

# Zasady modelowania zagrożeń elektromagnetycznych

## Modelowanie ciała pracownika



Zagrożenia elektromagnetyczne w środowisku pracy mogą być analizowane z wykorzystaniem symulacji komputerowych. Zastosowanie realistycznego modelu ciała pracownika jest jednym z najistotniejszych elementów tego typu analizy. Realistyczny ergonomicznie model CIOP-MAN opracowano do analizy zagrożeń pracowników. Wymiary geometryczne modelu zharmonizowano z danymi ergonomicznymi dorosłej populacji polskiej. Pozycja ciała modelu CIOP-MAN może być dopasowana do charakterystyki czynności zawodowych wykonywanych przez pracownika. W artykule zaprezentowano zasady modelowania zagrożeń elektromagnetycznych, podstawowe modele ludzi stosowane przy modelowaniu numerycznym oraz przykładowe rezultaty symulacji wykonanych z wykorzystaniem różnych modeli ciała pracownika do oceny miar wewnętrznych ekspozycji na pola elektromagnetyczne. Przeanalizowano także użyteczność poszczególnych modeli.

### The principles of electromagnetic hazards modelling. Worker's body modelling

Electromagnetic hazards in the workplace can be analysed with numerical simulations. The use of a realistic model of a worker plays a very important role in that context. An ergonomically realistic model CIOP-MAN was compiled for an analysis of hazards workers are exposed to. The dimensions of CIOP-MAN are harmonised with ergonomics data for Poland's adult population. The posture of the CIOP-MAN model can be adjusted according to the characteristics of a worker's occupational activities. The paper presents the principles of electromagnetic hazards modelling, human body models commonly used for numerical modelling and sample results of simulations executed with various human body models to assess the internal measures of electromagnetic exposure. The usefulness of specific models is analysed.

## Wprowadzenie

W środowisku pracy wykorzystywane są liczne urządzenia wytwarzające silne pola elektromagnetyczne [1]. Jeżeli pracownik przebywa bezpośrednio przy takim urządzeniu, niezbędna jest okresowa kontrola i ocena ekspozycji. Za miarę wielkości narażenia na pola elektromagnetyczne przyjmuje się wartości natężeń pól elektrycznych i magnetycznych pierwotnych, tzn. występujących na stanowiskach pracy pod nieobecność człowieka (tzw. miar zewnętrznych) [2, 3, 4]. Miarami wewnętrznymi są skutki ekspozycji wewnątrz ciała – gęstość zaindukowanych prądów oraz skutki termiczne charakteryzowane tzw. współczynnikiem SAR (*Specific Absorption Rate*). Wielkość miar wewnętrznych ekspozycji jest uzależniona m.in. od jednorodności pola w obszarze, w którym człowiek przebywa, ustawienia osoby eksponowanej względem kierunku polaryzacji pola, rozmiarów i usytuowania przedmiotów metalowych deformujących rozkład pola, wymiarów i kształtu ciała człowieka, pozycji w jakiej wykonuje czynności zawodowe, parametrów izolacji elektrycznej ciała człowieka względem zerowego potencjału elektrycznego.

Ze względu na złożoność oddziaływania pól na eksponowanych ludzi oraz przewodzące

struktury znajdujące się na stanowiskach pracy, korelacja pomiędzy efektami elektrodynamicznymi wewnątrz ciała człowieka a wielkością miar zewnętrznych charakteryzujących warunki ekspozycji nie jest jednoznaczna [1]. Z tego powodu **miary wewnętrzne są bardziej obiektywnymi parametrami zagrożeń powodowanych przez pole elektromagnetyczne**. Badania odnoszące się do modelowania i oceny miar wewnętrznych prowadzone są głównie na potrzeby oceny skutków ekspozycji powodowanej przez użytkowanie telefonów komórkowych i dotyczą najczęściej ekspozycji głowy na promieniowanie emitowane z anteny terminala trzymanego w dłoni. Stąd też istnieje potrzeba rozwoju modeli do analizy zagrożeń elektromagnetycznych występujących przy innych źródłach pól elektromagnetycznych, a szczególnie przy urządzeniach przemysłowych będących źródłem silnych pól [5].

