

# Metodyka oceny jednoczesnego oddziaływania czynników elektromagnetycznych i biomechanicznych na pracowników obsługujących podwieszane zgrzewarki rezystancyjne

Methodology for combined assessment of electromagnetic and biomechanical factors affecting workers operating suspended gun for resistance welding

Patryk Zradziński, Danuta Roman-Liu

Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy, 00-701 Warszawa, ul. Czerniakowska 16, tel. +48 (0) 22 623 46 46, e-mail: pazra@ciop.pl

## Streszczenie

Przedstawiono problematykę związaną z jednoczesnym narażeniem pracowników obsługujących rezystancyjne zgrzewarki podwieszane na czynniki elektromagnetyczne i biomechaniczne. Omówiono metodykę oceny narażenia na pola elektromagnetyczne z wykorzystaniem symulacji numerycznych do analizy wartości gęstości prądu indukowanego oraz obciążenia biomechanicznego kręgosłupa i kończyn górnych, a także ich łącznej oceny w oparciu o wskaźnik łącznego ryzyka R.

**Słowa kluczowe:** pole elektromagnetyczne, zgrzewarki rezystancyjne, symulacje numeryczne, obciążenie układu mięśniowo-szkieletowego, ocena ryzyka

## Abstract

The problems of combined electromagnetic and biomechanical risk factors affecting workers operating suspended gun for resistance welding, are discussed in this paper. Methodology for electromagnetic risk assessment using numerical calculations of induced current density and for evaluation of biomechanical load of spine and upper limbs, is proposed. The special risk index RI was introduced, which defines the risk resulted from both – electromagnetic exposure, as well as biomechanical loading.

**Key words:** electromagnetic fields, resistance welders, numerical calculations, musculoskeletal system load, risk assessment

## Wprowadzenie

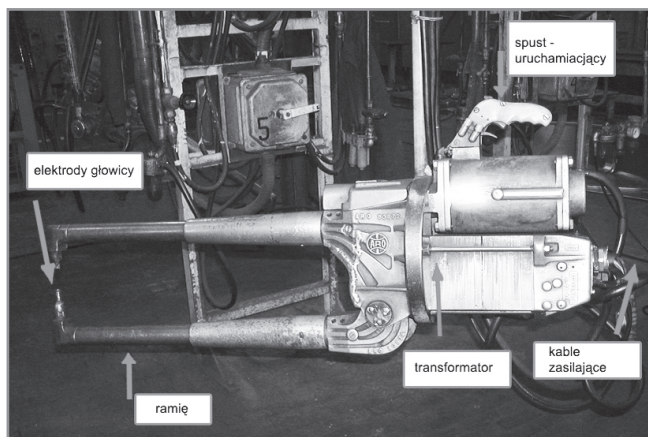
Wykonywanie pracy zawodowej bywa związane z różnorodnymi zagrożeniami pracowników, takimi jak nadmierne obciążenie fizyczne skutkujące różnego typu schorzeniami mięśni, ścięgien i więzadeł oraz nadmierna ekspozycja na pola elektromagnetyczne, występująca w otoczeniu urządzeń elektrycznych, skutkująca przepływającym w organizmie zaindukowanym prądem elektrycznym, co może prowadzić między innymi do dysfunkcji układu nerwowego lub sercowo-naczyniowego, a nawet zwiększać zagrożenie nowotworami.

Ręczna obsługa przemysłowych urządzeń wytwarzających pola elektromagnetyczne, takich jak podwieszane zgrzewarki rezystancyjne, może być związana nie tylko z narażeniem na pole elektromagnetyczne, ale także z nadmiernym obciążeniem układu mięśniowo-szkieletowego. Dotychczasowe ergonomiczne rozwiązania stanowisk pracy zakładają minimalizację obciążenia układu mięśniowo-szkieletowego pracownika, z uwzględnieniem jego pozycji przy pracy, oddziałującej siły zewnętrznej oraz czasu oddziaływania tych czynników. Pozycja ciała określana jest poprzez wartości kątów w głównych stawach ludzkiego ciała (np. łokciowym, barkowym, kolanowym, skokowym). Przyjmuje się, iż najmniej obciążającą pozycją ciała jest pozycja „na baczność”, nazywana pozycją naturalną. Pozycja taka opisywana jest zerowymi wartościami wszystkich kątów w głównych stawach ludzkiego ciała. Im większe są wartości kątów, tym większe jest obciążenie układu mięśniowo-szkieletowego. Oznacza to, iż czynności pracy, z uwzględnieniem minimalizacji obciążenia biomechanicznego, powinny być wykonywane przy operowaniu urządzeniem znajdującym się jak najbliżej ciała. Natomiast narażenie na pole elektromagnetyczne wytwarzane przez takie urządzenie zmniejsza się wraz ze wzrostem tej odległości. W związku z tym przy ustalaniu sposobu wykonywania takiej pracy występują przeciwstawne wymagania BHP. Oznacza to potrzebę poszukiwania takich rozwiązań, które umożliwią minimalizację zagrożeń związanych z łącznym oddziaływaniem czynników biomechanicznych i elektromagnetycznych.

