukcji urządzeń oraz ich konfiguracji geometrycznej. Natężenie pola elektrycznego i magnetycznego zmniejsza się wraz z odległością od źródła pola. Stąd zwiększanie odległości szynoprzewodów lub kabli od pomieszczeń, w których przebywają ludzie, jest podstawową metodą ograniczania ekspozycji.

Drugą metodą zmniejszania poziomu pola elektromagnetycznego w otoczeniu urządzeń elektroenergetycznych jest maksymalne możliwe technicznie skupianie elementów będących źródłem tego pola, np. zbliżenie do siebie szyn prądowych i wykorzystanie wzajemnej kompensacji pól magnetycznych wytwarzanych przez prądy o różnych fazach, przepływające w przewodach ułożonych blisko siebie.

Całkowita kompensacja pola magnetycznego pochodzącego od instalacji jednofazowej następuje w przypadku prądów o jednakowym natężeniu płynących w przeciwnych fazach w instalacji dwuprzewodowej o niemal zerowej odległości między przewodami (neutralnym i fazowym). W przypadku instalacji trójfazowej najlepszym rozwiązaniem, z punktu widzenia eliminacji ekspozycji środowiska na pole magnetyczne, jest skupiona wiązka izolowanych przewodów (wszystkich przewodów fazowych lub przewodów fazowych i przewodu neutralnego). Kompensacja pola magnetycznego w otoczeniu wiązki przewodów, w których płyną prądy o jednakowych natężeniach i różnych fazach, jest odwrotnie proporcjonalna do odległości między kablami lub szynami prądowymi.

Zastępowanie szyn prądowych izolowanymi kablami jest w zasadzie jedyną skuteczną i stosunkowo mało kosztowną metodą obniżania poziomu wolnozmiennych pól magnetycznych. Stosowanie kabli izolowanych pozwala także na prowadzenie ich w większej odległości od ścian i sufitu pomieszczenia stacji transformatorowej, wskutek czego w pomieszczeniach sąsiadujących z komorą transformatorową możliwe jest znaczące ograniczenie poziomu pola magnetycznego w otoczeniu torów prądowych. Doświadczenia autorów wskazują, że po przebudowaniu okablowania transformatora 15/0,4 kV można osiągnąć nawet ponad 10-krotnie zmniejszenie poziomu indukcji magnetycznej w sąsiednich pomieszczeniach [1].

5. Podsumowanie

Ekspozycja mieszkańców lub pracowników w pomieszczeniach sąsiadujących z urządzeniami elektroenergetycznymi nie może być traktowana na równi z ekspozycją zawodową operatorów urządzeń wytwarzających silne pola, ponieważ osoby z tej grupy z reguły nie podlegają okresowej ocenie stanu zdrowia pod kątem braku przeciwwskazań do wykonywania czynności zawodowych przy źródłach pól elektromagnetycznych i nie są informowane o charakterystyce pól występujących w środowisku oraz skutkach ich oddziaływania. Pomimo tego, że ekspozycja na pole magnetyczne małej częstotliwości w omawianych pomieszczeniach nie przekracza dopuszczalnych wartości odnośnie do ekspozycji ogółu ludności, jednak z uwagi na to, że poziom pola magnetycznego w tych pomieszczeniach jest zdecydowanie wyższy w porównaniu do pomieszczeń znajdujących się w budynkach bez stacji transformatorowych oraz w oparciu o wyniki badań naukowych, dotyczących skutków zdrowotnych ekspozycji ludności na słabe pola magnetyczne małej częstotliwości, należy wykorzystywać dostępne możliwości ograniczania poziomów pola zgodne z tzw. *zasadą ostrożności* czy zasadą *ALARA*. Staje się to coraz powszechniejszym podejściem, zarówno popieranym przez środowiska naukowe, jak i oczekiwanym przez społeczeństwo. Uwzględnia się to także w oficjalnych dokumentach Parlamentu Europejskiego i Światowej Organizacji Zdrowia (WHO) [4, 10].

Opracowano na podstawie wyników programu wieloletniego pn. „Poprawa bezpieczeństwa i warunków pracy" dofinansowywanego w latach 2008-2010 w zakresie służb państwowych przez Ministerstwo Pracy i Polityki Społecznej — główny koordynator: Centralny Instytut Ochrony Pracy — Państwowy Instytut Badawczy (zad. 4.S.38).

Artykuł wpłynął do redakcji 15.07.2009 r. Zweryfikowaną wersję po recenzji otrzymano w lipcu 2009 r.

LITERATURA

[1] K. Gryz, J. Karpowicz, *Ekspozycja na pola elektromagnetyczne w pomieszczeniach biurowych i metody jej ograniczania*, Przegląd Elektrotechniczny, 12, 2004, 1188-1193.

[2] *IARC Non-ionizing radiation*, Part 1: *Static and extremely low-frequency (ELF) electric and magnetic fields*, IARC Monographs 80, IARC Press: Lyon, 2002.

[3] J. Karpowicz, K. Gryz, *Pola elektromagnetyczne w pomieszczeniach biurowych i nieprzemysłowych — Kształtowanie środowiska pracy*, CIOP-PIB, Warszawa, 2007.

[4] Rezolucja Parlamentu Europejskiego z dnia 4 września 2008 r. w sprawie śródokresowego przeglądu Europejskiego planu działania na rzecz środowiska i zdrowia na lata 2004-2010 (2007/2252(INI)), http://www.europarl.europa.eu/sides/getDoc.do?type=REPORT&reference=A6-2008-0260&language=PL&mode=XML.