## Modelowanie zagrożeń elektromagnetycznych

Modelowanie do oceny miar wewnętrznych wymaga opracowania modelu reprezentującego źródło pola, ciało pracownika i środowisko pracy, wykonania symulacji z wykorzystaniem odpowiedniego programu komputerowego oraz analizy uzyskanych

mgr inż. PATRYK ZRADZIŃSKI  
dr inż. JOLANTA KARPOWICZ  
dr hab. inż. DANUTA ROMAN-LIU  
dr inż. KRZYSZTOF GRYZ

Centralny Instytut Ochrony Pracy  
– Państwowy Instytut Badawczy

danych odnośnie do rozkładu pól elektrycznych i magnetycznych w rozpatrywanym środowisku i jego elementach, w tym wewnątrz ciała pracownika. Wykorzystuje się do tego celu specjalistyczne oprogramowanie, przede wszystkim oparte na metodzie różnic skończonych w dziedzinie czasu FDTD (*Finite-Difference Time-Domain*) – w przypadku wielkich częstotliwości lub MES/FEM (*Metoda Elementów Skończonych/ Finite Element Method*) – w przypadku małych częstotliwości [5, 6, 7].

## Modelowanie źródła pola elektromagnetycznego

Model źródła pola elektromagnetycznego powinien zapewniać odtworzenie rozkładu przestrzennego pola w obszarze, w którym przebywa pracownik, reprezentując:

- geometrię elementów źródła zasilanych energią elektryczną
- pobudzenia elektryczne związane z wytwarzaniem pola elektromagnetycznego
- przewodzące elementy źródła pola i przesłoni stanowiska pracy, kształtujące rozkład pola elektromagnetycznego w otoczeniu źródła
- elementy izolacyjne kształtujące wielkość sprzężeń pojemnościowych źródła z pracownikiem i elementami otoczenia oraz wielkość zaindukowanych w organizmie pracownika skutków ekspozycji.

## Modelowanie ciała pracownika

Przy symulacjach oddziaływania pola elektromagnetycznego na organizm człowieka stosuje się różnorodne modele, o stopniu skomplikowania uzależnionym od rodzaju analizowanego problemu i możliwości wykonania symulacji (moc obliczeniowa komputera, oprogramowanie symulacyjne, akceptowalna czasochłonność rozwiązywania zadania). Modele powinny uwzględniać:

- właściwości bioelektryczne organizmu człowieka
- pozycję ciała człowieka przy wykonywaniu różnorodnych czynności w polu elektromagnetycznym
- stopień odizolowania elektrycznego człowieka od podłoża.

W symulacjach używane są zarówno stonkuno proste modele jednorodne (np. model walcowy, elipsoidalny, sferyczny lub modele człekopodobne) w przypadku quasi-jednorodnej ekspozycji całego ciała, jak i modele ze szczegółową dyskretyzacją, uwzględniające realistycznie budowę anatomiczną poszczególnych części ciała przy rozpatrywaniu ekspozycji miejscowej i wyznaczaniu lokalnego SAR oraz gęstości zaindukowanego prądu. Mogą to być modele głowy (do analizy oddziaływania pola pochodzącego od telefonów komórkowych), całego ciała z uwzględnieniem zróżnicowanych kształtów modeli kobiet i mężczyzn lub ciała ludzkiego w ruchu. Modele mogą być jednorodne lub uwzględniać zróżnicowane parametry elektryczne tkanek ciała ludzkiego oraz zmienność ich wartości przy różnych częstotliwościach [5].

**Parametry elektryczne ciała człowieka**

Parametry elektryczne poszczególnych tkanek i narządów ciała człowieka (względna przenikalność elektryczna  $\epsilon$ , i przewodność elektryczna  $\sigma$ ) zostały wyznaczone eksperymentalnie [8, 9]. Parametry te zmieniają się wraz z częstotliwością pola elektromagnetycznego (względna przenikalność elektryczna maleje, a przewodność elektryczna rośnie wraz ze wzrostem częstotliwości, tab. 1.) oraz z wiekiem i stanem zdrowia ludzi. Przy symulacjach powszechnie stosuje się jednak uśrednione dane odpowiadające dorosłym, zdrowym osobom. W przypadku modeli jednorodnych wartości parametrów elektrycznych są stałe dla całego modelu, najczęściej odpowiadające parametrom tkanki mięśniowej lub o wartości pośredniej między tkanką mięśniową a tłuszczową, wybranej jako średnia ważona z proporcjami odpowiadającymi zawartości tych tkanek w organizmie.

