

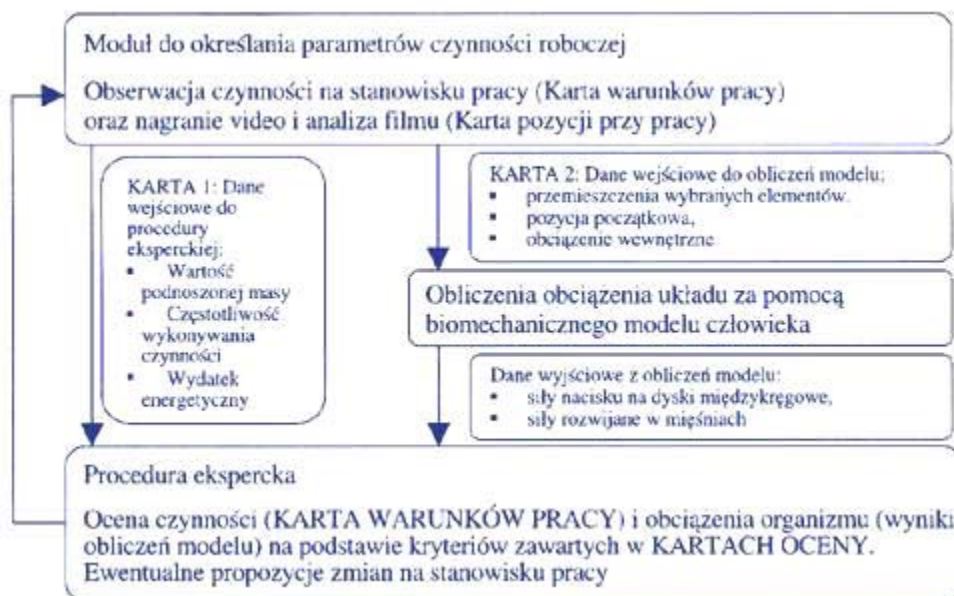
mgr inż. JOANNA KAMIŃSKA  
dr inż. DANUTA ROMAN-LIU  
dr TOMASZ TOKARSKI  
Centralny Instytut Ochrony Pracy

## Projektowanie czynności na stanowiskach pracy metodą ErgoMES

*Praca wykonana w ramach Strategicznego Programu Rządowego pn. „Bezpieczeństwo i ochrona zdrowia człowieka w środowisku pracy” dofinansowanego przez Komitet Badań Naukowych w latach 1995-1998*

Schorzenia i dolegliwości układu mięśniowo-szkieletowego stanowią obecnie jedną z najważniejszych przyczyn niezdolności do pracy i ograniczenia aktywności zawodowej [2,3]. Schorzenia te są dość powszechne i występują u ok. 90% osób po 50 roku życia [7]. Wiele badań wskazuje na to, że ich przyczyną - oprócz zmian związanych z wiekiem - są też obciążenia wywołane aktywnością zawodową [1,7]. Dlatego tak potrzebna jest ocena obciążenia układu ruchu na stanowiskach pracy. Do analizy tego obciążenia można wykorzystać metody doświadczalne i kliniczne, badania subiektywne czy techniki symulacji komputerowej.

Nowa wizyjno-komputerowa metoda ErgoMES opracowana w Centralnym Instytucie Ochrony Pracy [8,9] łączy pomiary w warunkach naturalnych z modelowaniem komputerowym (szybkość, dokładność, łatwa analiza wyników). Metoda służy do symulacji czynności wykonywanych na stanowiskach pracy i ich szczegółowej analizy pod kątem obciążenia układu ruchu. Metoda nadaje się do oceny stanowisk już istniejących, ale zalecane jest wykorzystanie jej na etapie projektowania czynności pracy. Umożliwi to zaprojektowanie poprawnych ergonomicznie stanowisk pracy. Schemat metody oceny obciążenia układu mięśniowo-szkieletowego człowieka przedstawiono na [rysunku 1](#).