## Metoda badań

### Obiekt badań

Przenośne rezystancyjne zgrzewarki punktowe wykorzystywane są do bezpiecznego łączenia elementów metalowych poprzez nagrzewanie miejsca styku przepływającym prądem małej częstotliwości (50 Hz). Natężenie prądu zgrzewającego może przekraczać kilkanaście kA. Wykorzystywane w przemyśle zgrzewarki rezystancyjne to urządzenia o dużych gabarytach, a przede wszystkim masie, dlatego też są one podwieszane z wykorzystaniem specjalnie zaprojektowanych systemów. Podwieszana może być zarówno sama głowica zgrzewarki, jak i kable oraz układ sterujący wraz z transformatorem.



Fot. 1 Podwieszana zgrzewarka rezystancyjna – elementy składowe

Podstawowe elementy głowicy zgrzewarki rezystancyjnej podwieszanej (fot. 1) to: elektrody, ramiona, w których zamocowane są elektrody, elementy systemu zaciskającego elektrody na zgrzewanych elementach (pneumatyczne lub hydrauliczne), elementy układu chłodzącego, kable zasilające, wbudowany transformator (w niektórych przypadkach transformator znajduje się poza głowicą zgrzewarki), kable zasilające, spust umieszczony w rękojeści uruchamiający zaciśnięcie elektrod, a następnie proces zgrzewu oraz uchwyty ułatwiające operowanie narzędziem.

### Zagrożenia podczas pracy z rezystancyjną zgrzewarką podwieszaną

Podczas obsługi zgrzewarki podwieszanej pracownik bardzo często przytrzymuje ramiona zgrzewarki z zamocowanymi elektrodami bezpośrednio w dłoniach i dotyka tułowiem do głowicy zgrzewarki, wskutek tego różne partie ciała podlegają ekspozycji na silne pole magnetyczne.

Przy wykonywaniu zgrzewu pracownik, trzymając w dłoniach głowicę zgrzewarki, przesuwa ją, w celu ustawienia w miejscu zgrzewu, i uruchamia automatyczny docisk elektrod do elementów metalowych oraz uruchamia proces zgrzewu, tj. uruchamia przepływ prądu wytwarzającego pole magnetyczne w otoczeniu obwodu elektrycznego tworzonego przez elektrody i przewody zasilające po wysokoprądowej stronie transformatora. W zależności od potrzeb czynność ta jest powtarzana od kilku do kilkudziesięciu razy przy poszczególnych elementach. Z tego względu część prac z wykorzystaniem zgrzewarki rezystancyjnej podwieszanej w ocenie obciążenia układu mięśniowo-szkieletowego można zakwalifikować jako pracę powtarzalną. Położenie punktu zgrzewu oraz wymiary geome-



Fot. 2 Typowa pozycja ciała pracownika obsługującego zgrzewarkę rezystancyjną podwieszaną

tryczne głowicy zgrzewarki wymuszają na pracownikach przyjmowanie różnorodnych pozycji ciała, co w połączeniu ze znaczną masą głowicy może nadmiernie obciążać układ mięśniowo-szkieletowy.

Zwykle podczas procesu zgrzewania odległość między głową pracownika a elektrodami wynosi ok. 60-120 cm, natomiast odległość tułowia (okolice pasa) i elektrod zawiera się w przedziale 40-100 cm. W skrajnych przypadkach pracownik może dotykać tułowiem do elementów głowicy zgrzewarki (fot. 2). Odległości te zależą od gabarytów zgrzewarki (głównie długości ramion), pozycji przyjętej przez pracownika w trakcie wykonywania zgrzewu (lokalizacji punktu zgrzewu), a także od wysokości i zasięgu rąk pracownika.