**Pozycja ciała człowieka**

Modelowanie ciała człowieka zwykle opiera się na danych pochodzących z atlasów antropometrycznych, norm lub podobnych źródeł. Są to dane opisujące najczęściej podstawowe wymiary charakteryzujące ciało mężczyzny i kobiety, w podziale na centyle (np. 5., 50., 95.), (rys. 1.). W modelowaniu uwzględnia się takie wybrane cechy ciała ludzkiego, jak: wysokość ciała, wymiary kończyn, głowy, tułowia, przekrojów różnych części ciała, odległości, np. od podłoża, a także takie dane dynamiczne, jak: zasięgi kończyn górnych oraz zakresy kątowe ruchów poszczególnych części ciała w typowych pozycjach,

np. siedzącej ze zgiętymi w łokciach kończynami górnymi. Każda część ciała może być modelowana przez odpowiednio dobraną i zwiarowaną prostą bryłę, np. kulę, prostopadłościan, elipsoidę czy różnego rodzaju bryły obrotowe.

**Izolacja elektryczna ciała człowieka od podłoża**

Przy modelowaniu odnoszącym się do rzeczywistych warunków ekspozycji pracowników na pole elektromagnetyczne powinny zostać uwzględnione także warunki kontaktu elektrycznego ciała człowieka z potencjałem odniesienia. Skrajne przypadki to pracownik uziemiony na skutek dotykania dowolną częścią ciała (np. dłoń) do przewodzących elementów otoczenia (konstrukcji metalowej) lub pracownik izolowany od przewodzącego podłoża (np. na skutek stosowania izolacyjnych gumowych dywaników dielektrycznych, obuwia lub rękawic dielektrycznych). Wyniki wykonanych symulacji i ocena gęstości prądu indukowanego w modelach jednobryłowych oraz pomiary laboratoryjne tzw. prądu stóp wykazały, że rodzaj izolacji ciała pracownika od podłoża zmienia wartości prądu indukowanego co najmniej 3-4-krotnie [11, 12]. Potwierdza to konieczność uwzględnienia tego elementu w modelach środowiska pracy i pracownika.

**Modele ciała pracownika i wykonywanych przez niego czynności**

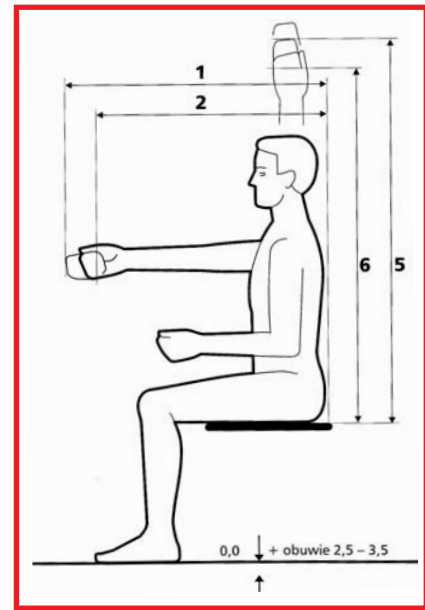
Najbardziej popularne modele anatomiczne używane w symulacjach numerycznych to NORMAN; HUGO; VIP-man; SEMCAD EMWB-1 – Whole Body Adult Male Phantom; Remcom – modele ciała mężczyzny i kobiety (High fidelity Male and Female Body Mesh); model Brooks Air Force oraz modele typowego Japończyka i Japonki [5]. Są to modele o anatomicznej geometrii i możliwości wykorzystania zróżnicowanej struktury wewnętrznej, z rozróżnieniem kilkudziesięciu różnych rodzajów tkanek i rozdzielczością rzędu pojedynczych milimetrów. Omówione modele anatomiczne są najczęściej przystosowane do obliczeń w zakresie częstotliwości radiowych (zakres MHz i GHz) i oferowane są ze zbiorem parametrów elektrycznych dla tego zakresu częstotliwości. Wykonanie obliczeń odnoszących się do mniejszych częstotliwości wymaga modyfikacji parametrów materiałowych tych modeli. W zakresie małych częstotliwości bardzo często wykorzystuje się również modele uproszczone geometrycznie, jednorodne materiałowo itd.

Tabela 1

PRZENIKALNOŚĆ ELEKTRYCZNA WZGLĘDNA I PRZEWODNOŚĆ ELEKTRYCZNA TKANKI MIĘŚNIOWEJ, TŁUSZCZOWEJ I KOSTNEJ CIAŁA CZŁOWIEKA [8, 9]

Relative electric permittivity and conductivity of muscle, fat and bone tissues of humans [8, 9]

Rodzaj tkanki	Względna przenikalność elektryczna $\epsilon_r$ , przy częstotliwości				Przewodność elektryczna $\sigma$ , s/m, przy częstotliwości			
	0,1 MHz	1 MHz	10 MHz	100 MHz	0,1 MHz	1 MHz	10 MHz	100 MHz
Mięśniowa	1853	411,1	149,2	66,4	0,5614	0,5900	0,6722	0,7536
Tłuszczowa	95,35	24,74	13,8	6,1	0,0262	0,0267	0,0292	0,0363
Kostna	240	208,6	36,77	15,28	0,02	0,0305	0,0428	0,0643



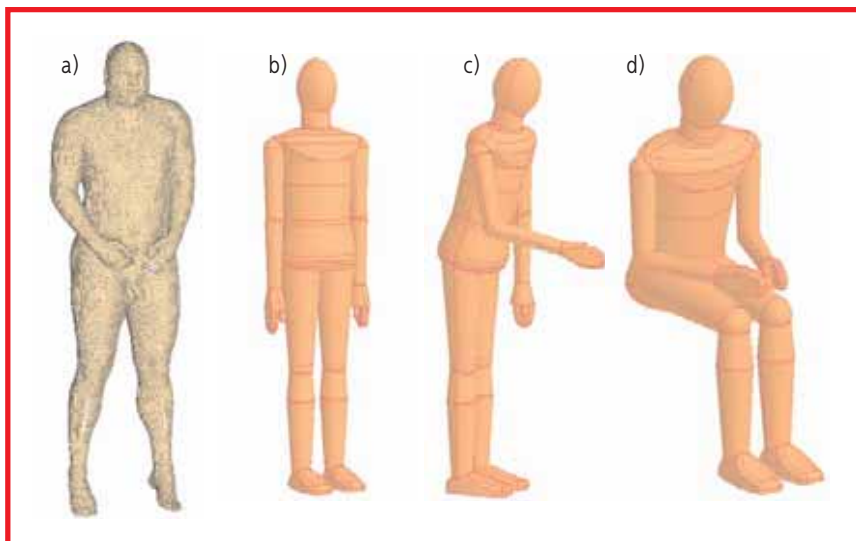
Rys. 1. Przykład opisu ciała człowieka [10]

Fig. 1. Sample human body description [10]

Oprócz modeli odzwierciedlających anatomiczną budowę ludzkiego ciała, w obliczeniach numerycznych może być istotne wykorzystywanie modeli o adekwatnej do rzeczywistości pozycji ciała. Obecnie, spośród wymienionych modeli jedynie model Remcom może zmieniać położenie ciała (model typu *flexible*), natomiast nie jest on dostosowany do współpracy z różnymi programami symulacyjnymi. Pozostałe modele odwzorowują stojącego, wyprostowanego człowieka.

**Model realistyczny ergonomicznie CIOP-MAN**

W związku z omówionymi ograniczeniami, w celu uwzględnienia zmian pozycji ciała człowieka przy wykonywaniu różnych czynności w czasie obsługi urządzenia i ekspozycji na pole elektromagnetyczne, opracowano rodzinę jednorodnych modeli człekopodobnych o realistycznej pozycji ciała (przykłady prezentuje rys. 2b-d), nazwanych modelami CIOP-MAN. Podstawowe modele CIOP-MAN zostały opracowane na podstawie danych dotyczących 50-centylowego ciała mężczyzny, przedstawionych w „Atlasie miar człowieka” [10]. Podstawowe wymiary modelu to: wysokość ciała – 174,8 cm, wysokość barkowa – 143,3 cm, szerokość barkowa – 45,3 cm, głębokość klatki piersiowej 24,2 cm, długość kończyny górnej 79,1 cm. Rodzina modeli uwzględnia również inne wymiary poszczególnych modeli. Model CIOP-MAN charakteryzują stopnie swobody położenia geometrycznego zbliżone do stopni swobody pozycji ciała pracownika, co umożliwia analizę zagrożeń elektromagnetycznych przy obsłudze różnych źródeł pól przy uwzględnieniu realistycznej pozycji modelu ciała pracownika. Uwzględniono wiele anatomicznych wymiarów ciała ludzkiego zarówno w pozycji stojącej, jak i siedzącej, w tym bardzo ważne przy modelowaniu obsługi urządzeń różnego rodzaju zasięgi,



Rys. 2. Modele ciała człowieka – HUGO (a) i CIOP-MAN w pozycji stojącej wyprostowanej (b), pochylonej (c) i pozycji siedzącej pochylonej (d)

Fig. 2. Human body models – HUGO (a) and CIOP-MAN in straight standing posture (b), bending forward standing posture (c), and bending forward sitting posture (d)

jak zasięg przedni przy kończynie górnej wyprostowanej czy zasięg przedni do osi uchwytu dłoni. W modelowaniu uwzględniono ułożenie kończyn górnych w innych pozycjach niż wyprostowane, np. zgięte w łokciu, tak aby w jak najlepszym stopniu oddać pozycję pracownika podczas wykonywania pracy. W modelowaniu ciała człowieka uwzględniona została także możliwość zamodelowania obuwia, które w znaczącym stopniu wpływa na wartości miar wewnętrznych skutków ekspozycji na pola elektromagnetyczne.

### Symulacje numeryczne zagrożeń elektromagnetycznych

Liczne badania prezentowane w literaturze wykonano z zastosowaniem modelu człowieka – HUGO (rys. 2a), traktowanym często jako standardowa baza danych. Model HUGO (*The Professional Anatomical Data Set*) reprezentuje stojącego mężczyznę o wzroście 1,86 m i masie 104 kg lub 128 kg (zależnie od wybranych tkanek modelu), przy największej rozdzielczości 1x1x1 mm uwzględnia około 40 rodzajów tkanek. W związku z tym wykorzystano go w prezentowanych symulacjach jako model referencyjny.

Do oceny istotności różnych parametrów modeli ciała pracownika przeprowadzono symulacje numeryczne ekspozycji na pole elektromagnetyczne o częstotliwości 27 MHz. Zasympulowano jednorodne pole elektromagnetyczne jako falę płaską o pionowej polaryzacji składowej elektrycznej *E*. W prezentowanych symulacjach wykorzystano następujące modele ciała pracownika:

- model walcowy (wysokość 186 cm, średnica 40 cm)
- model HUGO
- model CIOP-MAN stojący wyprostowany

– model CIOP-MAN siedzący ze zgiętymi kończynami górnymi oraz dłońmi i przedramionami ułożonymi poziomo.

Wysokość wszystkich modeli przeskalowano tak, aby miały wzrost modelu HUGO – 186 cm.

Wszystkie modele zostały uwzględnione kolejno przy różnych warunkach kontaktu z podłożem: model izolowany (umieszczony swobodnie w powietrzu lub izolowany modelem obuwia gumowego o grubości 4 cm) oraz model uziemiony elektrycznie (znajdujący się na podłożu o potencjale elektrycznym „0”).

Do przeanalizowania wyników symulacji wybrano: SAR uśredniony w całym modelu oraz w głowie, tułowie lub nogach. Przykładowe wyniki zaprezentowano na rys. 3. i 4. oraz w tabeli 2.

### Podsumowanie

Zaprezentowane wyniki symulacji pokazują możliwość przeprowadzenia przy użyciu modeli CIOP-MAN analizy rozkładu skutków ekspozycji na pola elektromagnetyczne w poszczególnych częściach ciała pracownika, np. rozkłady względne w głowie, tułowie i nogach. Przedstawione na rys. 3. zestawienie rezultatów obliczeń uzyskanych przy zastosowaniu różnych modeli ciała pracownika pokazuje, że model CIOP-MAN, wykorzystany w pozycji porównywalnej do modelu referencyjnego HUGO, daje porównywalne wyniki symulacji odnośnie do rozkładu pochłoniętej energii pola elektromagnetycznego w poszczególnych częściach ciała. Rozkład względny SAR w poszczególnych częściach ciała (tzn. głowa/tułów/nogi), uzyskany w prezentowanych symulacjach z modelem HUGO i CIOP-MAN stojący, jest również zgodny z danymi publikowanymi na podstawie innych symulacji lub badań laboratoryjnych [12, 13]. Potwierdza to użyteczność modelu CIOP-MAN. Natomiast model walcowy nie daje takiej zgodności i jego zastosowanie do tego typu analiz nie jest akceptowalne.

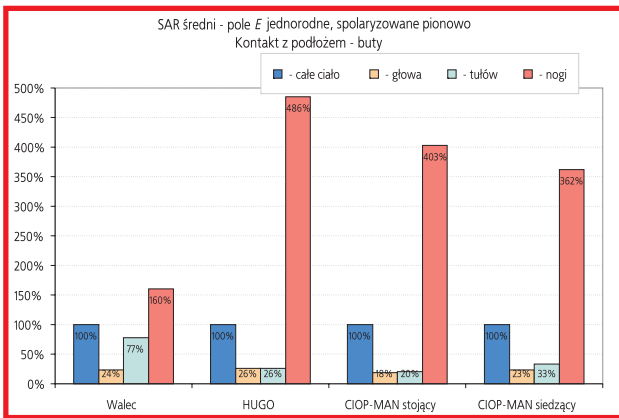
Wprowadzie model CIOP-MAN istnieje obecnie jako model jednorodny, jednakże jego wielką przewagą nad modelem HUGO stanowi możliwość modyfikowania pozycji ciała modelu, a przez to uzyskanie realistycznych modeli dla różnych czynności pracownika przy źródle pola. Pracownik przebywa zwykle blisko źródła pola elektromagnetycznego, najczęściej w różnych pozycjach siedzących. Wyniki symulacji zaprezentowane na rys. 3. i 4. pokazują jednoznacznie, że nawet w przypadku ekspozycji na pole jednorodne (wybrane do prezentowanej analizy), zarówno wielkość miar wewnętrznych, jak i rozkład w poszczególnych częściach ciała, istotnie zależą od pozycji ciała modelu. W przypadku ekspozycji przy bardziej realistycznych modelach źródła pola niejednorodnego, zależność rozkładu miar wewnętrznych od pozycji ciała pracownika będzie znacznie silniejsza. Ani model walcowy, ani model HUGO nie umożliwiają przeprowadzenia takiej analizy. Natomiast do analizy zależności SAR uśred-

Tabela 2

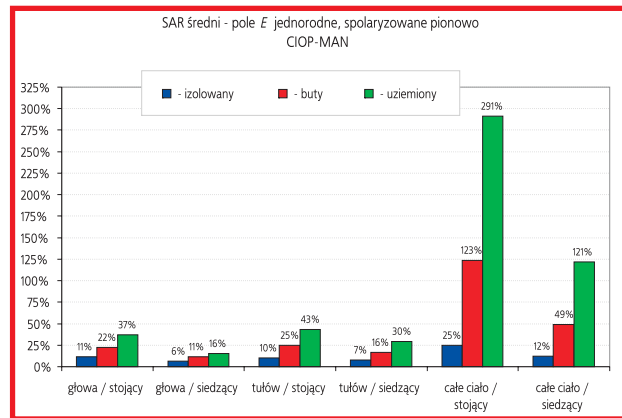
SAR UŚREDNIONY W ANALIZOWANYCH MODELACH – WARTOŚCI WZGLĘDNE, JAKO 100% PRZYJĘTO SAR UŚREDNIONY DLA CAŁEGO MODELU, DLA KAŻDEGO MODELU ODDZIELNIE

SAR averaged over analysed models – relative values, 100% means SAR averaged over whole model, for each model separately

Rodzaj modelu	Rodzaj kontaktu z podłożem	SAR średni, %		
		analizowana część ciała		
		głowa	tułów	nogi
Model walcowy	izolowany	56	119	78
	buty	24	77	160
	uziemiony	18	73	160
Model HUGO	izolowany	46	41	366
	buty	26	26	486
	uziemiony	19	20	571
Model CIOP-MAN stojący	izolowany	46	41	247
	buty	18	20	403
	uziemiony	13	15	437
Model CIOP-MAN siedzący	izolowany	53	62	229
	buty	23	33	362
	uziemiony	13	24	395



Rys. 3. SAR uśredniony w analizowanych modelach – wartości względne, jako 100% przyjęto SAR uśredniony dla całego modelu, dla każdego modelu oddzielnie  
 Fig. 3. SAR averaged over analysed models – relative values, 100% means SAR averaged over whole model, for each model separately



Rys. 4. SAR uśredniony w modelu CIOP-MAN – wartości względne, jako 100% przyjęto SAR uśredniony dla modelu walcowego/uziemiennego  
 Fig. 4. SAR averaged over CIOP-MAN model – relative values, 100% means SAR averaged over whole cylindrical grounding model

nionego w całym modelu od warunków kontaktu modelu z podłożem można zaakceptować zarówno zastosowanie modelu walcowego, jak i prezentowanych modeli anatomicznych. We wszystkich przypadkach modeli stojących, uzyskana zależność od rodzaju kontaktu z podłożem jest zbliżona do danych eksperymentalnych [11, 12].

Przeprowadzone badania wskazują, że dozymetria komputerowa może być wygodną i skuteczną metodą oceny zagrożeń elektromagnetycznych występujących w środowisku pracy z wykorzystaniem miar wewnętrznych. Modelowanie numeryczne może być czasami jedyną możliwością stosunkowo wiarygodnego oszacowania wielkości ekspozycji i jej oceny ze względu na bezpieczeństwo i higienę pracy, np. kiedy pracownik znajduje się w bardzo małej odległości od elementów źródła pola elektromagnetycznego (mniejszej od ok. 10 cm) lub bezpośrednio dotyka go swoim ciałem. Przeprowadzone analizy wskazują jednak, że dokonanie obliczeń wymaga dobrej znajomości odwzorowywanej sytuacji, posiadania niezbędnych informacji w celu właściwego zdefiniowania rozpatrywanego problemu oraz weryfikacji wiarygodności uzyskanych wyników symulacji. Wyniki obliczeń numerycznych nie mogą być przyjmowane bezkrytycznie do przeprowadzenia oceny ekspozycji pracowników czy rozpatrywanych zjawisk związanych z oddziaływaniem pola elektromagnetycznego na środowisko pracy.

Zastosowanie uproszczeń w modelu numerycznym może być wystarczająco dokładne z punktu widzenia bezpieczeństwa i higieny pracy, do dokonania oceny ekspozycji środowiska na pola elektromagnetyczne. Wybór stopnia uproszczenia zależy jednak w każdym przypadku od rozwiązywanego problemu i jest kompromisem pomiędzy precyzją związaną z tworzeniem modelu, czasem symulacji oraz możliwościami dostępnego oprogramowania i wyposażenia komputerowego a rodzajem wyników, które są niezbędne do przeprowadzenia adekwatnej oceny ekspozycji. Podobnie, zastosowanie różnego rodzaju metod obliczeniowych może prowadzić do podobnych wyników. Nie jest zatem potrzebna unifikacja

narzędzi obliczeniowych. W celu przeanalizowania określonego typu problemu konieczne jest odpowiednie zamodelowanie analizowanej sytuacji – uwzględnienie geometrii źródła pola i rodzaju wymuszenia oraz obecności elementów środowiska pracy wpływających na wynik obliczeń, parametrów materiałowych, a także odpowiednie zdefiniowanie warunków brzegowych w utworzonym modelu numerycznym. W celu uzyskania wiarygodnych wyników obliczeń pożądane jest – na etapie tworzenia modelu – sprawdzenie jego poprawności i ustalenie, czy odzwierciedla on z niezbędną precyzją modelowaną sytuację rzeczywistą, tak aby wyniki odpowiadały z akceptowalną dokładnością sytuacji rzeczywistej.

Ze względu na omówione ograniczenia, modelowanie komputerowe zagrożeń elektromagnetycznych oraz ocena poziomu ekspozycji pracowników na podstawie wyników modelowania, to zadania specjalistyczne i możliwe do wykonania jedynie przez nieliczne zespoły. Zatem nie jest możliwe powszechne stosowanie tej metody oceny ekspozycji, jak to ma miejsce w przypadku pomiarów miar zewnętrznych.

PIŚMIENNICTWO

[1] Gryz K., Karpowicz J. *Pola elektromagnetyczne w środowisku pracy*. Monografia z serii: „Zarządzanie bezpieczeństwem i higieną pracy”. Red. nauk. D. Koradecka. CIOP, Warszawa 2000  
 [2] Directive 2004/40/EC of the European Parliament and of the Council on the minimum health and safety requirements regarding the exposure of workers to the risks arising from physical agents (electromagnetic fields) (18th individual Directive within the meaning of Article 16(1) of Directive 89/391/EEC (O.J. nr L-184, 24.05.2004)  
 [3] ICNIRP (International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection, International Radiation Protection Association): Guidelines for Limiting Exposure to Time-Varying Electric, Magnetic, and Electromagnetic Fields (up to 300 GHz)”, Health Physics, vol. 74, No. 4 (April), pp. 494-522, 1998

[4] Karpowicz J., Gryz K. *Nowa dyrektywa dotycząca ekspozycji zawodowej na pola elektromagnetyczne – 2004/40/EC*, „Bezpieczeństwo Pracy” 11(400)2004

[5] Karpowicz J., Gryz K., Zradziński P. *Implementacja realistycznego modelu ciała człowieka w badaniach warunków ekspozycji zawodowej na pola elektromagnetyczne, Etap I. Zadanie badawcze nr 1.A.02 programu wieloletniego pn. Dostosowywanie warunków pracy w Polsce do standardów Unii Europejskiej etap II, Część A. Program realizacji badań naukowych i prac rozwojowych*, CIOP-PIB, Warszawa 2005 (praca niepublikowana)

[6] IEEE Recommended Practice for Measurements and Computations of Radio Frequency Electromagnetic Fields With Respect to Human Exposure to Such Fields, 100 kHz–300 GHz. New York, Edition Published by the Institute of Electrical and Electronics Engineers, Std C95.3, 2002

[7] prEN 50413:200X *Basic standard on measurement and calculation procedure for human exposure to electric, magnetic and electromagnetic fields* (0 Hz – 300 GHz), November 2003

[8] Gabriel C. *Compilation of the Dielectric Properties of Body Tissues at RF and Microwave Frequencies*, Brooks Air Force Technical Report AL/OE-TR-1996-0037, 1996 <http://www.fcc.gov/cgi-bin/dielec.sh>

[9] The International EMF Dosimetry Handbook, <http://www.emfdosimetry.org>.

[10] Gedliczka A. *Atlas miar człowieka – Dane do projektowania i oceny ergonomicznej*. CIOP, Warszawa 2001

[11] Gryz K., Karpowicz J., Wincenciak S. *Ograniczanie prądu indukowanego w ciele ekspozowanego w polu elektrycznym człowieka – badania doświadczalne i obliczenia numeryczne*, Materiały XII Zjazdu Polskiego Towarzystwa Badań Radiacyjnych im. M. Skłodowskiej-Curie, Kraków, 2001.09.10-12, str. 87-88, 2001

[12] Wilen J., Mild K.H., Paulsson L.E., Anger G. *Induced current measurements in whole body exposure condition to radio frequency electric fields*, „Bioelectromagnetics”, vol. 22, no. 8, 560-567, 2001

[13] Chen J.-Y., Gandhi Om P. *RF currents induced in an anatomically-based model of a human for plane-wave exposures* (20-100) MHz, „Health Physic”, vol. no 1 (July), pp. 89-98, 1989

Publikacja opracowana na podstawie wyników uzyskanych w ramach programu wieloletniego pn. „Dostosowywanie warunków pracy w Polsce do standardów Unii Europejskiej” dofinansowanego w zakresie badań naukowych przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego. Główny koordynator: Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy