

Ochrona operatorów rezystancyjnych zgrzewarek podwieszanych przed zagrożeniami elektromagnetycznymi i biomechanicznymi



Przeprowadzono badania jednoczesnego narażenia operatorów rezystancyjnych zgrzewarek podwieszanych, na czynnik elektromagnetyczny i biomechaniczny. Badania wykazały znaczący rozrzut wartości miar wewnętrznych skutków ekspozycji na pola elektromagnetyczne i obciążenia układu mięśniowo-szkieletowego w zależności od pozycji ciała, jak i od gabarytów i położenia głowicy zgrzewarki względem ciała pracownika. Przedstawiono również opracowane na podstawie analizy uzyskanych wyników: zasady optymalizacji konstrukcji, procedur obsługi i organizacji stanowiska pracy wykorzystujących rezystancyjne zgrzewarki podwieszane. Wykazano, że stosunkowo proste działania organizacyjne dotyczące poszczególnych stanowisk pracy mogą nawet wielokrotnie ograniczyć poziom narażenia operatora rezystancyjnych zgrzewarek podwieszanych na jednocześnie działające czynniki: elektromagnetyczny i biomechaniczny.

Protection of the operators of suspended guns for resistance welding against electromagnetic and biomechanical hazards

Investigations of electromagnetic and biomechanical factors affecting concurrently workers operating suspended resistance welders have been performed. The results showed a high variability of the level of internal measures of electromagnetic exposure effects and musculoskeletal system load depending on both the worker's posture and resistance gun location and size. This paper presents also construction and operating procedure optimization rules and worksite guidelines of workers' exposure by suspended resistance welders done on the basis on investigations results analysis. It was also proven that simple organizational activities referred to particular worksites' can limit hazard level of resistance welding gun operators to concurrent electromagnetic and biomechanical even a few times.

Wstęp

W przemyśle motoryzacyjnym często wykorzystywane są podwieszane zgrzewarki rezystancyjne o znacznych gabarytach (głowica o długości do 170 cm) i masie do 100 kg. Nie wszyscy jednak zdają sobie sprawę, że urządzenia te są źródłami silnego pola elektromagnetycznego małej częstotliwości [1, 2]. Operowanie takimi dużymi i ciężkimi narzędziami jest związane zarówno z narażeniem pracownika na pola elektromagnetyczne, jak i z obciążeniem układu mięśniowo-szkieletowego, które mogą przyczynić się do rozwoju różnego rodzaju dolegliwości [3, 4].

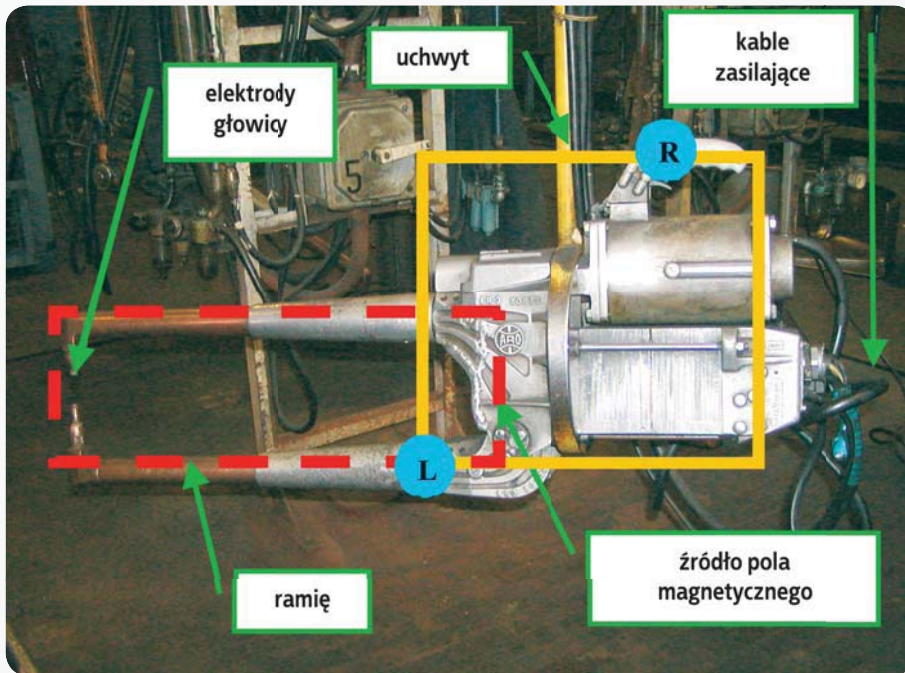
Zalecenia profilaktyczne dotyczące ochrony przed zagrożeniami omawianymi czynnikami są przeciwstawne: przybliżenie urządzenia do ciała pracownika zmniejsza obciążenie układu mięśniowo-szkieletowego, ale jednocześnie zwiększa zagrożenie wynikające z oddziaływania pola elektromagnetycznego. Niesie to potrzebę poszukiwania takich rozwiązań, które umożliwią minimalizację obu rodzajów zagrożeń jednocześnie.