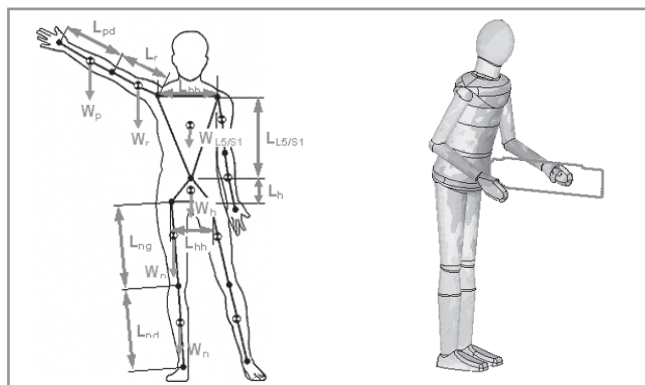
### Symulacje numeryczne zagrożeń elektromagnetycznych

Istnieje wiele metod numerycznych i odpowiadających im komercyjnych pakietów programów do symulacji numerycznej pola elektromagnetycznego, z których każdy ma ograniczenia dotyczące jego stosowania. Wszystkie te metody bazują na różnego rodzaju formach równań Maxwella opisujących podstawowe prawa fizyczne odnoszące się do pola elektromagnetycznego [1, 2].

Do symulacji numerycznych oddziaływania pole elektromagnetyczne – ciało człowieka na potrzeby realizacji badań wybrano oprogramowanie oparte na technice całek brzegowych oraz metodę elementów skończonych.

Opracowane modele numeryczne zgrzewarek oraz ich położenie względem ciała pracownika odpowiadają wybranym sytuacjom występującym na rzeczywistych stanowiskach pracy. Z uwagi na małą częstotliwość pola wytwarzanego przez zgrzewarki rezystancyjne ocenę ekspozycji pracowników oparto na mierze wewnętrznej, jaką jest gęstość prądu indukowanego, o wartościach dopuszczalnych, określonych w dyrektywie 2004/40/WE [3].

Do symulacji numerycznych wybrano jednorodny model o kształtach ciała ludzkiego CIOP-MAN o parametrach dielektrycznych tkanki mięśniowej, odpowiednich dla analizowanej częstotliwości pola, pozwalający na zamodelowanie dowolnych pozycji ciała oraz skalowanie jego rozmiaru [4]. Wymiary poszczególnych segmentów ciała ludzkiego (modelu CIOP-MAN, a także modelu wykorzystywanego w analizie obciążenia układu mięśniowo-szkieletowego, z wykorzystaniem oprogramowania OKRĘG) oparto na danych antropome-



Rys. 1 Model numeryczny ciała pracownika: a) reprezentujący dane antropometryczne do analizy obciążenia układu mięśniowo-szkieletowego w opracowanym oprogramowaniu OKRĘG (kolor zielony – długości i odległości, kolor czerwony – ciężary poszczególnych segmentów ciała), b) do obliczeń miar wewnętrznych (kolor czerwony – największe wartości gęstości prądu indukowanego, kolor zielony – najmniejsze wartości gęstości prądu indukowanego)



trycznych populacji polskiej (rys. 1). Pozycja ciała opisana została 13 kątami odpowiadającymi zakresowi ruchów całego ciała, co pozwala na zamodelowanie w obu modelach rzeczywistej pozycji ciała pracownika na stanowisku pracy.

## Symulacje obciążenia układu mięśniowo-szkieletowego

### Obciążenie dolnej części kręgosłupa

Do analizy obciążenia układu mięśniowo-szkieletowego opracowano oprogramowanie komputerowe (OKRĘG), wykorzystujące model oparty na modelu Chaffina i Andersona [5], którego pozycja ciała została opisana identycznie z modelem CIOP-MAN wykorzystywanym do symulacji numerycznych dotyczących ekspozycji na pole magnetyczne. Oprogramowanie OKRĘG wykorzystuje model całego ciała człowieka składający się z dziesięciu segmentów, odwzorowujących poszczególne części ciała (górną część tułowia wraz z głową, dolną część tułowia, ramiona, przedramiona z dłońmi, uda, podudzia). Opis matematyczny modelu opracowany za pomocą równań Newtona-Eulera umożliwia statyczną analizę zagadnień płaskich i przestrzennych.

Danymi wejściowymi oprogramowania są: parametry antropometryczne opisujące pracownika (mogą to być dane dla 5., 50. i 95. centyla wymiarów ciała mężczyzny lub kobiety z populacji polskiej), pozycja ciała opisana 13 kątami (zgodnie z modelem numerycznym do symulacji zagrożeń elektromagnetycznych) – rys. 2 – oraz wartość siły zewnętrznej. Danymi wyjściowymi są wartości składowych i modułów sił, momentów sił w głównych stawach ciała człowieka wynikających z działającej siły zewnętrznej oraz mas poszczególnych segmentów ciała ludzkiego, a także wartość siły ściskającej działającej na krążek międzykręgowy L5/S1, będącej wypadkową składową sił związanych z masą ciała powyżej krążka międzykręgowego L5/S1, masą obsługiwanego urządzenia, siły wywołanej przez ciśnienie w jamie brzusznej oraz siły prostownika grzbietu potrzebnej do stabilizacji pleców. Wartość tej siły jest miarą obciążenia układu mięśniowo-szkieletowego [2].

### Obciążenie kończyn górnych

Praca jest określana jako powtarzalna, jeżeli wymaga wielokrotnego wykonywania podobnych cykli czynności roboczych [6]. Podobieństwo cykli jest rozumiane w sensie sekwencji czasowych, rozwijanych sił mięśniowych oraz przestrzennej charakterystyki ruchów. Praca powtarzalna jest opisywana parametrami związanymi z czynnikami biomechanicznymi, decydującymi o obciążeniu układu mięśniowo-

-szkieletowego, takimi jak: położenie członów ciała względem siebie, siła wywierana przez pracownika na narzędzie pracy oraz czas trwania obciążenia.

Obciążenie kończyny górnej, występujące podczas wykonywania pracy (w szczególności pracy powtarzalnej), może być obliczane z zastosowaniem wskaźnika obciążenia pracą powtarzalną (RTI) [7].

Wskaźnik RTI uwzględnia wszystkie czynniki biomechaniczne odgrywające rolę w obciążeniu kończyny górnej w formie parametrów. Uwzględnionowielofazowycyklpracy, przyróżnicowaniusiłowymkażdej z faz. Zróżnicowanie siłowe dotyczy zarówno typu siły faz cyklu pracy (np. siły pchania, podnoszenia, ścisku ręki, chwytu palcami i utrzymania kończyny górnej w zadanym położeniu), jak i wartości względnej każdego z typów siły. Wartość względna siły określonego typu obliczana jest jako wartość wywieranej siły, odniesiona do maksymalnej wartości siły danego typu dla tego samego położenia kończyny górnej. Wartości maksymalne dla podstawowych typów aktywności siłowej kończyny górnej mogą być obliczane w funkcji położenia kończyny górnej. Położenie kończyny górnej opisywane jest wartościami siedmiu kątów (rys. 3) [8].

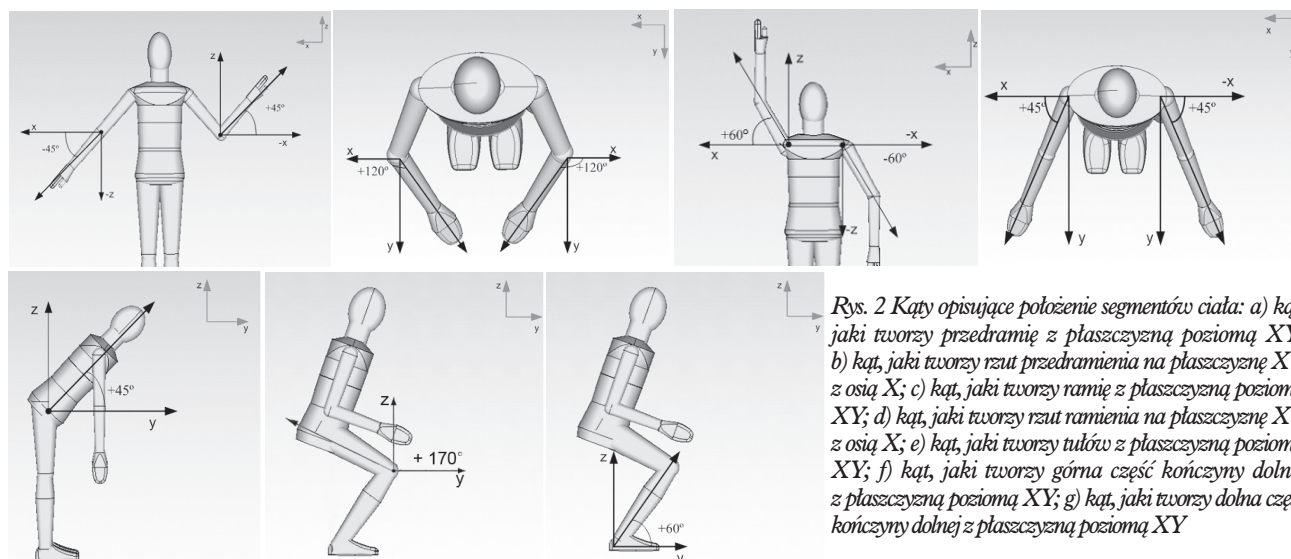
### Wskaźnik łącznego ryzyka R

Do oceny ryzyka związanego z jednoczesną ekspozycją na pole magnetyczne i obciążenie układu mięśniowo-szkieletowego opracowano wskaźnik łącznego ryzyka R, uwzględniający wskaźniki ryzyka obliczone dla poszczególnych czynników (elektromagnetycznego i biomechanicznego). Przyjęto, że ryzyko oceniane będzie w trójstopniowej skali (ryzyko małe, średnie i duże), zgodnie z ogólnymi zasadami oceny ryzyka zawodowego przedstawionymi w normie PN-N 18002 (2000). Wskaźnik R wyrażony jest zależnością wielomianową, w której uwzględniono wskaźniki ryzyka obliczone dla ww. czynników, wraz z wartościami wagowymi wynikającymi np. z istotności danego czynnika w łącznej ocenie ryzyka zawodowego.