Rys. 1. Schemat metody

Metoda przeznaczona jest dla konstruktorów, projektantów stanowisk pracy, czy też specjalistów z dziedziny ergonomii, bezpieczeństwa i ochrony pracy. Do poprawnego wykorzystania metody ErgoMES niezbędne są:

- kamera video - do rejestracji czynności na stanowisku pracy,
- komputer PC (pracujący w środowisku Windows 95),
- karta video do komputera umożliwiającą oglądanie filmu,
- oprogramowanie do wykonania symulacji czynności roboczej.

W metodzie można wyróżnić trzy główne części:

- moduł do określania parametrów czynności roboczych, czyli część doświadczalną, polegającą na zebraniu danych opisujących analizowaną czynność roboczą;
- obliczenia obciążenia układu ruchu, czyli część symulującą czynność za pomocą biomechanicznego modelu układu człowieka oraz
- procedurę ekspercką, umożliwiającą ocenę uciążliwości czynności oraz obciążeń układu ruchu człowieka na analizowanym stanowisku pracy.

**Moduł do określania parametrów czynności roboczej** opiera się na obserwacji i nagraniu metodą video czynności wykonywanych na stanowisku pracy. Parametry czynności bezpośrednio zaobserwowane na stanowisku pracy wpisywane są do stworzonej w tym celu karty 1 - *Karty warunków pracy* (rys. 2.). Parametry charakteryzujące pozycję pracownika podczas wykonywania czynności wprowadzane są do karty 2 - *Karty pozycji przy pracy* (rys. 3.).

KARTA WARUNKÓW PRACY			
Stanowisko pracy:			
Ankieter:			Data:
Pracownik (inicjały):		Wiek:	Płeć:
Numer	Parametr wykonywanej czynności	Wartość parametru	Uwagi
1	Masa podnoszonego przedmiotu [kg]		
2	Częstotliwość podnoszenia (ilość na minutę)		
3	Wydatek energetyczny [kcal]		
4	Ocena subiektywna ciężkości czynności w skali 1-10		
5			
6			

**Rys. 2.** Karta warunków pracy do zbierania danych dotyczących parametrów czynności roboczej

KARTA POZYCJI PRZY PRACY				
Stanowisko pracy:				
Pracownik:			Data:	
Nr	Element	Ruch*	Chwila czasowa	Kąt w stawie
1	Staw ramienny	prawy lewy		
2	Staw łokciowy	prawy lewy		
3	Staw nadgarstkowy	prawy lewy		
4	Staw biodrowy	prawy		
5	Staw kolanowy	prawy lewy		
6	Staw skokowy	prawy lewy		
7	Tułów			
8	Głowa			
* zginanie, prostowanie, odwodzenie, przywodzenie, odwracanie, nawracanie; dla tułowia i głowy: zginanie, prostowanie, skłon w prawo, w lewo, skręt w prawo, w lewo				

**Rys. 3.** Karta pozycji przy pracy do zbierania danych dotyczących parametrów czynności roboczej

W *Karcie warunków pracy* umieszczono następujące elementy:

1. Wiek i płeć pracownika są niezbędne do prawidłowej analizy wyników, gdyż dopuszczalne wartości obciążenia zależą od tych właśnie czynników.
2. Masa podnoszonego przedmiotu podana w kilogramach - proponuje się tu wpisanie wyszczególnienia masy podnoszonej przez rękę prawą i lewą w przypadku, gdy obciążenie jest niesymetryczne lub gdy masa przenoszona jest tylko jedną ręką.
3. Częstotliwość wykonywania czynności - ile razy w ciągu minuty analizowana czynność jest powtarzana.
4. Wydatek energetyczny (kcal) - metoda ErgoMES nie wymaga pomiaru wydatku energetycznego, jednak może być on (w przybliżeniu) podany np. przez lekarza zakładowego. Znajomość wydatku ułatwi analizę obciążenia, szczególnie gdy mamy do czynienia z czynnościami powtarzalnymi. Zalecany jest wtedy jego pomiar wykonywany opracowanym w CIOP miernikiem wydatku energetycznego.
5. Ocena subiektywna ciężkości czynności w skali 1 - 10 - pracownik powinien sam określić, jak on odbiera obciążenie organizmu podczas wykonywania czynności.

W *Karcie* możliwe jest umieszczenie dodatkowych parametrów, które mogą być przydatne do dokładnego opisu wykonywanych czynności. Szczególnie ważne mogą być czynniki uciążliwe występujące na stanowisku pracy: uchwyty, ubranie ochronne krępujące ruchy (przy częstym podnoszeniu, przenoszeniu), temperatura, hałas, drgania. W takim przypadku parametry te należy indywidualnie przeanalizować i wziąć pod uwagę przy ocenie innych czynników obciążających.

Metoda ErgoMES zaleca nagranie czynności roboczej kamerą video. Rejestracja umożliwi wielokrotne (w razie potrzeby), dokładne przeanalizowanie sposobu wykonywania czynności. Dodatkowa karta do przetwarzania obrazu z kamery na obraz na monitorze komputera ułatwi pracę nad filmem. Zatrzymanie klatki czy powiększenie obrazu umożliwi określenie pozycji pracownika z większą dokładnością.

Parametry wprowadzane do *Karty pozycji przy pracy* ([rys. 3.](#)) to:

- Staw, dla którego określane będą wartości kątów podczas wykonywania czynności.
- Płaszczyzna, w której odbywa się ruch, opisana poprzez podanie rodzaju ruchu w stawie (zginanie, prostowanie, odwodzenie, przywodzenie, odwracanie, nawracanie).
- Chwila czasowa mierzona od momentu rozpoczęcia czynności (np. 2 sek, 5 sek), w której kąty w stawach były maksymalne lub charakterystyczne.
- Wartość kąta w stawie.

Po wypełnieniu kart otrzymuje się parametry wejściowe do obliczeń biomechanicznego modelu człowieka (dane z *Karty pozycji przy pracy*) oraz parametry, które porównywane będą z wartościami zalecanymi w uproszczonym systemie eksperckim (dane z *Karty warunków pracy*).

**Obliczenia obciążenia układu za pomocą biomechanicznego modelu człowieka** - zebrane wcześniej parametry określające czynność roboczą wprowadzane są do biomechanicznego modelu układu mięśniowo-szkieletowego człowieka.

Model ten ([ilustracja](#)) - zbudowany na Politechnice Warszawskiej [[5,6,10](#)] - odwzorowuje:

- 43 kości (14 kości kończyn górnych z obręczą barkową, 12 kręgów kręgosłupa, 8 żeber, 6 kości kończyn dolnych oraz głowę, mostek i miednicę),
- 50 stawów,
- 12 dysków międzykręgowych oraz
- 205 mięśni lub grup mięśniowych. Jest to jeden z najbardziej dokładnych i skomplikowanych modeli człowieka. Każdy element układu (każda kość, mięsień, staw) ma sobie przypisane charakterystyczne własności (np. masę, moment bezwładności).



Do przeprowadzenia obliczeń niezbędne są tzw. parametry wejściowe, czyli masy poszczególnych elementów skończonych, przekroje fizjologiczne i długości spoczynkowe mięśni, moduły sprężystości, geometria układu (rozmieszczenie wszystkich elementów w przestrzeni), pozycja początkowa ciała, obciążenie zewnętrzne, zadana trajektoria. Tylko trajektoria wybranych elementów (zmiana położenia w czasie trwania czynności) i obciążenie zewnętrzne są zadawane przez użytkownika, pozostałe dane są zawarte w modelu.

Po wykonaniu obliczeń otrzymuje się parametry wyjściowe:

- przemieszczenia, prędkości i przyspieszenia wszystkich elementów sztywnych (kości),
- siły rozwijane przez mięśnie,
- siłę (ściskającą/rozciągającą, tnącą) w dyskach międzykręgowych i stawach.

Wartości wszystkich tych parametrów podane są dla każdej chwili czasu wykonywania zamodelowanej czynności.

Do oceny obciążenia (w procedurze eksperckiej) wybrano parametry, które najlepiej charakteryzują obciążenia układu mięśniowo-szkieletowego, czyli: siły nacisku na dyski międzykręgowce oraz siły rozwijane przez mięśnie podczas wykonywania czynności.

Wartości tych parametrów mogą być prezentowane w postaci wykresów w funkcji czasu wykonywania czynności. Dodatkowo siły rozwijane przez mięśnie można obejrzeć na [rysunku modelu](#). Daje to poglądowy obraz na obciążenie poszczególnych segmentów ciała (kończyn, kręgosłupa), ułatwia „dojrzenie” asymetrii obciążenia i analizę.

**Procedura ekspercka** umożliwia porównanie wyników z obliczeń modelu oraz niektórych parametrów czynności bezpośrednio zebranych na stanowisku pracy (zawartych w *Karcie pozycji przy pracy* oraz *Karcie warunków pracy*) z zalecanymi wartościami obciążeń człowieka podczas pracy. Procedura ekspercka składa się z oceny wstępnej i szczegółowej.

### Ocena wstępna

- A. Sprawdzenie, czy masa podnoszonych przedmiotów w zależności od wysokości podnoszenia mieści się w zalecanych granicach.
- B. Sprawdzenie, czy częstotliwość podnoszenia nie przekracza 15 razy na minutę, lub czy spełnia warunki szczegółowe (nie przekracza wartości dopuszczalnych dla konkretnego przypadku).

Jeżeli warunki podane we wstępnym etapie oceny są spełnione, to należy dokonać oceny szczegółowej, w przeciwnym razie zaleca się zmianę wysokości z jakiej przedmiot jest podnoszony, zmniejszenie masy podnoszonych przedmiotów lub częstotliwości wykonywania czynności.

### Ocena szczegółowa

Ocena szczegółowa oparta jest na wynikach symulacji komputerowej analizowanej czynności oraz analizie wydatku energetycznego. Składa się z 3 części:

- C. Porównanie obliczonych sił nacisku na krążki międzykręgowy z zalecanymi wartościami dopuszczalnymi.
- D. Sprawdzenie, czy siły w wybranych grupach mięśniowych nie przekraczają 40 - 50% siły maksymalnej i czy istnieją grupy mięśniowe, dla których obliczone siły mięśniowe znacznie przekraczają wartości dla pozostałych grup.
- E. Sprawdzenie, czy wydatek energetyczny nie przekracza wartości dopuszczalnych.

W sytuacji, gdy warunki te nie są spełnione, konieczne jest przeprowadzenia interwencji ergonomicznej.

Do każdego z punktów oceny wstępnej i szczegółowej wykorzystywana jest specjalnie w tym celu przystosowana Karta oceny. Karta zawiera dopuszczalne wartości obciążenia organizmu, np. przedstawiona na [rys. 4](#) Karta sił nacisku na dyski międzykręgowy.

KARTA SIŁ NACISKU NA DYSKI MĘDZYKRĘGOWE		
Jednym z istotniejszych problemów jest fakt, że metoda NIOSH zakłada stosowanie tych samych wartości dopuszczalnych obciążenia kręgosłupa dla wszystkich grup wiekowych, zarówno dla kobiet jak i mężczyzn. Rozwiązaniem jest korzystanie z podanych wartości zaczerpniętych z badań przeprowadzonych przez Jagera i Luttmanna.		
Zależności między płcią i wiekiem a dopuszczalnymi wartościami siły nacisku na krążki międzykręgowy (L5/S 1)		
Wiek (w latach)	Wartości dopuszczalne [kN]	
	kobiety	mężczyźni
20	4,4	6,0
30	3,8	5,0
40	3,2	4,1
50	2,5	3,2
>60	1,8	2,3

**Rys. 4.** Karta sił docisku

\* \* \*

Metoda ErgoMES jest nową, innowacyjną metodą analizy obciążeń układu mięśniowo-szkieletowego człowieka podczas pracy fizycznej. Wykorzystanie skomplikowanego modelu układu ruchu człowieka pozwala na uzyskanie dokładnych wyników obliczeń, a co za tym idzie - prawidłowej analizy i oceny czynności.

Metoda wykorzystana została do analizy pracy lekarza stomatologa i czynności wykonywanych na stanowisku pracy przy tłoczni w FSO - na podstawie filmu wykonanego w 1995 przez Gedliczkę [4]. Analiza umożliwiła jednoznaczne wskazanie miejsc (części ciała człowieka) najbardziej obciążonych podczas wykonywania tego rodzaju pracy oraz określenie czynników mogących powodować dolegliwości układu ruchu na danym stanowisku, a w rezultacie ocenę ciężkości pracy na tych stanowiskach.

Metoda ErgoMES to najnowszy i najbardziej precyzyjny sposób analizy obciążeń układu ruchu człowieka przydatny przy projektowaniu poprawnych ergonomicznie stanowisk pracy.

Mimo niewątpliwych zalet, metoda ta charakteryzuje się pewnymi niedogodnościami. Dokładne zamodelowanie ciała człowieka powoduje, że czas przygotowania do obliczeń i samych obliczeń pojedynczego przypadku wynosi kilka godzin. Trudności może sprawiać zamodelowanie czynności, odwzorowanie ruchu i obciążenia organizmu podczas pracy. Niezbędna jest w tym celu zarówno znajomość informatyki, jak też doświadczenie w obsłudze metody. W związku z tym obecnie metoda ta nie jest szeroko rozpowszechniana. Jest ona natomiast z powodzeniem wykorzystywana do analizy stanowisk pracy przeprowadzanej przez autorów metody.

## PIŚMIENNICTWO

1. Caffier G., Kossler R, Steinberg U.: *Assessment of relationship between musculoskeletal disorders and working conditions by a combination of questionnaire, clinical investigation, and task analysis*. Problems and Progress in Assessing Physical Load and Musculoskeletal Disorders, pp. 21-31, Berlin 1996
2. Chaffm D.B., Andarsson G.B.J.: *Occupational biomechanics*. 2nd edition, John Wiley, New York, 1991
3. Ćwirko H.: *Czy zwyrodnienia kręgołupa można uznać za choroby zawodowe*. Ochrona Pracy nr 11, 4-5, 1993
4. Gedliczka A., Lisiński M., Pochopień R, Starzyńska K.: Projekt Badawczy Zamawiany PBZ/0001/S4/92 pt: *Metoda i technika rejestracji procesu pracy w badaniach certyfikacyjnych układu człowiek-maszyna*. Etap nr 3, Kraków 1995
5. Kędzior K., Wojtyra M., Zagrajek T: *3D dynamic model of human upper extremity*. XVth Congress of International Society of Biomechanics, University of Jyväskylä, July 1995, 464-465
6. Kędzior K., Zagrajek T.: *A biomechanical model of the human musculoskeletal system*. Morecki A., Waldron K. (eds), *Modelling and Simulation of Human and Walking Robot Simulation*, Springer Verlag, 1997 (in print)
7. Majdecki T.: *Zmiany zwyrodnieniowe w tarczy międzykręgowej w aspekcie medycyny pracy*. Lekarz Kolejowy vol.10, nr 2, pp.31-34, 1995
8. Żabiuk (Kamińska) J., Wittek A. Kędzior K., Zagrajek T.: *A biomechanical model of the human musculoskeletal system as a tool for designing work places*. Proceedings of the 13th Triennial Congress of the International Ergonomics Association IEA '97, Vol. 3, Tampere, Finland, 1997
9. Żabiuk (Kamińska) J., Wittek A. Liu D., Tokarski T., Jarosz M.: *Strategiczny Program Rządowy nr III.13.I p.t.: Opracowanie komputerowo wspomaganą metody oceny obciążenia układu mięśniowo-szkieletowego na etapie projektowania stanowisk pracy*. Etap II, Warszawa 1996
10. Żabiuk (Kamińska) J.: *Modelowanie i symulacja obciążenia układu mięśniowo-szkieletowego człowieka w warunkach dynamicznych*. Praca magisterska, promotor T. Zagrajek, Wydział Mechaniczny Energetyki i Lotnictwa PW, Warszawa 1996