Przeprowadzone w CIOP-PIB badania pozwoliły na wykazanie zależności wartości miar wewnętrznych ekspozycji na pola elektromagnetyczne (wielkości charakteryzujące fizyczne skutki ekspozycji na pole elektro-

magnetyczne występujące wewnątrz ciała człowieka) oraz obciążenia układu mięśniowo-szkieletowego (obciążenie części lędźwiowej kręgosłupa i kończyn górnych) od sposobu wykonywania pracy podwieszoną zgrzewarką rezystancyjną, a także zaproponowanie sposobów minimalizowania tych zagrożeń.

Przedmiot badań

Przedmiotem badań były zagrożenia elektromagnetyczne i biomechaniczne występujące przy podwieszanych zgrzewarkach rezystancyjnych, stosowanych do łączenia elementów metalowych na skutek przepły-



Fot. Głowica rezystancyjnej zgrzewarki podwieszanej: czerwona linia przerywana – źródło pola elektromagnetycznego; żółta linia ciągła – wirtualny uchwyt; niebieskie kropki – przyjęte w badaniach miejsca chwytu głowicy zgrzewarki (L – lewa ręka i R – prawa ręka)

Photo. Suspended gun for resistance welding: red dashed line – electromagnetic field source; yellow solid line – virtual handle; blue dots – assumed resistance gun grip point locations (L – left hand and R – right hand)

wającego prądu małej częstotliwości (50 Hz), [1]. W przemyśle stosowane są zgrzewarki rezystancyjne różniące się gabarytami (np. długość głowicy zgrzewarki z przedziału 50-170 cm), masą głowicy (np. z przedziału 10-100 kg), kształtem elektrod, rozmieszczeniem uchwytów, maksymalnymi wartościami prądu zgrzewania (np. z przedziału 8-26 kA) itp. W badaniach wykorzystano modele numeryczne różniących się gabarytami podwieszanych zgrzewarek rezystancyjnych: małej (M – o wymiarach 14 x 25 cm), średniej (S – o wymiarach 20 x 80 cm) i dużej (D – o wymiarach 34 x 115 cm) [1, 2]. Przykładowy widok zgrzewarki o średnich gabarytach przedstawiono na fot. Ze względu na masę takich urządzeń, dochodzącą do 100 kg, konieczne jest stosowanie ich podwieszania. W zależności od systemu podwieszania (szynowy, słupowy czy sztywny) odczuwalna przez operatora masa urządzenia zmniejsza się nawet trzydziestokrotnie.

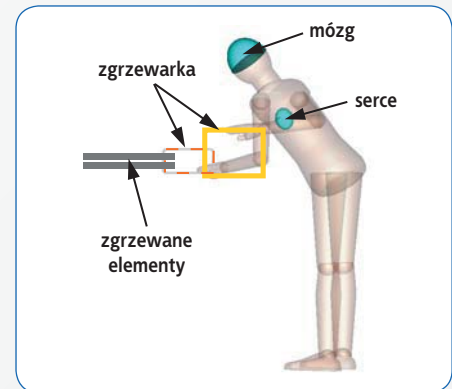
Model ciała pracownika

W symulacjach numerycznych miar wewnętrznych skutków ekspozycji na pole elektromagnetyczne wykorzystano model ludzkiego ciała CIOP-MAN [5], w którym uwzględniono strukturę reprezentujące mózg i serce, wraz z odpowiednimi dla analizowanej częstotliwości 50 Hz parametrami dielektrycznymi (rys. 1.). W symulacjach numerycznych zagrożeń elektromagnetycznych i analizie obciążenia układu mięśniowo-szkieletowego