[5] Rezolucja Parlamentu Europejskiego z dnia 2 kwietnia 2009 r. w sprawie obaw dotyczących wpływu pól elektromagnetycznych na zdrowie (2008/2211(INI)), http://www.europarl.europa.eu/sides/getDoc.do?pubRef=-//EP//TEXT+TA+P6-TA-2009-0216+0+DOC+XML+V0//PL.

[6] Rozporządzenie Ministra Pracy i Polityki Społecznej z dnia 29 listopada 2002 r. w sprawie najwyższych dopuszczalnych stężeń i natężeń czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy. Załącznik 2, Część E. Pola i promieniowanie elektromagnetyczne z zakresu częstotliwości 0 Hz-300 GHz. Dz.U. nr 217, poz. 1833, 2002.

[7] Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 30 października 2003 r. w sprawie dopuszczalnych poziomów pól elektromagnetycznych w środowisku oraz sposobów sprawdzania dotrzymania tych poziomów. Dz.U. nr 192, poz. 1883, 2003.

[8] S. Szmigielski, E. Sobiczewska, *Ryzyko chorób nowotworowych w warunkach narażenia na pola sieciowe — badania epidemiologiczne*, Materiały XXII Szkoły Jesiennej Polskiego Towarzystwa Badań Radiacyjnych „Pola elektromagnetyczne w środowisku — problemy zdrowotne, ekologiczne, pomiarowe i administracyjne", Zakopane, 20-24.10.2008, 223-237.

[9] R. Wiaderkiewicz**,** *Skutki biologiczne ekspozycji na pola elektromagnetyczne — badania eksperymentalne*, Podstawy i Metody Oceny Środowiska Pracy, 58, 4, 2008, 47-65.

[10] WHO Environmental Health Criteria 238, Extremely Low Frequency Fields (ELF), 2007, http://www.who.int/peh-emf/publications/elf_ehc/en/index.html.

[11] M. Zmyślony, *Efekty biologiczne i ryzyko zdrowotne PEM sieciowych (z wyłączeniem nowotworów)*, Materiały XXII Szkoły Jesiennej Polskiego Towarzystwa Badań Radiacyjnych „Pola elektromagnetyczne w środowisku — problemy zdrowotne, ekologiczne, pomiarowe i administracyjne", Zakopane, 20-24.10.2008, 238-245.

K. GRYZ, J. KARPOWICZ

Electromagnetic fields in buildings with transformer stations

Abstract. Transformer stations are sometimes located in dwellings and buildings with work space. Problems of electromagnetic fields produced by transformers and the need of their reduction in the buildings is important in the aspects of the possible health effects of chronic exposure to a low-frequency magnetic field, even relatively weak (especially the possibility of increased cancer risk). Presented investigations were done in transformer stations 15/0.4 kV of power in the range of 160-1000 kVA and in the neighbouring working and living rooms.

These investigations consisted of measurements of the rms value of magnetic flux density and electric filed strength in transformer stations, measurements of the rms value of magnetic flux density in rooms neighbouring to transformer stations and many-hours registration of the rms value of magnetic flux density in rooms. Measurements were done in the so-called ELF frequency range (50 Hz-2 kHz). Current loads of transformers were identified to establish their relation with the results of measurements of magnetic field.

Magnetic flux density in the nearest rooms to transformer stations can reach values up to a few or a few tens of microtesla (μT) and is below a limit value for general public exposure (in Poland: 75 μT). Magnetic flux density in stations is significantly higher and can exceed permissible value for 8-hours workers' exposure (in Poland: 200 μT). The level of magnetic filed in the rooms neighbouring to transformers stations depends on an load of transformer, kind of transformer power output (cables or buses), and distance of cables or buses from walls and ceilings of station. The data from operators of city electrical system shows differences in current loads of transformers: from 50 A for all transformers up to 460 A in case of transformers of 630 kVA nominal power.

The differences in current loads result from changes in consumption of power depended on time of day or season of year and numbers of consumer of electric energy connected to a transformer station. Maximum phase current is usually (50-70%) of maximum output current. The increase in current

from transformers and increase in produced magnetic field is possible in current technical system. Most often the phase load of transformers of 160-630 kVA nominal power is in the range of 50-150 A. Various constructional and architectural solutions (dimensions of transformer stations and distribution rooms of low voltage, distance of electrical equipment from working and living rooms) influence on a level of magnetic filed in the vicinity of electrical devices. Usually, the height of transformer station is in the range of 3-4 m. The buses or cables of low voltage connected transformer with switch box are located 0.5-1.7 m under ceiling. Sometimes cables are put on the wall.

Exposure to magnetic field of low frequency in the rooms neighbouring to transformer stations is below permissible exposure for general public, nevertheless a level of magnetic field is significantly higher than in rooms in buildings without transformers.

According to resolutions of European Parliament and standing of World Health Organisation, available measures to reduce a level of magnetic field should be undertaken. One of the most effective methods is close-up of cables to allow the self-compensation of magnetic fields produced by currents of different phases. This method in case of transformer stations can give 10-fold decrease in magnetic field in the rooms neighbouring to transformers stations.

Keywords: environmental engineering, transformer stations, magnetic field, electric field, environment's exposure

Universal Decimal Classification: 537.8:621.311.4