

Pola elektromagnetyczne przy urządzeniach elektrochirurgicznych – ocena ryzyka zawodowego

dr inż. KRZYSZTOF GRYZ
dr inż. JOLANTA KARPOWICZ
mgr inż. PATRYK ZRADZIŃSKI
Centralny Instytut Ochrony Pracy
– Państwowy Instytut Badawczy

W urządzeniach elektrochirurgicznych elektrody i zasilające je kable są źródłem ekspozycji personelu medycznego na silne pola elektryczne o częstotliwości z zakresu od 300 kHz do kilku MHz. Poziom ekspozycji pracowników i ocena ryzyka zawodowego mogą być oceniane na podstawie pomiarów pola elektromagnetycznego i prądu indukowanego oraz kryteriów podanych w normach i przepisach krajowych, a w przypadku ich braku, w dokumentach międzynarodowych (dyrektywa 2004/40/WE, norma IEEE). Pomiar prądu indukowanego mogą być pomocne w ocenie ekspozycji i ryzyka zawodowego pracowników na pole elektromagnetyczne, zastępując w wielu przypadkach skomplikowane obliczenia numeryczne współczynnika SAR lub gęstości prądu indukowanego, charakteryzujących skutki ekspozycji wewnątrz ciała pracownika.

Electromagnetic fields produced by electrosurgical devices – occupational risk assessment

Electrodes and supplying cables of electrosurgical devices are sources of strong electric fields because of the use of high voltage of frequency from the range from 300 kHz to a few MHz. The level of EMF exposure and occupational risk for health care staff can be assessed with the use of measurements of electromagnetic field and induced current. Measurement results can be assessed following national legislation and standards or, if there are no such documents, following international guidelines (European Directive 2004/40/EC, IEEE standard). Measurements of induced current can be helpful in assessing occupational risk and workers' exposure to electromagnetic fields instead of complex numerical calculations of specific energy absorption rate (SAR) or current density, which characterise the effects of exposure inside a worker's body.

Wstęp

Ocena ryzyka zawodowego odgrywa istotną rolę w procesie monitorowania parametrów środowiska pracy, będąc źródłem informacji niezbędnych do planowania działań korygujących i zapobiegawczych w stosunku do zidentyfikowanych niezgodności. Ekspozycja pracowników na pola elektromagnetyczne o wysokim poziomie może wystąpić m.in. przy urządzeniach elektrochirurgicznych. W związku z tym powinna być uwzględniona w procesie oceny ryzyka zawodowego.

Elektrochirurgia to wykorzystanie prądów elektrycznych wielkiej częstotliwości do cięcia lub koagulacji tkanek pacjenta, znajdujących się bezpośrednio przy elektrodzie zabiegowej (nożu elektrochirurgicznym). Źródłem ekspozycji zawodowej na pola elektromagnetyczne są (rys. 1.):

- elektroda zabiegowa (monopolarna lub bipolarna) przyłączona do wysokiego potencjału elektrycznego wytwarzanego przez generator
- przewody łączące generator urządzenia elektrochirurgicznego (diatermii chirurgicznej) z elektrodą zabiegową oraz z elektrodą bierną
- generator, jedynie w przypadku, kiedy obudowa stanowi nieskuteczny ekran elektromagnetyczny (z powodu braku uziemienia lub nieszczelności)
- obiekty metalowe znajdujące się w sąsiedztwie kabli (np. stoły zabiegowe lub narzędziowe), jedynie w przypadku, kiedy kable są ułożone bezpośrednio przy nich i wskutek sprzężeń pojemnościowych obiekty te stają się wtórnymi źródłami pola elektromagnetycznego.

Do przeprowadzenia procesu oceny ryzyka zawodowego niezbędne są informacje na temat rozkładu pola elektromagnetycznego wokół ww. źródeł i warunków ekspozycji pracowników, np. wyniki pomiarów pól elektromagnetycznych.

W dalszej części artykułu zaprezentowano charakterystykę zagrożeń elektromagnetycznych przy obsłudze urządzeń elektrochirurgicznych (wyniki badań własnych autorów) oraz metodę oceny ryzyka zawodowego na podstawie wielkości charakteryzujących poziom ekspozycji pracowników.

Charakterystyka ekspozycji pracowników medycznych na pola elektromagnetyczne

Na skutek występowania wysokiego napięcia (rzędu kilkuset woltów) w obwodzie między elektrodą czynną i bierną, przy zbliżeniu elektrody do ciała pacjenta w powietrzu przepływa elektryczny prąd przesunięcia, a przez tkanki prąd przewodzenia. Kable i uchwyt elektrody czynnej (zabiegowej) pokryte są materiałem izolacyjnym, umożliwiającym trzymanie ich w dłoni. Uziemiona elektroda bierna (metalowa lub z gietkiej przewodzącej gumy) przymocowana jest do ciała pacjenta. Kable układane są swobodnie między generatorem i elektrodami, upinane przy polu operacyjnym lub przytrzymywane w czasie zabiegu przez asystującą pielęgniarkę. Częstotliwość podstawowa i modulacja pola elektromagnetycznego, wytwarzanego przez urządzenie elektrochirurgiczne, zależy od typu urządzenia oraz trybu jego pracy. Najpopularniejsze są urządzenia wytwarzające pola o częstotliwości z zakresu od 300 kHz do ok. 1 MHz (niektóre urządzenia wytwarzają pola o wyższych częstotliwościach, nawet do kilku MHz). Moc wyjściowa generatorów wynosi typowo ok. 500 W. Przy zabiegach elektrodą monopolarną wykorzystywane są zwykle moce rzędu 50 ÷ 150 W, a przy zabiegach elektrodą bipolarną znacznie mniejsze, nawet poniżej 40 W.

Ekspozycja pracowników medycznych na pole elektromagnetyczne, najczęściej chirurga oraz asystujących pielęgniarek i anestezjologa, zależy od:

- konstrukcji i trybu pracy urządzenia
- rodzaju używanej elektrody zabiegowej
- lokalizacji kabli łączących elektrody z generatorem
- miejsca przebywania i pozycji ciała poszczególnych osób (zależnych od rodzaju zabiegu, organizacji sali zabiegowej/operacyjnej i procedur pracy)
- lokalizacji w sali zabiegowej/operacyjnej obiektów metalowych, wpływających na rozkład przestrzenny pola elektrycznego na stanowisku pracy.

Począwszy od załączenia napięcia (naciśnięcia ręką lub nogą włącznika aplikacji), obie elektrody i kable łączące je z generatorem, są źródłami silnego pola elektrycznego (E). Pole magnetyczne występuje jedynie w czasie cięcia lub koagulacji tkanek i zależy od natężenia prądu przepływającego przez kable oraz ich ułożenia. W przypadku ułożenia kabli w pętli, w ich pobliżu występuje pole magnetyczne o znacznie zwiększonym poziomie, proporcjonalnym do liczby pętli.

Pole elektromagnetyczne występujące w otoczeniu urządzeń elektrochirurgicznych ma niejednorodny rozkład przestrzenny (rys. 2.). Nawet nieznaczne odsunięcie się pracownika od źródła pola znacznie zmniejsza poziom jego narażenia. Zwykle chirurg, który trzyma uchwyt elektrody zabiegowej w dłoni, jest najbardziej ekspozycjonowanym na ten czynnik pracownikiem. Narażenie jego ręki występuje zawsze, a w odniesieniu do pozostałych części ciała (tułów, głowa, nogi) może wystąpić, jeżeli w ich pobliżu ułożone są kable. Jeżeli pracownicy asystujący chirurgowi przytrzymują przewody zasilające elektrody, to

mogą oni podlegać ekspozycji o poziomie zbliżonym do ekspozycji chirurga. Poziom ekspozycji personelu medycznego od wtórnych źródeł pola jest uzależniony od położenia kabli względem stołu operacyjnego oraz metalowych obiektów znajdujących się w pobliżu i może on zmieniać się 2 – 3-krotnie w zależności od lokalizacji tych obiektów.

Kryteria oceny narażenia pracowników

Poziom ekspozycji na pole elektromagnetyczne personelu medycznego może być oceniany na podstawie czterech parametrów, które można zmierzyć na stanowisku pracy:

- natężenia pola elektrycznego, E , w V/m
- natężenia pola magnetycznego, H , w A/m
- natężenia prądu indukowanego, przepływającego w kończynach, I_i , w mA
- natężenia prądu kontaktowego, przepływającego w kończynach, I_c , w mA
- współczynnika szybkości pochłaniania właściwego SAR (*specific absorption rate*), którego wartość można jedynie obliczyć np. przy zastosowaniu dozymetrii komputerowej.

Ocena współczynnika SAR i natężenia lub gęstości prądów przepływających przez ciało pracowników ekspozowanych na pole elektromagnetyczne, są metodami uzupełniającymi w stosunku do oceny ekspozycji na podstawie rutynowych, klasycznych pomiarów pól elektromagnetycznych. Mogą one być przydatne szczególnie w przypadkach ekspozycji na pola o dużej niejednorodności przestrzennej i/lub dotykania przez pracownika nie izolowanych konstrukcji metalowych, będących wtórnymi źródłami pola elektromagnetycznego, a także w przypadku ręcznej obsługi urządzeń będących pierwotnym źródłem pola i dotykania jego izolowanych elementów. Tego rodzaju uwarunkowania występują przy obsłudze urządzeń elektrochirurgicznych.

Kryteria oceny poziomu ekspozycji definiują krajowe przepisy bezpieczeństwa i higieny pracy (bhp) [5, 6]. Obecnie odnoszą się one do natę-

żenia pola elektrycznego E i magnetycznego H (tab. 1.), tj. miar zewnętrznych ekspozycji. Ze względu na wdrażanie wymagań dyrektywy 2004/40/WE [1] do krajowych przepisów bhp, przygotowywane jest *wprowadzenie również dopuszczalnych wartości I_i , I_c , SAR* . Przewiduje się również nieznaczne zmiany wartości dopuszczalnych E i H (tab. 1., 2. – str. 18.) [7].

Postanowienia dyrektywy 2004/40/WE [1] nie definiują jednoznacznie prądu indukowanego i kontaktowego. Na potrzeby inżynierii środowiska pracy proponuje się przyjęcie następującego rozróżnienia praktycznego:

- **prąd indukowany** – prąd przepływający przez ciało pracownika ekspozowanego na pole elektromagnetyczne, na skutek sprzężeń pojemnościowych jego ciała z obiektem będącym pierwotnym lub wtórnym źródłem pola elektromagnetycznego, albo z obiektami przewodzącymi – wielkość ta odnosi się np. do pracownika trzymającego w czasie trwania zabiegu uchwyty elektrody, kable lub stojącego w ich pobliżu

- **prąd kontaktowy** – prąd przepływający przez ciało pracownika w wyniku kontaktu galvanicznego jego ciała z obiektem przewodzącym, ekspozowanym na pole elektromagnetyczne, niezależnie od warunków uziemienia tego obiektu i pracownika – wielkość ta odnosi się np. do pracownika dotykającego w czasie trwania zabiegu takich przedmiotów metalowych, jak stół operacyjny i narzędziowy lub innej osoby.

Wartość dopuszczalną natężenia prądu indukowanego w kończynach wprowadzono, aby ułatwić kontrolę spełnienia wymagań odnośnie dopuszczalnej wartości współczynnika SAR w kończynach (tj. ochrony kończyn przed nadmiernymi lokalnymi skutkami termicznymi). Dyrektywa definiuje wartość dopuszczalną SAR w kończynach odnośnie do pól o częstotliwości z zakresu 100 kHz ÷ 10 GHz, obejmując częstotliwości pracy urządzeń elektrochirurgicznych, natomiast wartości dopuszczalne I_i jedynie odnośnie do pól o częstotliwości z zakresu 10 MHz ÷ 110 MHz, nie obejmując częstotliwości pracy urządzeń elektrochirurgicznych (tabela 2.).



Rys. 1. Urządzenie elektrochirurgiczne
Fig. 1. Electrosurgical device

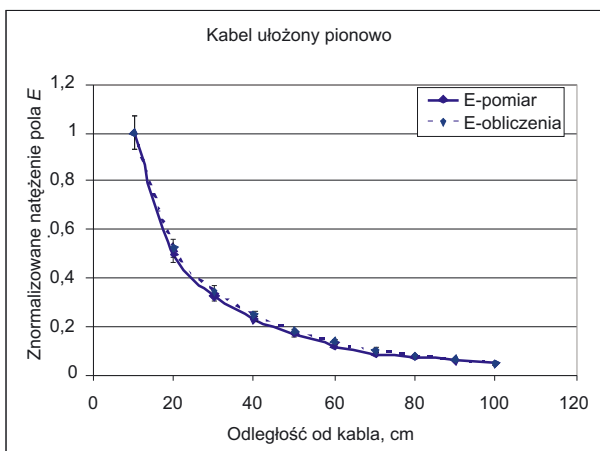
Nieco odmienne ustalenia zawarto w normie międzynarodowej IEEE [4] – dopuszczalną wartość natężenia prądu indukowanego (przytłoczonego przez jedną lub obie nogi) ustalono dla całego pasma częstotliwości 100 kHz ÷ 110 MHz (odpowiednio 100 i 200 mA w całym zakresie częstotliwości).

Współczynnik SAR związany jest z gęstością prądu w tkankach, J , następującą zależnością:

$$SAR = \frac{J^2}{\sigma \gamma} \tag{1}$$

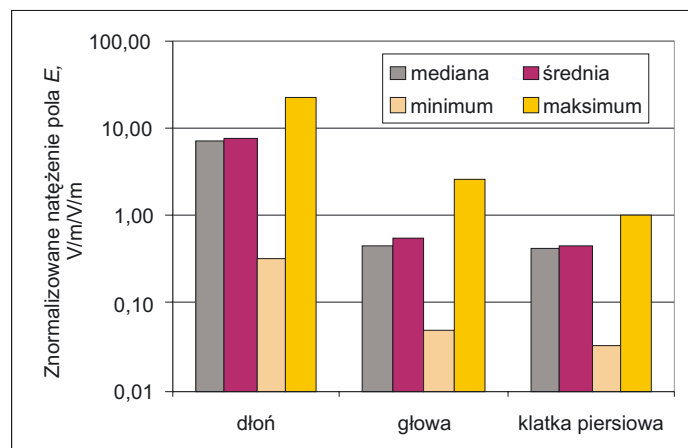
gdzie: J – wartość skuteczna gęstości prądu, σ – przewodność elektryczna tkanki, γ – gęstość właściwa tkanki.

Przekrój poprzeczny ciała człowieka ma znaczne przewężenia w takich miejscach, jak: szyja, nadgarstek lub staw skokowy. W związku z tym gęstość przepływającego w tych miejscach prądu jest znacznie większa i występują tam największe skutki termiczne (głównie w tkance mięśniowej o lepszej przewodności niż tkanka kostna).



Rys. 2. Pole elektryczne przy kablu zasilającym elektrodę zabiegową urządzenia elektrochirurgicznego, ułożonym pionowo – wyniki obliczeń i pomiarów

Fig. 2. Electric field from the cable of electro-surgical device – results of calculations and measurements



Rys. 3. Wyniki badań wartości skutecznych natężenia pola elektrycznego oddziałującego na chirurga – natężenie pola oddziałującego na klatkę piersiową jako wartość odniesienia równa 1

Fig. 3. Results of investigations on EMF exposure of surgeons – exposure of the chest taken as a reference level

Tabela 1

NATEŻENIE POLA ELEKTRYCZNEGO I MAGNETYCZNEGO – WARTOŚCI DOPUSZCZALNE PRZY EKSPOZYCJI OŚMIOGODZINNEJ (NDN PÓL ELEKTRYCZNYCH I MAGNETYCZNYCH), WEDŁUG ROZPORZĄDZENIA MINISTRA PRACY I POLITYKI SPOŁECZNEJ [7] (NDN'2002) I PROPOZYCJI JEGO NOWELIZACJI [8] (NDN'2007)

Electric and magnetic field strength – exposure limits established by the Minister of Labour and Social Policy for 8-hour daily exposure, current (NDN 2002) and drafted for amendment (NDN 2007) [7,8]

| Zakres częstotliwości | NDN'2002 | | NDN'2007 – projekt | |
|----------------------------|--|--|--|--|
| | nateżenie pola elektrycznego E_e , V/m (NDN _e) | nateżenie pola magnetycznego H_e , A/m (NDN _e) | nateżenie pola elektrycznego E_e , V/m (NDN _e) | nateżenie pola magnetycznego H_e , A/m (NDN _e) |
| 0,1 MHz < $f \leq$ 0,8 MHz | 100 | 10 | 100 | 0,5/f |
| 0,8 MHz < $f \leq$ 1 MHz | 100 | 8/f | 100 | 0,5/f |
| 1 MHz < $f \leq$ 3 MHz | 100 | 8/f | 100/f | 0,5/f |
| 3 MHz < $f \leq$ 5 MHz | 300/f | 8/f | 100/f | 0,5/f |
| 5 MHz < $f \leq$ 10 MHz | 300/f | 8/f | 20 | 0,5/f |

– f – częstotliwość w MHz
 – wartości graniczne ekspozycji zabronione są 10-krotnie wyższe (granica strefy niebezpiecznej)
 – wartości NDN odnoszą się do maksymalnego w czasie ekspozycji natężenia pola pierwotnego, tj. zmierzonego pod nieobecność pracownika, w pionie odpowiadającym położeniu osi ciała pracownika (granica między strefą pośrednią i zagrożenia) [6]

Tabela 2

DOPUSZCZALNE WARTOŚCI WSPÓŁCZYNNIKA SZYBKOCIECZNEGO POCHŁANIANIA WŁAŚCIWEGO SAR ORAZ NATEŻENIA PRĄDU INDUKOWANEGO I_c I KONTAKTOWEGO I_e , WEDŁUG PROJEKTU NOWELIZACJI ROZPORZĄDZENIA MINISTRA PRACY I POLITYKI SPOŁECZNEJ [8] (NDN'2007)

Permissible SAR and induced I_c and contact I_e currents, drafted for amendment of legislation of the Minister of Labour and Social Policy (NDN 2007) [7, 8]

| Zakres częstotliwości | I_c | I_e | SAR_c | SAR_{ct} | SAR_v |
|-------------------------|-------|-------|---------|------------|---------|
| | mA | mA | W/kg | W/kg | W/kg |
| 100kHz < $f \leq$ 10MHz | 40 | --- | 0,4 | 10 | 20 |
| 10MHz < $f \leq$ 110MHz | 40 | 100 | 0,4 | 10 | 20 |

Uwagi:
 – Wartości dopuszczalne SAR oznaczają wartości uśrednione w okresie dowolnych sześciu minut. Wartości SAR_c oznaczają wartość uśrednioną względem całego ciała. Wartości dopuszczalne miejscowe SAR (SAR_{ct} – wartość w głowie i tułowie; SAR_v – wartość w kończynach) oznaczają maksymalne wartości uśrednione odnośnie dowolnych 10 g zwartej jednorodnej tkanki
 – Wartość dopuszczalna natężenia prądu indukowanego przepływającego w kończynie ekspozowanego pracownika (I_e) oznacza wartość skuteczną natężenia prądu, z dowolnie wybranych sześciu minut
 – Dopuszczalna wartość natężenia prądu kontaktowego przepływającego pomiędzy pracownikiem, a przewodzącym przedmiotem znajdującym się w polu elektromagnetycznym (I_c), oznacza wartość skuteczną natężenia prądu
 – Ograniczenia dotyczące dopuszczalnych wartości SAR (SAR_c , SAR_{ct} i SAR_v) mają być spełnione równocześnie. Spełnienie ograniczeń dotyczących dopuszczalnej wartości natężenia prądu indukowanego przepływającego w kończynach I_e jest wystarczającym potwierdzeniem spełnienia ograniczeń dotyczących wartości SAR_c .

W przypadku urządzeń elektrochirurgicznych, dodatkowa ocena poziomu narażenia, odnosząca się do współczynnika SAR i pomiarów natężenia prądu indukowanego, powinna dotyczyć ekspozycji kończyn górnych (dłoni i przedramion), podlegających silnej lokalnej ekspozycji na pola o niejednorodnym rozkładzie przestrzennym w otoczeniu elektrody zabiegowej i przewodów łączących elektrody z generatorem urządzenia. Pomiar prądu indukowanego w kończynie dolnej mają z kolei uzasadnienie głównie przy ekspozycji jednorodnej całego ciała, np. przy nadawczych urządzeniach radiowych.

Analizując wymiary antropometryczne i budowę anatomiczną ciała człowieka można przyjąć, że przekrój kończyny dolnej w okolicy stawu skokowego jest ok. dwukrotnie większy od przekroju w nadgarstku, przy podobnym procentowym udziale tkanki kostnej i mięśniowej. Przy założeniu, że zarówno w kończynie górnej, jak i dolnej, dopuszczalny jest podobny poziom skutków termicznych (taki sam dopuszczalny SAR), dopuszczalna gęstość prądu przepływającego w kończynie górnej powinna być na tym samym poziomie co w dolnej. Zależności te powinny być uwzględnione przy określaniu zasad oceny

nateżenia prądu indukowanego, zmierzonego na nadgarstku pracownika obsługującego urządzenie elektrochirurgiczne. W konsekwencji, wartość dopuszczalna natężenia prądu indukowanego w kończynie górnej pracownika trzymającego uchwyt elektrody, kable lub stojącego w ich pobliżu powinna być obniżona dwukrotnie w stosunku do wartości dopuszczalnej w kończynie dolnej, tj. do 50 mA, jeżeli przyjmujemy wartość 100 mA podaną w normie IEEE odnośnie do natężenia prądu przepływającego w tej kończynie. Ograniczenie to jest zatem zbieżne z wartością dopuszczalną natężenia prądu kontaktowego (40 mA), ustaloną w dyrektywie 2004/40/WE [1, 7] dla ochrony przed wystąpieniem odczuwalnych skutków związanych ze stymulacją tkanki nerwowej, szczególnie w miejscu wnikania tego prądu do wnętrza ciała (np. przez opuszek palca).

Z przytoczonych rozważań wynika praktyczny wniosek, że do oceny poziomu narażenia pracowników obsługujących urządzenia elektrochirurgiczne, we wszystkich przypadkach występowania wysokiego poziomu narażenia na pole elektromagnetyczne, można wykonywać pomiary natężenia prądu przepływającego w nadgarstku i ich wyniki oceniać odnośnie do

wartości 40 mA, bez względu na warunki ekspozycji poszczególnych osób i wykonywanych przez nie czynności.

Poziom ekspozycji pracowników

Zarówno natężenie, jak i przebieg w czasie pola wytwarzanego przez urządzenie elektrochirurgiczne istotnie zależą od jego typu, wybranego trybu pracy i sposobu wykonywania zabiegu przez lekarza. Przykładowo, zaobserwowano następujące względne zmiany średniej wartości natężenia pola elektrycznego, przy różnych trybach pracy: cięcie „pure” – 100%; cięcie „blend” – 140%; koagulacja „dessicate” – 70%; koagulacja „fulgurate” – 100%; koagulacja „spray” – 465%; cięcie „pure” z argonem – 295%; cięcie „blend” z argonem – 620%; koagulacja „spray” z argonem – 820% [2]. Czas trwania ekspozycji na pole elektromagnetyczne w czasie zmiany roboczej zależy istotnie od rodzaju zabiegów. Przy takich krótkotrwałych zabiegach, jak np. dermatologiczne, ekspozycja w ciągu dnia pracy nie przekracza kilku minut, natomiast przy poważnych operacjach dużych silnie ukrwionych narządów (jak wątroba, płuca, serce) może przekraczać 1 godzinę dziennie. Możliwe są wielominutowe działania chirurga, przy których diatermia jest włączona niemal ciągle (wypełnienie sygnału zasilającego elektrody przekraczające 50%).

Dłoń chirurga może być ekspozowana na pole elektryczne o natężeniu przekraczającym 1000 V/m, przy stosowaniu elektrody monopolarnej i mocy wyjściowej rzędu 100 – 150 W. Przy prawidłowym ułożeniu kabli zasilających elektrody (z dala od tułowia chirurga), głowa i tułów podlegają ekspozycji na pole o natężeniu do kilkudziesięciu V/m. W przypadku, kiedy kable dotykają ciała chirurga ekspozycja może mieć poziom porównywalny z ekspozycją dłoni, w której trzyma ona jest elektroda zabiegowa. Typowe zasięgi stref ochronnych wynoszą: strefa niebezpieczna – do 10 cm ($E > 1000$ V/m); strefa zagrożenia – do 40 cm (1000 V/m $> E > 100$ V/m); strefa pośrednia – do 70 cm (100 V/m $> E > 33$ V/m) [2]. Wartość natężenia pola magnetycznego jest zwykle poniżej 0,5 A/m w odległości 10 cm od elektrod i kabli. W przypadku, kiedy przewody tworzą pętlę, w ich sąsiedztwie występuje kilkakrotnie większe natężenie pola magnetycznego. Wyniki badań wykonanych przy różnego typu urządzeniach elektrochirurgicznych, stosowanych powszechnie w placówkach służby zdrowia, wskazują na znaczne różnice w poziomie narażenia na pole elektryczne różnych części ciała oraz różnice poziomu ekspozycji przy różnych urządzeniach (rys. 3. – str. 17.): dłoń: 20 ÷ 1200 V/m; głowa: 5 ÷ 180 V/m; klatka piersiowa: 5 ÷ 300 V/m; brzuch: 10 ÷ 570 V/m.

Wykonywanie zabiegu chirurgicznego z zapalonym pod elektrodą zabiegową łukiem elektrycznym prowadzi do znaczącego wzrostu poziomu pola elektrycznego oddziaływującego na personel medyczny: 3 – 4-krotnie wyższe natężenia pola przy łuku elektrycznym, niż w przypadku używania takiej samej elektrody i nastaw generatory, ale prowadzenia zabiegu bez zapalania łuku elektrycznego.

Poziom ekspozycji pozostałych pracowników zależy od organizacji stanowiska pracy. Zazwyczaj występuje ich ekspozycja na pole elektryczne, co najwyżej ze strefy pośredniej. Przy niewłaściwej organizacji stanowisk pracy i prowadzeniu operacji chirurgicznych, osoby z zespołu zabiegowego, które np. przytrzymują w dłoni kable łączące elektrody z generatorem mogą być bardziej ekspozycjonowane niż chirurg trzymający w swojej dłoni elektrodę zabiegową.

Prąd indukowany w ciele pracownika zależy od wyposażenia urządzeń elektrochirurgicznych. Materiały izolacyjne kabli zasilających elektrody zabiegowe wpływają na poziom sprzężeń pojemnościowych źródła pola z ciałem pracownika i prądu indukowanego. Większe wartości natężenia prądu indukowanego w dłoni pracownika występują przy trzymaniu kabli zasilających elektrody niż przy trzymaniu uchwytów elektrod.

Typowe wartości natężenia prądu indukowanego w ciele pracownika nie przekraczają 20 mA, przy trzymaniu w dłoni kabla zasilającego elektrodę, ale mogą dochodzić do 100 mA. Przy dotykaniu stołu operacyjnego lub metalowych stolików narzędziowych prąd kontaktowy osiąga natężenie do 10 mA, zależnie od typu urządzenia elektrochirurgicznego, jego trybu pracy i organizacji stanowiska pracy.

Ocena ryzyka zawodowego związanego z ekspozycją na pole elektromagnetyczne

W przypadku pól elektromagnetycznych ogólnie kryteria oceny ryzyka zawodowego (zgodnie z postanowieniami normy PN-N-18002 [5]) są następujące [4]:

– **ryzyko duże** występuje w przypadku przekroczenia dozwolonych prawem warunków ekspozycji, tj. kiedy stanowisko pracy znajduje się w strefie niebezpiecznej (ekspozycja niebezpieczna) lub wskaźnik ekspozycji $W > 1$, tj. czas pracy w polach strefy zagrożenia jest zbyt długi (ekspozycja nadmierna)

– **ryzyko średnie** występuje wtedy, kiedy stanowisko pracy znajduje się w strefie pośredniej lub zagrożenia i dozwolone prawem warunki ekspozycji są zachowane (ekspozycja dopuszczalna, wskaźnik ekspozycji $W < 1$)

– **ryzyko małe** występuje wtedy, kiedy stanowisko pracy znajduje się poza zasięgiem stref ochronnych pola elektromagnetycznego (strefa bezpieczna, ekspozycja pomijalna, ograniczenia mogą dotyczyć jedynie osób z implantami medycznymi).

W przypadku stwierdzenia ryzyka dużego lub średniego niezbędne jest podjęcie działań zmniejszających to ryzyko przez ograniczenie narażenia metodami technicznymi lub organizacyjnymi. Tam, gdzie jest to możliwe, zgodnie z PN-N-18002:2002 [5], powinno się stosować środki techniczne, jako bardziej niezawodne niż organizacyjne.

W niektórych przypadkach natężenie pola elektrycznego przy kablach i elektrodzie zabiegowej przekracza granicę strefy niebezpiecznej. W konsekwencji, ryzyko zawodowe zgodnie z przepisami może być ocenione jako duże, jeżeli w pobliżu ciała pracownika znajdują się kable. W takich przypadkach możliwe jest wykorzystanie do oceny ekspozycji również obliczeń współczynnika SAR oraz wyników pomiarów prądów kontaktowych i indukowanych, przy zastosowaniu następujących zmodyfikowanych kryteriów oceny ryzyka zawodowego:

– **ryzyko duże** występuje w przypadku przekroczenia dozwolonych prawem warunków ekspozycji, tj. kiedy stanowisko pracy znajduje się w strefie niebezpiecznej i przekroczone są dopuszczalne wartości miar wewnętrznych ($SAR > SAR_{max}$) lub wskaźnik ekspozycji ($W > 1$)

– **ryzyko średnie** występuje wtedy, kiedy stanowisko pracy znajduje się w strefie pośredniej lub zagrożenia i dozwolone prawem warunki ekspozycji są zachowane ($W < 1$) lub kiedy w strefie niebezpiecznej ekspozycja jest krótkotrwała i $W < 1$ oraz wykazano, że nie są przekroczone dopuszczalne wartości miar wewnętrznych ekspozycji ($SAR < SAR_{max}$)

– **ryzyko małe** występuje wtedy, kiedy stanowisko pracy znajduje się poza zasięgiem stref ochronnych pola elektromagnetycznego.

W przypadku ekspozycji całego ciała na pola strefy niebezpiecznej przekroczenie dopuszczalnych miar wewnętrznych (w przypadku pól o częstotliwościach typowych dla urządzeń elektrochirurgicznych, dopuszczalnej wartości współczynnika SAR) jest bardzo prawdopodobne. Wówczas sposób oceny ryzyka zawodowego jest zgodny z dotychczasowymi rozwiązaniami. Przy występowaniu na stanowisku pracy ekspozycji lokalnej (jak w przypadku pracowników obsługujących urządzenia elektrochirurgiczne), po stwierdzeniu ryzyka dużego na podstawie poziomu pola elektromagnetycznego na stanowisku pracy, pracodawca dysponujący wynikami oceny poziomu współczynnika SAR zyskuje dodatkową możliwość ocenienia, czy jest to ryzyko średnie czy duże przez wykazanie zgodności z wymaganiami odnośnie do dopuszczalnych miar wewnętrznych. W przypadku oceny ryzyka zawodowego związanego z ekspozycją na pola elektromagnetyczne o typowych dla elektrochirurgii parametrach

Tabela 3

SCHEMAT OCENY RYZYKA ZAWODOWEGO DLA POSZCZEGÓLNYCH PRACOWNIKÓW ZESPOŁU ZABIEGOWEGO

Occupational risk assessment for particular members of a surgical team

| Oszacowanie ryzyka zawodowego | Ocena prawdopodobieństwa wystąpienia różnych poziomów ryzyka zawodowego dla poszczególnych członków zespołu zabiegowego i zakres oceny poziomu narażenia odpowiadający warunkom ich ekspozycji na pola elektromagnetyczne | | | |
|-------------------------------|---|--|--|---|
| | chirurg | pielęgniarka/ lekarz asystujący | instrumentariuszka | anestezjolog |
| Duże | strefa niebezpieczna wysoko prawdopodobne – w przypadku trzymania w dłoni uchwyty elektrody (ocena E, H, I) | strefa niebezpieczna prawdopodobne – w przypadku trzymania w dłoni kabli (ocena E, H, I) | strefa niebezpieczna mało prawdopodobne (ocena E, H) | strefa niebezpieczna mało prawdopodobne (ocena E, H) |
| Średnie | strefa pośrednia, zagrożenia $W < 1$ wysoko prawdopodobne (ocena E, H) | strefa pośrednia, zagrożenia $W < 1$ wysoko prawdopodobne (ocena E, H) | strefa pośrednia $W < 1$ prawdopodobne (ocena E, H) | strefa pośrednia $W < 1$ mało prawdopodobne (ocena E, H) |
| Małe | strefa bezpieczna mało prawdopodobne (ocena E, H) | strefa bezpieczna mało prawdopodobne (ocena E, H) | strefa bezpieczna wysoko prawdopodobne (ocena E, H) | strefa bezpieczna wysoko prawdopodobne (ocena E, H) |

Czynniki, które należy uwzględnić w procesie oceny ryzyka zawodowego:

- położenie kabli zależy od procedur i organizacji sali operacyjnej
- prądy indukowane zależą od parametrów technicznych urządzenia i kabli zasilających elektrody – dane powinien dostarczyć producent urządzenia i wyposażenia
- ocena prądu indukowanego pozwoli na wykazanie zgodności z wymaganiami na SAR miejscowy w kończynach
- bez danych od producenta odnoszących się do maksymalnych poziomów prądów indukowanych przy stosowaniu urządzenia elektrochirurgicznego, ocena ryzyka zawodowego chirurga przy zabiegu elektrodą monopolarną wymaga pomiarów natężenia prądu indukowanego
- pomiary natężenia prądu kontaktowego wymagane są, jeżeli w obszarze strefy zagrożenia znajdują się nieizolowane elementy metalowe
- przy wykonywaniu zabiegów elektrodami bipolarnymi lub elektrodami monopolarnymi przy mocy poniżej 50 W występuje ekspozycja wszystkich osób spośród zespołu zabiegowego na pole elektryczne i magnetyczne poniżej wartości NDN wg postanowień przepisów krajowych [7] i poniżej wartości granicznych wg dyrektywy 2004/40/WE [1] oraz normy IEEE [4]
- przy wykonywaniu zabiegów elektrodami monopolarnymi, przy mocy większej od 50 W może wystąpić ekspozycja na pole elektryczne przekraczająca ww. wartości
- wskaźnik ekspozycji $W > 1$ może wystąpić jedynie w przypadku bardzo długotrwałych operacji



Rys. 4. Model warunków ekspozycji chirurga używającego urządzenia elektrochirurgicznego

Fig. 4. Model of the conditions of a surgeon's exposure to EMF while an electrosurgical device is used

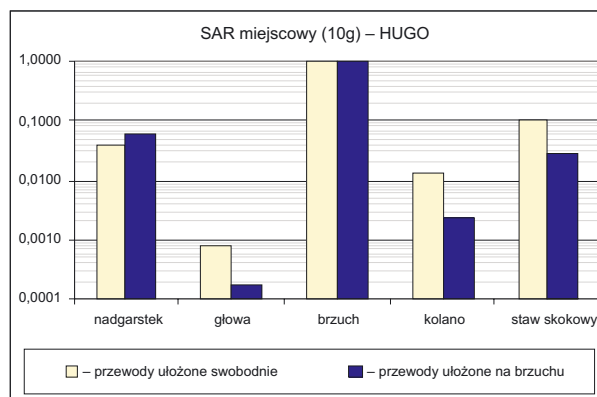
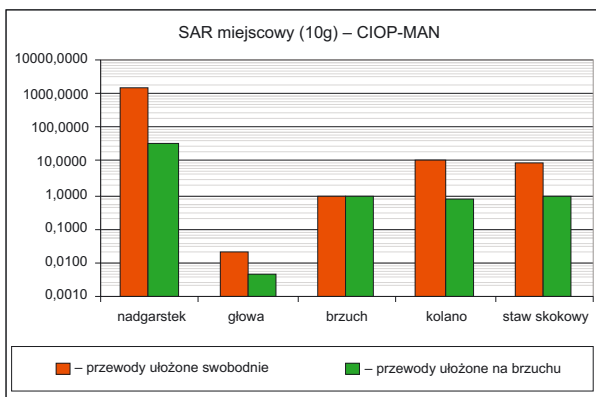
proceeding to the necessity of evaluating the maximum induction of current induced by the passing current in the upper limb or the execution of numerical simulations of SAR.

Ze względu na poziomy ekspozycji na pole elektromagnetyczne, występujące w typowych warunkach używania urządzeń elektrochirurgicznych, proponowaną ocenę ryzyka zawodowego dla poszczególnych pracowników w zespole dokonującym zabiegów, przedstawiono w tabeli 3, str. 19.

Pomiary poziomu narażenia

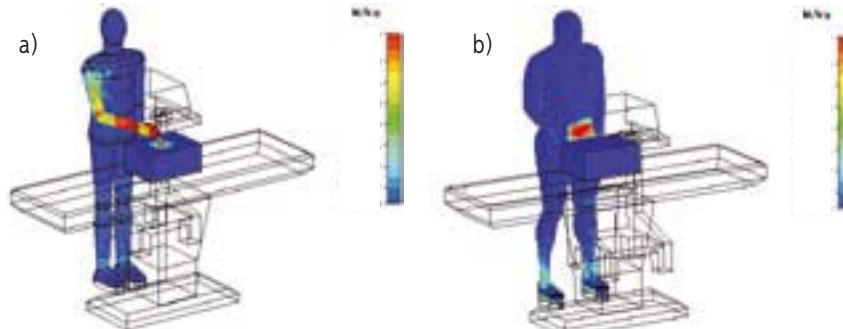
Badania rozkładu pola na stanowiskach pracy osób obsługujących urządzenia elektrochirurgiczne powinny być wykonywane szerokopasmowymi miernikami wartości skutecznej natężenia pola elektrycznego i magnetycznego, obejmującymi zakres częstotliwości pól elektromagnetycznych emitowanych przez urządzenia elektrochirurgiczne, tj. od ok. 300 kHz do kilkudziesięciu MHz (ze względu na harmoniczne zawarte w widmie przebiegów niesinusoidalnych). W przypadku oceny ekspozycji chirurga, nie ma możliwości wykonania pomiarów natężenia pola pierwotnego.

Natężenie prądu kontaktowego oraz indukowanego może być mierzone miernikiem cęgowym prądu indukowanego/kontaktowego. Z reguły pomiary można ograniczyć do pomiarów natężenia prądu przepływającego w nadgarstku.



Rys. 6. Wyniki symulacji numerycznych SAR odnośnie do ekspozycji na pole elektromagnetyczne przy urządzeniach elektrochirurgicznych: a) fantom CIOP-MAN izolowany od podłoża, w realistycznej pozycji ciała, przy różnych ułożeniach kabla zasilającego elektrodę aktywną (dalej i bliżej od ciała chirurga); b) fantom HUGO izolowany od podłoża, o nierealistycznej pozycji ciała, przy kablach ułożonych jak w przypadku (a) – wartości unormowane

Fig. 6. Results of numerical simulations of SAR for workers exposed to an electromagnetic field produced by electrosurgical devices: a) an insulated CIOP-MAN phantom in a realistic posture of an electrosurgeon, various locations of a cable supplying an electrode – normalized values



Rys. 5. Wyniki symulacji współczynnika szybkości pochłaniania właściwego SAR w fantomie jednorodnym CIOP-MAN (a) i anatomicznym HUGO (b) ciała elektrochirurga – kolor czerwony oznacza największe wartości SAR miejscowego

Fig. 5. Results of numerical calculations of SAR in the homogeneous CIOP-MAN phantom (a) and a heterogeneous HUGO phantom of an electrosurgeon's body – red indicates the highest local SAR

Przy tego rodzaju rutynowych pomiarach prądów indukowanych i kontaktowych, wykonywanych na potrzeby oceny środowiska pracy, ze względów bezpieczeństwa niezbędne jest stosowanie standaryzowanych metod i fantomów, symulujących parametry elektryczne ciała człowieka (obecnie brak odpowiednich fantomów do pomiarów prądów indukowanych w omawianym przypadku).

Do identyfikacji częstotliwości i modulacji pola wytwarzanego przez urządzenie, można zastosować rejestrację oscyloskopową z kalibrowanymi sondami pomiarowymi.

Pomiary pól elektromagnetycznych oraz prądów kontaktowych/indukowanych, ze względu na wymagania higieniczne i etyczne przy zabiegach medycznych, mogą być wykonywane jedynie przy symulowanej pracy urządzeń z fantomem ciała pacjenta np. nasączoną solą fizjologiczną gazą, bądź świeżymi warzywami lub owocami.

Symulacje numeryczne poziomu narażenia

Zgodnie z wymaganiami dyrektywy 2004/40/WE ocena poziomu ekspozycji pracowników na pole elektromagnetyczne może być przeprowadzona również na podstawie parametrów uwzględniających bardziej szczegółowo warunki, w jakich odbywa się ekspozycja (rozkład przestrzenny

poziomu ekspozycji, sprzężenia pojemnościowe z obiektami znajdującymi się w pobliżu pracownika itp.). Przy częstotliwościach pola elektromagnetycznego urządzeń elektrochirurgicznych, do takiej oceny wykorzystuje się obliczenia komputerowe współczynnika SAR. W prezentowanych badaniach własnych do wykonania symulacji numerycznych i oceny poziomu ekspozycji chirurgów użyto modele ciała pracownika (fantom numeryczny) oraz model środowiska pracy (rys. 4.). Obliczenia wykonano w odniesieniu do pola o częstotliwości 500 kHz, z wykorzystaniem specjalistycznego oprogramowania opartego na metodzie *Finite Integration Technic*. Całkowity model numeryczny złożony był z ok. 1200 tys. wokseli, o minimalnych rozmiarach ok. 1x1x1 cm. Ciało chirurga było modelowane fantomem anatomicznym, zróżnicowanym tkankowo, HUGO (w pozycji wyprostowanej z rękoma złożonymi przy tułowiu) oraz jednorodnym fantomem CIOP-MAN (o realistycznej pozycji ciała).

Obliczenia SAR w ciele chirurga wskazują (rys. 5.), że w typowych warunkach ekspozycji dopuszczalna wartość uśredniona względem całego ciała (0,4 W/kg) nie powinna zostać przekroczona. Natomiast w zależności od sposobu ułożenia przewodów i warunków pracy urządzenia, może wystąpić przekroczenie wartości dopuszczalnej miejscowego SAR w kończynach (20 W/kg) lub tułowiu (10 W/kg), (rys. 6.).

Wyniki symulacji pokazują, że przy prawidłowej organizacji stanowiska pracy (kable z dala od ciała chirurga) najbardziej narażona jest jego dłoń (SAR dla nadgarstka, rys. 6a), a więc zgodność wartości prądu indukowanego, przepływającego w nadgarstku z wartością dopuszczalną jest wystarczająca do wykazania zgodności z wymaganiami odnośnie SAR. Natomiast w przypadku, kiedy kable dotykają tułowia lekarza (rys. 6b) w pobliżu takiego kontaktu może również wystąpić przekroczenie wartości dopuszczalnych miejscowego SAR. W celu przeciwdziałania takiej nadmiernej ekspozycji niezbędne jest rygorystyczne przestrzeganie procedur bhp lub wybieranie urządzeń, których producenci mogą wykazać, że przy kontakcie kabli z ciałem pracownika nie występuje przekroczenie wartości granicznych miejscowego SAR.

Podsumowanie

Całkowita eliminacja ekspozycji chirurgów na pole elektromagnetyczne jest niemożliwa ze względu na konieczność trzymania w dłoni uchwytu elektrody zabiegowej. Zmniejszenie ekspozycji chirurgów można osiągnąć przez odpowiednie rozmieszczenie kabli zasilających elektrodę monopolarną (np. przez umieszczenie kabli pomiędzy generatorem a dłonią chirurga w taki sposób, aby nie dotykały jego ciała). Ekspozycja pozostałych osób spośród personelu medycznego jest relatywnie mała, jeśli nie mają one bezpośredniego kontaktu z kablami. Największa ekspozycja dotyczy kończyny górnej, w której trzymany jest uchwyt elektrody zabiegowej. Poziom ekspozycji jest wyższy przy urządzeniach starszego

typu, które nie wykorzystują rozwiązań spotykanych w nowoczesnych urządzeniach, zmniejszających narażenie pracowników, m.in. ograniczających zapalenie łuku pod elektrodą zabiegową lub utrzymujących potencjał elektrody zabiegowej na stałym poziomie. Rozwiązania te wpływają na zmniejszenie natężenia pól występujących w otoczeniu elektrody zabiegowej i zasilających ją kabli, a w konsekwencji na obniżenie poziomu ekspozycji pracowników. Dostępne są również kable do zasilania elektrod o właściwościach izolacji dobrze chroniącej przed narażeniem na prąd indukowany w przypadku przytrzymywania kabli.

Jeśli tylko zezwala na to rodzaj wykonywanego zabiegu chirurgicznego, istotne zmniejszenie poziomu ekspozycji na pole elektromagnetyczne jest możliwe dzięki wykorzystaniu elektrody bipolarnej.

PIŚMIENNICTWO

- [1] Dyrektywa 2004/40/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 29 kwietnia 2004 r. w sprawie minimalnych wymagań w zakresie ochrony zdrowia i bezpieczeństwa dotyczących narażenia pracowników na ryzyko spowodowane czynnikami fizycznymi (polami elektromagnetycznymi) (osiemnasta dyrektywa szczegółowa w rozumieniu art. 16 ust. 1 dyrektywy 89/391/EWG), OJ. nr L-184, 2004
- [2] K. Gryz, J. Karpowicz *Zagrożenia elektromagnetyczne przy elektrochirurgii – ocena ekspozycji pracowników na pole elektromagnetyczne i prądy indukowane w organizmie*, Roczniki PZH, tom 57, nr 2, 2006, str. 165-175
- [3] IEEE Std C95.1, *Standard for Safety Levels with Respect to Human Exposure to Radio Frequency Electromagnetic Fields, 3 kHz to 300 GHz*. 2005 Edition Published by the Institute of Electrical and Electronics Engineers, New York, USA, 2006

[4] J. Karpowicz *Pola elektromagnetyczne*. W: *Ryzyko zawodowe – Metodyczne podstawy oceny*. Red. W. M. Zawieska, CIOP-PIB, Warszawa 2007

[5] PN-N-18002: 2000. *Systemy zarządzania bezpieczeństwem i higieną pracy. Ogólne wytyczne do oceny ryzyka zawodowego*

[6] 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*

[7] 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 w zakresie częstotliwości 0 Hz – 300 GHz*. DzU nr 217, poz. 1833

[8] J. Skowroń 55. *posiedzenie Międzyresortowej Komisji ds. Najwyższych Dopuszczalnych Stężeń i Natężeń Czynników Szkodliwych dla Zdrowia w Środowisku Pracy*, „Bezpieczeństwo Pracy”, 9(432)2007, str. 30-31

[9] Serwis internetowy: *Pola elektromagnetyczne w środowisku pracy i życia człowieka*. www.wypadek.pl/index.php?site=polaem/info.php&site_em=opr

Publikacja opracowana na podstawie wyników zadania badawczego realizowanego w ramach programu wieloletniego pn. „Dostosowywanie warunków pracy w Polsce do standardów Unii Europejskiej” dofinansowywanego w latach 2005-2007 w zakresie badań naukowych przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego oraz w ramach działalności statutowej przez Ministerstwo Pracy i Polityki Społecznej. Główny koordynator: Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy



17th World Congress on Ergonomics IEA2009 in Beijing International Ergonomics Association



W dniach 9-14 sierpnia 2009 r. w Pekinie (Chiny) odbędzie się siedemnasty kongres Międzynarodowego Stowarzyszenia Ergonomicznego (IEA).

Hasłem kongresu jest **Partnerstwo w ergonomii – zmiany, wyzwania i szanse** (*Partnerships in Ergonomics – Changes, Challenges and Opportunities*), a jego gospodarzami Chińskie Towarzystwo Ergonomiczne wraz z Towarzystwem Ergonomicznym z Tajwanu i z Hong Kongu.

Organizatorzy mają nadzieję, że planowane liczne sesje naukowe, warsztaty, pokazy i spotkania komitetów technicznych stworzą inspirujące forum do dyskusji oraz wymiany dostępnej wiedzy i doświadczenia w zakresie najnowszych badań, teorii i praktyk w dziedzinie ergonomii.

Oczekuje się, że w kongresie uczestniczyć będzie około 2000 delegatów z całego świata, w tym przedstawiciele nauki, środowisk akademickich, przemysłu oraz organów rządowych, co czyni z tego wydarzenia najbardziej kompleksową płaszczyznę nawiązywania kontaktów i partnerstwa międzysektorowego wśród osób i instytucji zajmujących się kwestiami związanymi z miejscem pracy, środowiskiem, szkołą i domem.

Więcej informacji można znaleźć na stronach:
<http://www.iea2009.org>