wykorzystano modele odpowiadające cechom antropometrycznym ciała 95-centylowego mężczyzny populacji polskiej [6]. Z kolei w symulacjach obciążenia układu mięśniowo-szkieletowego poza wymiarami antropometrycznymi, wykorzystanymi w procesie tworzenia modelu CIOP-MAN, uwzględniono także ciężar poszczególnych segmentów ciała ludzkiego (np. ramię, przedramię, tułów) wraz z lokalizacją ich środków ciężkości.

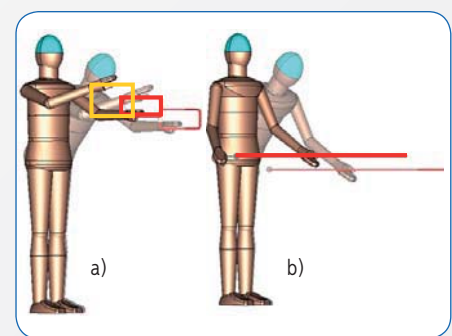
Scenariusze ekspozycyjne reprezentujące różne warunki wykonywania pracy

Prezentowana ocena zagrożeń zawodowych została przeprowadzona w odniesieniu do 24 scenariuszy reprezentujących rzeczywiste warunki wykonywania pracy ze zgrzewarkami rezystancyjnymi podwieszanymi (po 8 dla modeli zgrzewarek rezystancyjnych o różnych



Rys. 1. Obsługa rezystancyjnej zgrzewarki podwieszanej (model M). Model numeryczny CIOP-MAN do analizy skutków oddziaływania pola elektromagnetycznego

Fig. 1. The use of suspended gun for resistance welding (model M). Numerical human body model CIOP-MAN for electromagnetic field exposure effects analysis



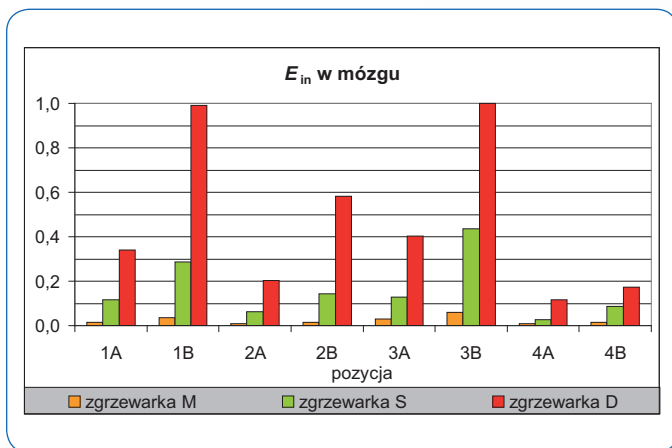
Rys. 2. Opracowane modele numeryczne realistycznych warunków wykonywania pracy: a) pozycje 1A i 1B – zgrzewarka mała (M); b) pozycje 4A i 4B – zgrzewarka duża (D) (pozycje pochylone „B” – zaprezentowane na drugim planie)

Fig. 2. Created numerical models of realistic exposure conditions: a) postures 1A and 1B for small size gun (M); b) postures 4A and 4B for large size gun (D) (flexed postures “B” – showed in background)

gabarytach: M, S i D, rys. 2.), [2]. Scenariusze te podzielono na 4 grupy odpowiadające różnym lokalizacjom głowicy zgrzewarki względem ciała pracownika, uwzględniając ponadto: poziome i pionowe położenie płaszczyzny ramion zgrzewarki, wyprostowane (pozycje oznaczone A) lub pochylone (pozycje oznaczone B) pozycje ciała pracownika (tab. 1.). Identyczne pozycje ciała uwzględniono przy ocenie obciążenia układu mięśniowo-szkieletowego.