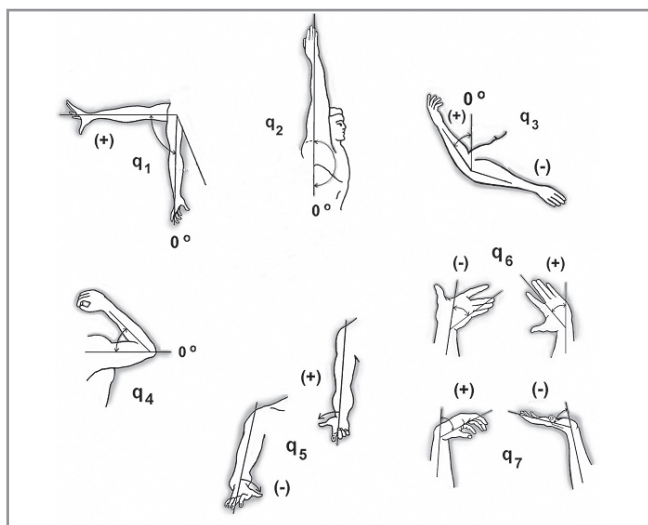
## Wyniki badań pilotażowych

Badania pilotażowe zostały przeprowadzone dla operatora zgrzewarki rezystancyjnej podwieszanej o wymiarach antropometrycznych, odpowiadających 95-centyłowemu ciału mężczyzny populacji polskiej.

Rozpatrzono czynności związane z wykonywaniem zgrzewów na wybranym stanowisku pracy przy założeniu, że jest to praca cykliczna



Rys. 2 Kąty opisujące położenie segmentów ciała: a) kąt, jaki tworzy przedramię z płaszczyzną poziomą XY; b) kąt, jaki tworzy rzut przedramienia na płaszczyznę XY z osią X; c) kąt, jaki tworzy ramię z płaszczyzną poziomą XY; d) kąt, jaki tworzy rzut ramienia na płaszczyznę XY z osią X; e) kąt, jaki tworzy tułów z płaszczyzną poziomą XY; f) kąt, jaki tworzy górna część kończyny dolnej z płaszczyzną poziomą XY; g) kąt, jaki tworzy dolna część kończyny dolnej z płaszczyzną poziomą XY

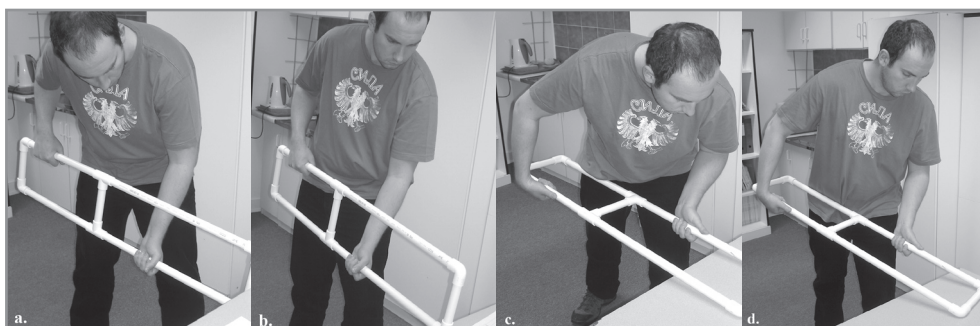


Rys. 3 Ilustracja graficzna kątów umożliwiających zdefiniowanie położenia kończyny górnej:  $q_1$  – kąt przywodzenia/odwodzenia ramienia opisywany w płaszczyźnie poprzecznej;  $q_2$  – kąt prostowania/zginania ramienia w płaszczyźnie strzałkowej;  $q_3$  – kąt obrotu wokół osi ramienia;  $q_4$  – kąt zginania w łokciu;  $q_5$  – kąt obrotu wokół osi przedramienia;  $q_6$  – kąt przywodzenia/odwodzenia w nadgarstku;  $q_7$  – kąt prostowania/zginania w nadgarstku [7]

o długości cyklu równym 24 sekundom. Na rozpatrywany cykl pracy składały się cztery czynności (fot. 3).

Przykładowe wyniki symulacji numerycznych narażenia na pole elektromagnetyczne z wykorzystaniem gęstości prądu indukowanego zostały wykonane dla sytuacji, w których pozycja ciała pracownika odpowiadała pozycjom przedstawionym na fot. 3a i 3d.

W obu przypadkach wykorzystano identyczny model źródła pola, o wymiarach geometrycznych odpowiadających wymiarom rzeczywistej głowicy zgrzewarki rezystancyjnej podwieszanej, ale o różnym jej położeniu względem ciała pracownika. Obliczenia wartości gęstości prądu indukowanego wykonano pakietem oprogramowania CST Studio Suite 2009, opartym na technice całek brzegowych, dla przypadku wartości skutecznej natężenia prądu płynącego przez elektrody podczas zgrzewu równej 18 kA. Obliczone względne maksymalne wartości skuteczne gęstości prądu indukowanego (wartość odniesienia gęstość prądu indukowanego w głowie dla pozycji z fot. 3a) w tułowiu i rękach, w przypadku pozycji ciała przedstawionej na fot. 3a wynoszą odpowiednio 1 i 17,2 (rys. 4). Natomiast dla pozycji z fot. 3d wartości te to: 0,4 w głowie, 2,2 w tułowiu oraz 16,6 w rękach. Różnice w uzyskanych wartościach wynikają między innymi z odległości wymienionych części ciała od źródła pola, od jego lokalizacji względem ciała pracownika, a także pozycji ciała pracownika. Przykładowe rozkłady gęstości prądu indukowanego dla pozycji z fot. 3a i 3d przedstawione zostały na rys. 5.



Fot. 3 Przykładowe pozycje ciała pracownika obsługującego rezystancyjną zgrzewarkę podwieszaną

Obciążenie dolnej części kręgosłupa określono dla pozycji ciała pracownika przedstawionych na fot. 3a i 3d (identycznie z pozycjami uwzględnionymi w obliczeniach numerycznych narażenia na pole elektromagnetyczne). Ponadto wartość siły ściskającej działającej na krążek międzykręgowy L5/S1, będącej miarą tego obciążenia, oraz wskaźnik obciążenia pracą powtarzalną RTI określono dla dwóch różnych mas głowicy zgrzewarki odczuwalnych przez pracownika: 5 kg (siła 49 N) przy typowej pracy oraz 10 kg (siła 98 N) przy pracy bardziej dynamicznej (rys. 6).

W przypadku pozycji ciała pracownika przedstawionej na fot. 3a uzyskano wartości siły ściskającej krążek międzykręgowy na poziomie 3450 N i 3950 N odpowiednio dla odczuwalnej masy głowicy zgrzewarki 5 kg i 10 kg. Dla pozycji ciała przedstawionej na fot. 3d, wartości tej siły wynoszą odpowiednio około 2650 N i 3100 N. Z prezentowanych wyników tylko wartości siły ściskającej działającej na krążek międzykręgowy L5/S1 uzyskane dla pozycji ciała z fot. 3d są niższe od wartości 3400 N, będącej wartością dopuszczalną (NIOSH, 1981). Różnice pomiędzy wynikami uzyskanymi dla pozycji ciała z fot. 3a i 3d wynikają głównie z większego pochylenia tułowia oraz większej odległości środka ciężkości głowicy zgrzewarki od krążka międzykręgowego L5/S1 w przypadku pozycji ciała przedstawionej na fot. 3d.

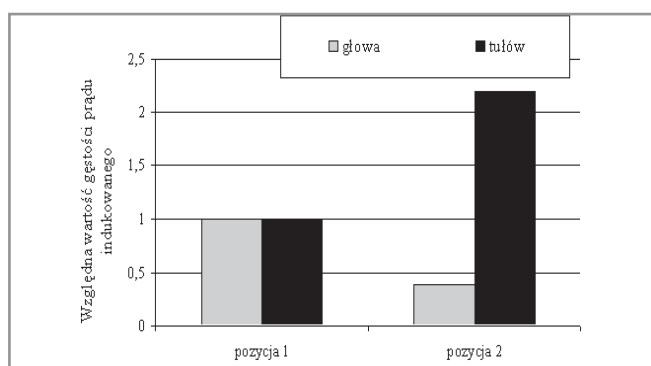
W celu określenia obciążenia kończyn górnych obliczono wskaźnik obciążenia pracą powtarzalną RTI zarówno dla prawej, jak i lewej kończyny górnej. Wartość wskaźnika RTI dla prawej kończyny górnej wynosiła 2,43 i 2,36, odpowiednio dla siły wynikającej z masy głowicy zgrzewarki równej 49 N (5 kg) i 98 N (10 kg) (rys. 7). W przypadku lewej kończyny górnej wartości wskaźnika RTI to odpowiednio 2,29 i 2,23. Oznacza to, że występują stosunkowo niewielkie różnice pomiędzy wartościami wskaźnika RTI obliczonymi dla przypadków siły wynikającej z masy głowicy zgrzewarki równej 49 N i 98 N. Ma to zapewne związek z faktem, że wartość wskaźnika RTI zależy zarówno od masy obsługiwanej narzędzia, jak i od takich parametrów charakteryzujących pracę cykliczną, jak długość cyklu czy liczba faz cyklu pracy.

## Podsumowanie i wnioski

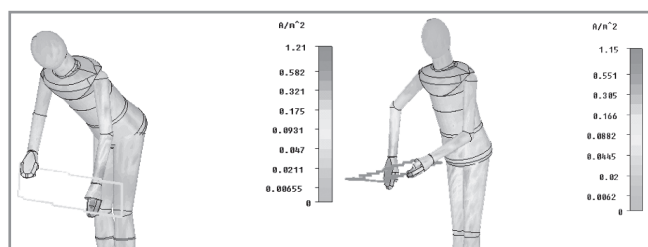
Obsługa zgrzewarek rezystancyjnych podwieszanych związana jest z operowaniem dużym i ciężkim narzędziem wytwarzającym silne pola magnetyczne. Dwoma istotnymi czynnikami narażenia pracownika/operatora takiego urządzenia są jednocześnie występujące elektromagnetyczne i biomechaniczne czynniki ryzyka. Dlatego też istotna jest ocena ryzyka pochodzącego od tych dwóch czynników jednocześnie oddziałujących. Do oceny obciążenia pleców wybrano model stosunkowo prosty, ale i dokładny, jakim jest model Chaffina, oraz dokładny model umożliwiający ocenę obciążenia kończyn górnych z wykorzystaniem wskaźnika RTI.

Wskaźnik obciążenia pracą powtarzalną (RTI) wyraża obciążenie kończyny górnej w sposób ilościowy, co ma bardzo duże znaczenie z punktu widzenia optymalizacji obciążenia na stanowisku pracy. Metoda RTI jest zindywidualizowaną metodą, może odnosić się do pracownika, ale także bezpośrednio do stanowiska pracy. Przy czym należy podkreślić, iż opracowany wskaźnik odnosi się nie tylko do pracy powtarzalnej, ale ma znacznie szersze zastosowanie.

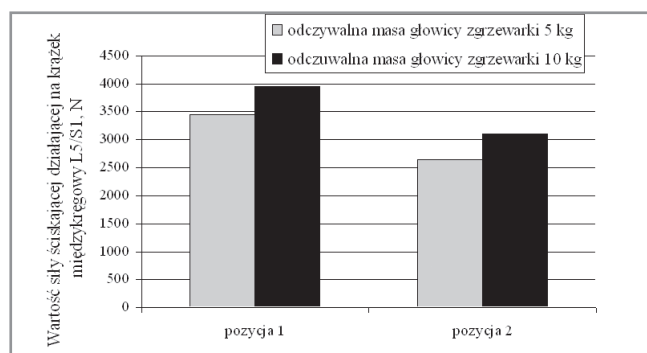




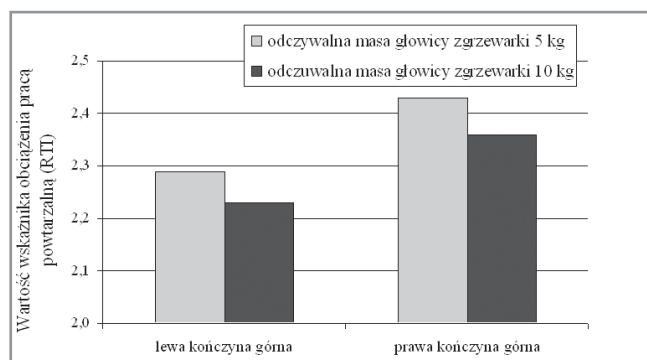
Rys. 4 Przykładowe wyniki symulacji numerycznych. Względne wartości gęstości prądu indukowanego w głowie i tułowie obliczone dla dwóch pozycji ciała pracownika: pozycja 1 – pozycja przedstawiona na fot. 3a, pozycja 2 – pozycja ciała przedstawiona na fot. 3d (wartość odniesienia gęstość prądu indukowanego głowie dla pozycji z fot. 3a)



Rys. 5 Przykładowe wyniki symulacji numerycznych. Rozkłady wartości gęstości prądu indukowanego: a) dla pozycji ciała przedstawionej na fot. 3a, b) dla pozycji ciała przedstawionej na fot. 3d



Rys. 6 Przykładowe wyniki wartości siły ściskającej działającej na krążek międzykręgowy L5/S1, obliczone dla dwóch różnych odczuwalnych przez pracownika mas głowicy zgrzewarki (5 kg i 10 kg) oraz dwóch pozycji ciała pracownika: pozycja 1 – pozycja ciała przedstawiona na fot. 3a, pozycja 2 – pozycja ciała przedstawiona na fot. 3d



Rys. 7 Przykładowe wartości wskaźnika obciążenia pracą powtarzalną (RSI), obliczone dla lewej i prawej kończyny górnej oraz dwóch wartości odczuwalnej przez pracownika masy głowicy zgrzewarki 5 kg i 10 kg

Zgrzewarka rezystancyjna podwieszana jest modelowana w symulacjach numerycznych jako przewodnik o kształcie, parametrach i położeniu względem ciała pracownika odpowiadających sytuacjom występującym na rzeczywistych stanowiskach pracy.

Dozymetria komputerowa może być wydajną i skuteczną metodą oceny zagrożeń elektromagnetycznych występujących w środowisku pracy z wykorzystaniem miar wewnętrznych. Modelowanie numeryczne może być w pewnych sytuacjach jedyną możliwością stosunkowo wiarygodnego oszacowania wielkości ekspozycji i jej oceny ze względu na bezpieczeństwo i higienę pracy. Dotyczy to np. sytuacji, gdy ciało pracownika znajduje się w bardzo małej odległości od elementów źródła pola elektromagnetycznego lub bezpośrednio dotyka go swoim ciałem – z takim przypadkiem spotykamy się w ocenie narażenia pracowników obsługujących zgrzewarki rezystancyjne podwieszane.

Wykorzystanie jednorodnego modelu CIOP-MAN, mogącego reprezentować dowolne pozycje ciała wraz z zastosowanym opisem położenia poszczególnych jego segmentów, identycznym z opisem modelu wykorzystywanego w ocenie obciążenia układu mięśniowo-szkieletowego, pozwala na odwzorowanie porównywalnej pozycji w ocenie narażenia pochodzącego od tych dwóch czynników. ■

## Literatura

- J. Karpowicz, K. Gryz, M. Molenda, P. Zradziński: *Electromagnetic fields associated with spot welding – examples of measurements and calculations for compliance*, Workshop handbook *Electromagnetic fields of welding equipment in the framework of the Directive 2004/40/EC*, VITO, Mol, Belgia 2006.
- S. Wincenciak: *Komputerowe metody analizy pola elektromagnetycznego*, WNT, Warszawa 1993.
- Dyrektywa 2004/40/WE Parlamentu Europejskiego i Rady Europy 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) – 18. dyrektywa szczegółowa w rozumieniu art. 16 ust. 1 dyrektywy 89/391/EWG, OJ nr L-184, 2004.
- P. Zradziński, J. Karpowicz, D. Roman-Liu, K. Gryz: *Zasady modelowania zagrożeń elektromagnetycznych – Modelowanie ciała pracownika*, *Bezpieczeństwo Pracy*, vol. 10, 2006, s. 24-27.
- D.B. Chaffin, G.B. Andersson: *Occupational biomechanics*, 2nd ed., John Wiley & Sons, New York 1991.
- A. Kilbom: *Repetitive work of the upper extremity: Part II – The scientific basis (knowledge base) for the guide*, *International Journal of Industrial Ergonomics*, vol. 14, 1994, s. 59-86.
- D. Roman-Liu: *Repetitive task indicator as a tool for assessment of upper limb musculoskeletal load induced by repetitive tasks*, *Ergonomics*, vol. 50 (11), 2007, s. 1740-1760.
- D. Roman-Liu: *Analiza biomechaniczna pracy powtarzalnej*, CIOP-PIB, Warszawa 2003.
- K. Gryz, P. Zradziński: *Wykorzystanie symulacji numerycznych prądu indukowanego do oceny ekspozycji pracowników na pola elektromagnetyczne*, materiały XI Krajowego Symposium Nauk Radiowych, 2005, s. 287-292.
- NIOSH, *Work practices guide for manual lifting*, NIOSH technical report No. 81-122 (U.S. Department of Health and Human Services, National Institute for Occupational Safety and Health, Cincinnati, OH), 1981.

Opracowano na podstawie wyników programu wieloletniego pn. „Poprawa bezpieczeństwa i warunków pracy”, dofinansowywanego w latach 2008–2010 w zakresie badań naukowych i prac rozwojowych przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego – główny koordynator: Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy (zad. 2.R.11).

otrzymano / received: 05.05.2009 r.  
zaakceptowano / accepted: 20.07.2009 r.