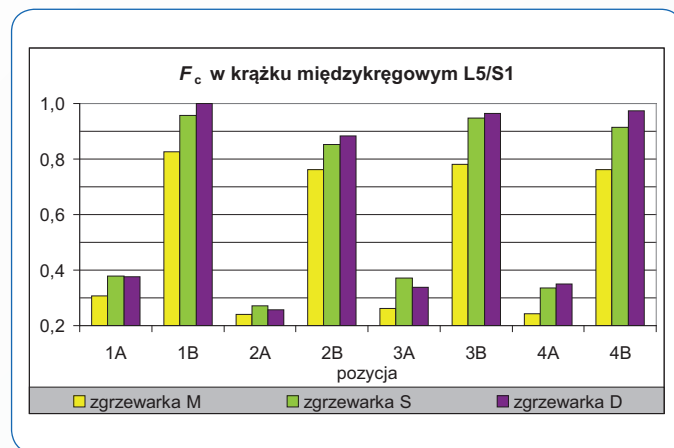
Tabela 1. Scenariusze warunków wykonywania pracy ze zgrzewarkami rezystancyjnymi objęte badaniami
Table 1. Investigated scenarios of working practice with resistance welding gun devices

Scenariusz warunków wykonywania pracy	Lokalizacja głowicy zgrzewarki	Położenie tułowia	Położenie płaszczyzny ramion zgrzewarki (źródła pola magnetycznego)
1 (rys. 3a)	wyżej	1A – wyprostowany 1B – pochylony	pionowe
2	niziej	2A – wyprostowany 2B – pochylony	pionowe
3	wyżej	3A – wyprostowany 3B – pochylony	poziome
4 (rys. 3b)	niziej	4A – wyprostowany 4B – pochylony	poziome



Rys. 3. Względne wartości E_{in} w mózgu dla trzech różniących się gabarytami zgrzewarek rezystancyjnych (M, S i D) i 95-centyloвого modelu ciała pracownika (wartość odniesienia – pozycja 3B dla zgrzewarki D)

Fig. 3. Relative values of E_{in} in brain obtained for 3 resistance guns of different size (M, S and D) and 95. centile workers' body numerical models (reference value – posture 3B for resistance gun D)



Rys. 4. Względne wartości F_c dla trzech różniących się gabarytami zgrzewarek rezystancyjnych (M, S i D) i 95-centyloвого modelu ciała pracownika (wartość odniesienia – pozycja 1B dla zgrzewarki D)

Fig. 4. Relative values of F_c obtained for 3 resistance guns of different size (M, S and D) and 95. centile workers' body numerical models (reference value – posture 1B for resistance gun D)

Ocena zagrożenia elektromagnetycznego i biomechanicznego

Skutki oddziaływania na pracownika pola elektromagnetycznego oceniano na podstawie wartości natężenia pola elektrycznego indukowanego w sercu i mózgu (E_{in}), [2, 7, 8], określanego na drodze symulacji numerycznych, zgodnie z zaleceniami normy IEEE C95.6 – 2002 [7].

We wszystkich analizowanych przypadkach źródło pola magnetycznego, tworzone przez ramiona głowicy zgrzewarki, modelowane było jako prostokątny przewodnik o wymiarach odpowiadających ramionom zgrzewarek z zamontowanymi elektrodami przy ustalonej wartości prądu zgrzewania i wprost proporcjonalnej do niej wartości E_{in} .

Z kolei skutki obciążenia układu mięśniowo-szkieletowego oceniano dla szczególnie podatnych na dolegliwości obszarów ciała ludzkiego: części lędźwiowej kręgosłupa i kończyn górnych, reprezentowanych odpowiednio przez siłę ściskającą krążek międzykręgowy L5/S1 (F_c) i wskaźnik obciążenia cyklu (ICL) [1, 2, 9, 10]. Symulacje numeryczne obciążenia tej części kręgosłupa wykonano z zastosowaniem oprogramowania OKRĘG [1, 2]. Obciążenie kończyn górnych oceniano z zastosowaniem metody LIMBRISK [1, 2, 9, 10]. Poza odczuwalnym przez operatora ciężarem głowicy zgrzewarki, w ocenie obciążenia kończyn górnych uwzględniono także siłę nacisku na przycisk uruchamiający proces zgrzewania

(przyjęto 9,8 N) i czas utrzymania określonej pozycji ciała podczas wykonywania pojedynczej zgrzeiny, wynoszący 1 sekundę. Zgodnie z zaleceniami bezpieczeństwa i higieny pracy przy analizie poziomu zagrożeń zawodowych 20-30-krotna różnica E_{in} była równoważna 30-50% różnicy F_c .

Analiza zagrożeń w różnych warunkach pracy

Przy ocenie zagrożeń elektromagnetycznych podczas pracy różnymi zgrzewarkami uzyskano ponad 130-krotny rozrzut wartości E_{in} w mózgu i ponad 105-krotny w sercu. W przypadku poszczególnych modeli zgrzewarek rozrzut tych wartości w mózgu i sercu jest odpowiednio: 8- i 6-krotny – zgrzewarka M, 16- i 5-krotny – zgrzewarka S oraz 9- i 5-krotny – zgrzewarka D (rys. 3.).

Przy ocenie zagrożeń biomechanicznych uzyskano ponad 4-krotny rozrzut zarówno wartości F_c , jak i ICL. W przypadku poszczególnych modeli zgrzewarek wartości F_c i ICL różnią się odpowiednio o: 300 i 15% – zgrzewarka M, 400 i 30% – zgrzewarka S oraz 400 i 30% – zgrzewarka D (rys. 4.). Czynnikiem powodującym największe różnice jest pozycja ciała pracownika (nawet ponad 300% większe wartości w przypadku pozycji pochylonych).

Zalecenia profilaktyczne

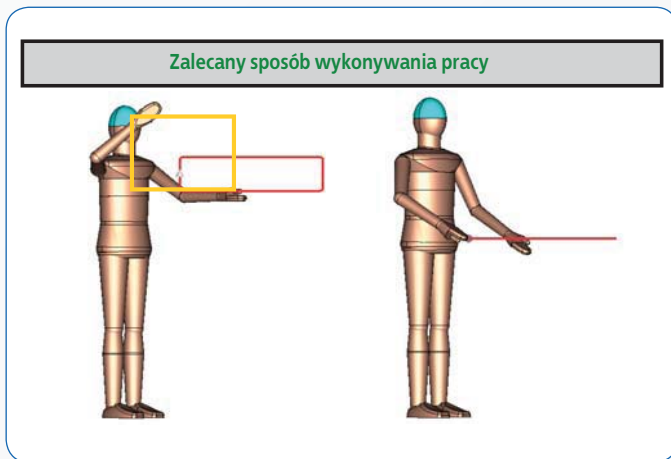
Na podstawie prezentowanych wyników opracowano zalecenia profilaktyczne dotyczące ograniczania jednoczesnego zagrożenia elektromagnetycznego i biomechanicznego (tab. 2.). Zalecenia te obejmują położenie tułowia, położenie kończyn górnych, lokalizację

Tabela 2. Profilaktyka jednoczesnego zagrożenia elektromagnetycznego i biomechanicznego

Table 2. Prevention of concurrent electromagnetic and biomechanical factors

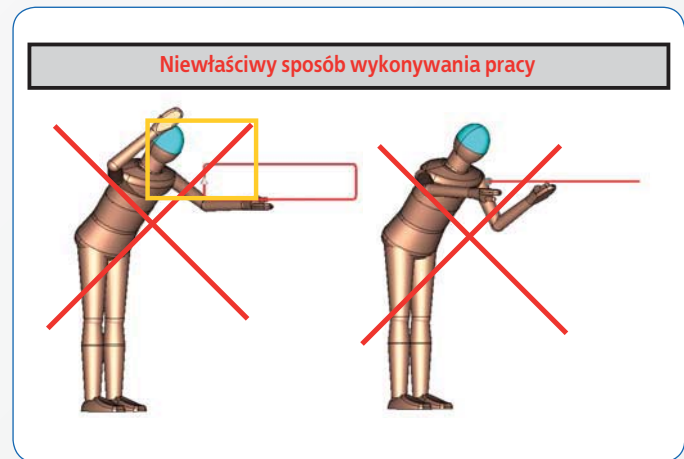
Cecha sposobu wykonywania pracy	Oddziaływanie na jednoczesne zagrożenie		Uwagi
	zmniejszanie	zwiększanie	
Położenie tułowia (***)	wyprostowane	pochylone	w przypadku pozycji pochylonych E_{in} w mózgu i F_c wzrasta o 240%
Położenie kończyn górnych (*)	proste w łokciu, blisko ciała	zgięte w łokciu, dalej od ciała	opuszczenie wyprostowanych kończyn górnych zmniejsza E_{in} w mózgu, F_c i ICL
Lokalizacja punktu zgrzewania (*)	na wysokości pasa	na wysokości głowy lub kolan	większa wysokość – większe E_{in} , mniejsza wysokość – większe F_c
Położenie ramion głowicy zgrzewarki (**)	poziome	pionowe	w przypadku położenia pionowego E_{in} wzrasta 4-krotnie, a F_c o 20%
Gabaryty i masa głowicy zgrzewarki (***)	małe gabaryty, mała masa	duże gabaryty, duża masa	w przypadku zmiany zgrzewarki M na S i D: E_{in} wzrasta 10- i 40-krotnie, a ICL 2- i 4-krotnie
Natężenie prądu zgrzewania (●)	najmniejsze niezbędne do wykonania zgrzeiny	większe od niezbędnego do wykonania zgrzeiny	wartość E_{in} wzrasta liniowo z wartością natężenia prądu zgrzewania

* – waga oddziaływania danej cechy na jednoczesne narażenie na oba czynniki (***) – duże; ** – średnie; * – małe
 – ustalona na podstawie przeprowadzonych badań doświadczalnych
 ● – oddziaływanie tylko na narażenie na pola elektromagnetyczne



Rys. 5. Zalecane sposoby wykonywania pracy – najmniejsze zagrożenie elektromagnetyczne i biomechaniczne

Fig. 5. Recommended working practice – the lowest electromagnetic and biomechanical hazards



Rys. 6. Niewłaściwe sposoby wykonywania pracy – największe zagrożenie elektromagnetyczne i biomechaniczne

Fig. 6. Improper working practice – the highest electromagnetic and biomechanical hazards

punktu zgrzewania, położenie ramion głowicy zgrzewarki (źródło pola magnetycznego), gabaryty i masę głowicy zgrzewarki oraz natężenie prądu zgrzeiny.

Najmniejsze zagrożenia, zarówno elektromagnetyczne, jak i biomechaniczne występowało w modelach 1A i 4A, w których ciało pracownika jest wyprostowane, a lewa kończyna górna jest jak najbardziej opuszczona (rys. 5.). Z kolei najgorsze są te przypadki, w których ciało pracownika jest pochylone, a kończyny uniesione do góry (modele 1B i 3B) (rys. 6.).

W celu zmniejszenia jednoczesnego narażenia na czynnik elektromagnetyczny i biomechaniczny przy lokalizacji punktu zgrzewania na wysokości głowy należy stosować podest dla pracownika. Natomiast w sytuacji, gdy punkt zgrzeiny zlokalizowany jest nisko (np. na wysokości kolan) należy stosować chwytak zgrzewanych elementów pozwalający na ich podniesienie. Z uwagi na mniejsze zagrożenie występujące dla poziomego położenia ramion głowicy zgrzewarki (w stosunku do położenia pionowego w zbliżonych pozycjach ciała), wskazane jest stosowanie chwytaków pozwalających na obrót zgrzewanych elementów. Rozwiązania tego typu bywają stosowane w przedsiębiorstwach.

Podsumowanie

Uzyskane wyniki badań modelowych wskazują, że stosunkowo proste działania organizacyjne dotyczące poszczególnych stanowisk pracy mogą wielokrotnie zmniejszyć zagrożenie operatora rezystancyjnej zgrzewarki podwieszanej od jednocześnie działających czynników elektromagnetycznego i biomechanicznego.

Bez względu na gabaryty głowicy zgrzewarki, przy poprawie ergonomii sposobu jej użytkowania możliwe jest zmniejszenie natężenia pola elektrycznego indukowanego w sercu – 3-krotnie, w mózgu – 8-krotnie oraz obciążenia układu mięśniowo-szkieletowego 3-krotnie. Właściwe dobranie rodzaju zgrzewarki w połączeniu z ergonomią warunków jej użycia umożliwia nawet 100-krotną redukcję zagrożeń elektromagnetycznych i 4-krotną biomechanicznych.

Opracowane zalecenia profilaktyczne dotyczące obsługi rezystancyjnych zgrzewarek podwieszanych i organizacji stanowiska pracy mogą być przydatne w procesie konstrukcji głowic zgrzewarek podwieszanych. Szczególną uwagę należy zwrócić na gabaryty, masę, lokalizację uchwytów oraz miejsca zawieszenia głowicy zgrzewarki. Zmniejszeniu zagrożenia sprzyja także proces indywidualnego projektowania systemu podwieszania oraz projektowanie poszczególnych stanowisk pracy (zastosowanie odpowiednich chwytaków zgrzewanych elementów, ich podnośników czy podestów dla pracowników). Trzeba także pamiętać o szkoleniu pracowników w zakresie ergonomii obsługi rezystancyjnych zgrzewarek podwieszanych.

Ze względu na znacznie różniące się poziomy ocenianych parametrów charakteryzujących omawiane zagrożenia (E_{in} , F_c , ICL) dla różnych sposobów wykonywania pracy konieczne jest wykonywanie indywidualnej oceny tych zagrożeń dla poszczególnych stanowisk pracy. Zastąpienie oceny omawianych zagrożeń innymi metodami niż prezentowane wykorzystanie technik modelowania numerycznego w tym przypadku nie jest możliwe.

PIŚMIENICTWO

- [1] P. Zradziński, D. Roman-Liu *Metodyka oceny jednoczesnego oddziaływania czynników elektromagnetycznych i biomechanicznych na pracowników obsługujących podwieszane zgrzewarki rezystancyjne*. „Inżynieria Biomedyczna” 4/2009, vol. 15, 399-403
- [2] P. Zradziński *Modelowanie i ocena jednoczesnego narażenia pracowników na czynnik elektromagnetyczny i biomechaniczny przy podwieszanych zgrzewarkach rezystancyjnych*, „Inżynieria Biomedyczna”, 2011 (w druku)
- [3] *Czynniki szkodliwe w środowisku pracy. Wartości dopuszczalne 2010* pod red. D. Augustyńskiej i M. Pośniak, CIOP-PIB, Warszawa 2010
- [4] *Bezpieczeństwo i higiena pracy* pod red. D. Koradeckiej. CIOP-PIB, Warszawa 2008
- [5] P. Zradziński, J. Karpowicz, D. Roman-Liu, K. Gryz *Zasady modelowania zagrożeń elektromagnetycznych – Modelowanie ciała pracownika*. „Bezpieczeństwo Pracy” 10 (421) 2006
- [6] A. Gedliczka *Atlas miar człowieka – dane do projektowania i oceny ergonomicznej*. CIOP-PIB, Warszawa 2001
- [7] IEEE Std C95.6-2002 *Standard for Safety Levels with Respect to Human Exposure to Electromagnetic Fields, 0 Hz to 3 kHz*. Institute of Electrical and Electronics Engineers, New York, USA
- [8] PN-EN 50413:2009 *Metody pomiaru i obliczeń ekspozycji ludzi w polach elektrycznych, magnetycznych i elektromagnetycznych (0 Hz – 300 GHz)*
- [9] D. Roman-Liu *Analiza biomechaniczna pracy powtarzalnej*. CIOP-PIB, Warszawa 2003
- [10] D. Roman-Liu *Repetitive Task Indicator as a tool for assessment of upper limb musculoskeletal load induced by repetitive tasks*. „Ergonomics”, 50 (11) 2007, 1740-1760

Publikacja opracowana na podstawie wyników I etapu programu wieloletniego pn. „Poprawa bezpieczeństwa i warunków pracy”, sfinansowanego w latach 2008-2010 w zakresie badań naukowych i prac rozwojowych ze środków Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego/Narodowego Centrum Badań i Rozwoju. Koordynator programu: Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy.