

Iwona GRABAREK

Włodzimierz CHOROMAŃSKI

## WYBRANE ZAGADNIENIA DIAGNOZY ERGONOMICZNEJ STANOWISK PRACY W LOKOMOTYWACH ELEKTRYCZNYCH

**Streszczenie.** W referacie przedstawiono wspomaganą komputerowo technikę ergonomicznej oceny stanowiska pracy maszynisty lokomotywy elektrycznej. Podano wyniki badań dotyczące zastosowania systemów ekspertowych oraz budowy modelu człowiek - maszyna - otoczenie. Przedstawiono próbę określenia własności tego układu przy wykorzystaniu metody sieci neuronowych w modelowaniu zachowań człowieka i własności mechanicznych maszyny.

## THE SELECT QUESTIONS OF ERGONOMIC DIAGNOSIS OF ELECTRIC LOCOMOTIVE DRIVER'S WORK - PLACE

**Summary.** The paper presents computer aided technics of ergonomic level evaluation of electric locomotive driver's work-place. The results of research refer to application expert system and building man - machine - environment system were shown. The paper contains a test of determine the properties of this system based on artificial neural networks.

### 1. WSTĘP

Diagnoza ergonomiczna umożliwia ocenę poziomu optymalizacji układu człowiek - maszyna - otoczenie. Powinna ona być prowadzona w każdej fazie życia wyrobu, tj. od fazy projektowej, poprzez wykonanie do eksploatacji. Podstawowymi zatem wymaganiami stawianymi każdemu wyrobowi będą:

- łatwość obsługi;
- poczucie bezpieczeństwa;
- możliwość wyłączenia człowieka w trudnych, nieprzyjemnych lub niebezpiecznych sytuacjach;
- komfort pracy.

W diagnozie ergonomicznej wykorzystuje się zróżnicowane techniki badawcze, oceniające istniejący stan z większą lub mniejszą dokładnością. Narzędzia diagnostyki ergonomicznej weszły w nową fazę rozwoju wraz z rozwojem informatyki. Przede wszystkim wspomaganie

komputerowe umożliwiło elastyczny dobór metod oceny do specyfiki stanowisk pracy. Badania dotyczące diagnozy ergonomicznej stanowisk pracy maszynisty zapoczątkowane zostały na Wydziale Transportu Politechniki Warszawskiej w roku 1986 [4]; w ich wyniku opracowano i wdrożono pakiet norm, tj.:

PN-90/K-11001	Ochrona pracy. Kabina maszynisty lokomotywy elektrycznej dwukabinowej. Podstawowe wymagania bezpieczeństwa pracy i ergonomii.
PN-90/K-11002	Ochrona pracy. Kabina maszynisty lokomotywy elektrycznej dwukabinowej. Metodyka badania hałasu.
PN-90/K-11003	Ochrona pracy. Kabina maszynisty lokomotywy elektrycznej dwukabinowej. Metodyka badania drgań.

Prace pogłębiające problematykę diagnozowania ergonomicznego stanowisk pracy maszynisty w lokomotywach elektrycznych dotyczą wykorzystania systemów ekspertowych. Częściowe wyniki tych prac autorka przedstawiła na Konferencji „Pojazdy Szynowe'96”. Stwierdzić należy, że pomimo istnienia aktywnie działających systemów ekspertowych metodologia ich tworzenia boryka się jeszcze z wieloma problemami. Do najtrudniejszych np. zalicza się:

- problem adekwatnej reprezentacji wiedzy,
- rozumowanie w warunkach niepewności,
- problemy z gromadzeniem wiedzy,
- interfejs pomiędzy systemem a użytkownikiem.

W niniejszym referacie przedstawiono próbę odniesienia się do ww. zagadnień poprzez zastosowanie zaawansowanych technik komputerowych, jakimi są np. sieci neuronowe w budowie modelu układu człowiek - maszyna - otoczenie lub systemy ekspertowe.

## 2. ZASTOSOWANIE SYSTEMU EKSPERTOWEGO W OCENIE ERGONOMICZNEJ

Najistotniejszym zadaniem w procesie budowy systemu ekspertowego było zorganizowanie badań, mających na celu uzyskanie opinii ekspertów. Opinie te umożliwiają określenie czynników decydujących o poziomie ergonomicznym stanowisk pracy maszynistów.

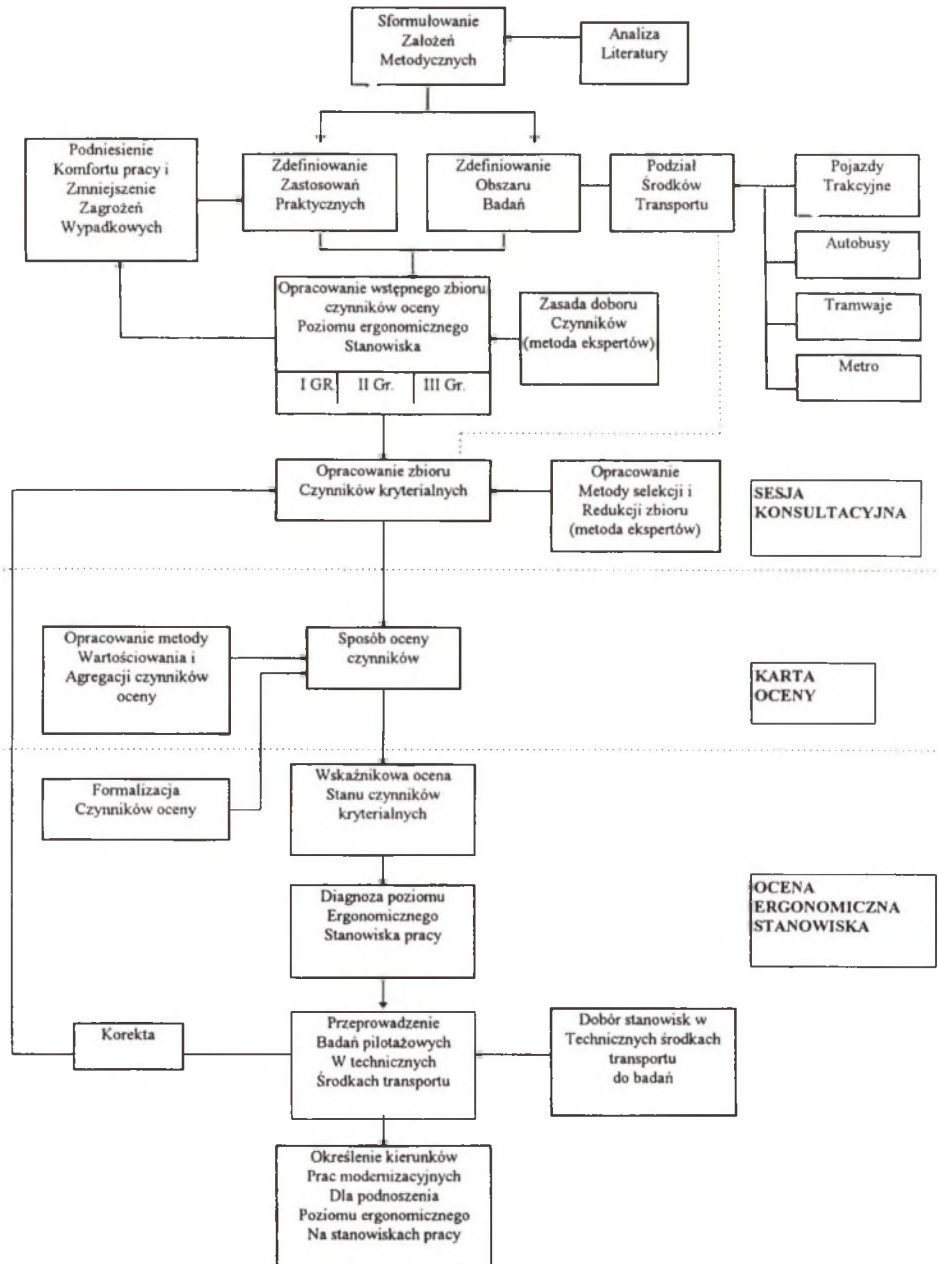
W ramach tych badań [1, 2] ustalono grupy czynników, które mają wpływ na poziom ergonomiczny stanowisk pracy w lokomotywach elektrycznych. Ujęto je w trzech grupach:

- czynniki konstrukcyjno-techniczne (wysokość pola pracy, rozmieszczenie wyposażenia kabiny, rozmieszczenie i widoczność urządzeń sterowniczych i wskaźnikowych, konstrukcja fotela, widoczność szlaku oraz zabezpieczenie elementów ostrych i wystających);
- czynniki ludzkie (przystosowanie do pracy, kondycja psychofizyczna, obciążenie psychiczne, monotonia i monotypowość);
- czynniki materialnego środowiska (hałas, drgania, mikroklimat, oświetlenie, zapylenie i zanieczyszczenie powietrza, pole elektromagnetyczne i kolorystyka).

Szczegółowy sposób postępowania przy wspomaganym komputerowo ocenie poziomu ergonomicznego stanowiska pracy w technicznych środkach transportu ilustruje algorytm (rys.1).

Zgodnie z przedstawionym rys.1 algorytmem na całkowitą ocenę składają się następujące etapy:

- przeprowadzenie sesji konsultacyjnej,
- opracowanie karty oceny,
- sformułowanie ergonomicznej oceny stanowiska.



Rys.1. Algorytm systemu ekspertowego oceny poziomu ergonomicznego stanowisk pracy w środkach transportu  
 Fig.1. Algorithm of expert system for ergonomic level evaluation of vehicle driver's work-place

Badania wykazały, że z punktu widzenia optymalizacji warunków pracy maszynisty znaczenie poszczególnych czynników jest różne w zależności od typu lokomotywy. Mało efektywne jest zatem ocenianie stanowisk według jednakowego zbioru czynników ergonomicznych. Istnieje konieczność opracowania bazy danych, z której można by wybrać te czynniki, które są istotne dla danego typu stanowiska. Umożliwiłyby to szybsze i bardziej efektywne przeprowadzenie diagnozy. Wyboru tego dokonuje się podczas **sesji konsultacyjnej**.

**Karta oceny** zawiera dane identyfikujące badane stanowisko, tzn. rodzaj środka transportu, typ lub markę oraz numer ewidencyjny i nazwę zakładu, a także dane identyfikujące oceniającego. Karta jest dokumentem źródłowym inwentaryzacji czynników ocenianych na stanowisku pracy. Zawiera ona te grupy czynników, które zostały w sesji konsultacyjnej uznane za najbardziej istotne (kryterialne) dla danego środka transportu.

System rejestruje nadane przez oceniających poszczególnym czynnikom kryterialnym oceny (w skali od 1 do 3), przy czym:

- 3 - to stan dobry - nie budzący zastrzeżeń, stwarzający minimalną uciążliwość pracy, dający poczucie komfortu,
- 2 - to stan dopuszczalny - zastrzeżenia i usterki mieszczą się w granicach norm, nie stwarzają jednak komfortu pracy, wymaga unowocześnienia poziomu warunków pracy i organizacji produkcji,
- 1 - to stan niedopuszczalny - zastrzeżenia i usterki przekraczają dopuszczalny poziom uciążliwości pracy, stwarzając zagrożenie, dezorganizując pracę.

Nierozwiązanym do końca problemem pozostaje ocena stopnia ważności poszczególnych czynników na danym stanowisku oraz określenie wskaźnika charakteryzującego **ocenę kompleksową**. Wskaźnik ten powinien uwzględniać skwantyfikowany udział danego czynnika w ogólnej ocenie poziomu ergonomicznego.

Systemy ekspertowe tylko w pewnym zakresie rozwiązują problem wyboru czynników najbardziej istotnych dla danego stanowiska. Podobnie przedstawia się system nadawania wag poszczególnym czynnikom.

### 3. ZAŁOŻENIA BUDOWY MODELU UKŁADU CZŁOWIEK - POJAZD - OTOCZENIE

Szerszym spojrzeniem na problem optymalizacji układu człowiek - maszyna - otoczenie jest próba budowy modelu takiego układu. Powstaje jednak pytanie, jak przeprowadzić jego weryfikację i identyfikację? Jedną z odpowiedzi na to pytanie jest zastosowanie komputerowych metod symulacyjnych, które znalazły już swoje miejsce i w ergonomii. Przy czym model maszyny jest już dość dobrze zdefiniowany i określony m.in. prawami mechaniki oraz funkcjonującymi układami sterowania [3].

Główne problemy budowy modelu człowieka związane są natomiast z jego zmiennymi stanami psychofizycznymi, różnorodną inteligencją, wiedzą, wyszkoleniem itd. Metodologicznie złożonym zagadnieniem jest więc pytanie, jak analizować wzajemne oddziaływanie człowieka na maszynę, a maszyny na człowieka. Istniejące reguły w wielu przypadkach często wyrażone są tylko w postaci hipotez lub uogólnień danych eksperymentalnych.

Jedną z prób określenia własności układu człowiek - maszyna - otoczenie jest metoda sieci neuronowych. Wykorzystywana jest ona do modelowania zachowań człowieka oraz własności mechanicznych maszyny, opisanych modelem matematycznym.

W związku z tym stanowisko pracy maszynisty można rozpatrywać jako model składający się z podukładów: „pojazd”, „człowiek”, „otoczenie”.

Jako założenia wstępne przyjęto, że:



1. „Maszyna” oznacza „Pojazd”;
2. W ogólnym modelu, zachowanie podukładu „Pojazd” określone jest poprzez równania mechaniki typowe dla danego obiektu z uwzględnieniem układu sterowania;  
W równaniach określających „Pojazd” uwzględniono tak zwane „SOCZnP” - Sygnały Oddziaływania Człowieka na Pojazd.
3. Będzie można modelować tzw. „Sytuacje” tzn. różne manewry czy działania realizowane przez „Pojazd”;
4. „SOCZnP” są funkcją szeregu parametrów, w tym sygnałów będących sprzężeniami zwrotnymi od podukładu „Pojazd”;
5. Model globalny Człowiek - Pojazd powinien umożliwiać analizę ruchu pojazdu, jego oddziaływanie na człowieka oraz ocenę bezpieczeństwa całego układu.

W modelu uwzględniono np. sygnały oddziaływania człowieka na pojazd. Człowiek może oddziaływać poprzez  $n$  czynności typowych dla analizowanej przez model sytuacji. Dla danej  $i$ -tej czynności oddziaływanie na pojazd scharakteryzowane jest poprzez trzejelementowy wektor (patrz rysunek 2):

$$U_i = [u_{i1}, u_{i2}, u_{i3}]^T, \quad (1)$$

gdzie:

- $u_{i1}$  - czas rozpoczęcia manewru,
- $u_{i2}$  - poprawność przeprowadzenia manewru,
- $u_{i3}$  - szybkość przeprowadzenia manewru.

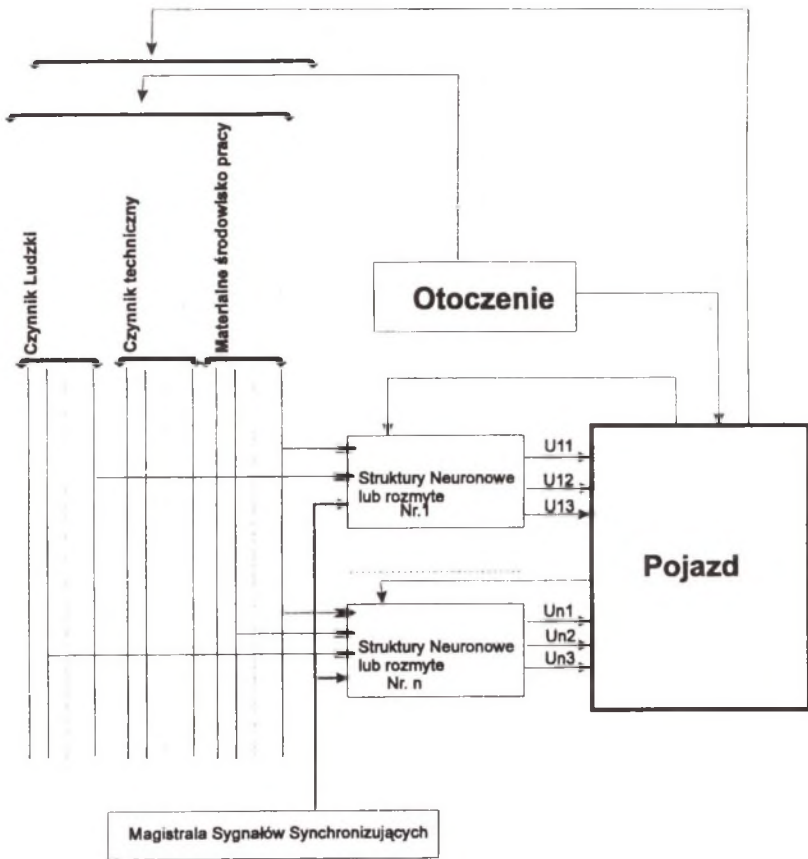
Istotną trudnością jest określenie wartości składowych wektora  $U_i = [u_{i1}, u_{i2}, u_{i3}]^T$ . Można przyjąć założenie, że wartości tego wektora są funkcją trzech składników:

$$U_i = F(\bar{C}, \bar{M}, \bar{S}), \quad (2)$$

gdzie:

- $\bar{C}$  - wektor tzw. czynników ludzkich,
- $\bar{M}$  - wektor tzw. czynników technicznych,
- $\bar{S}$  - wektor czynników związanych z otoczeniem (materialnym środowiskiem pracy).

Liczba składowych wektora  $\bar{C}$  jest bardzo liczna i może podlegać dalszym podziałom. Jest to między innymi: kondycja psychofizyczna, wydatek energetyczny, obciążenie psychiczne informacjami, doświadczenie i wykszolenie, choroby zawodowe itp. Z kolei wektor  $\bar{M}$  określają takie komponenty, jak stan techniczny pojazdu, stopień automatyzacji itd. Wektor  $\bar{S}$  determinowany jest przez np. hałas, drgania mechaniczne. W procesie symulacji niektóre składniki wektorów  $\bar{C}$ ,  $\bar{M}$  oraz  $\bar{S}$  mogą być arbitralnie zadane lub traktowane jako sprzężenia zwrotne od modelu symulacyjnego układu pojazd-otoczenie (rysunek 2). Zauważmy, że dla danego wektora  $U_i$  odnoszącego się do danej czynności jego składowe nie muszą być odwzorowaniem wszystkich składników wektorów  $\bar{C}$ ,  $\bar{M}$  oraz  $\bar{S}$ , ale tylko niektórych uznanych za najważniejsze. Warto zwrócić uwagę również na fakt, że niektóre czynności muszą być wykonywane sekwencyjnie (jedna po drugiej), stąd w modelu na rys.2 założono konieczność implementacji magistrali będącej swego typu synchronizatorem.



Rys.2. Schemat koncepcyjny modelu Człowiek - Pojazd - Otoczenie  
 Fig.2. Idea scheme of model of man-machine- environment system

#### 4. ZAKRES BADAŃ SYMULACYJNYCH

Proponuje się wykorzystanie wielowarstwowych nieliniowych sieci neuronowych i zastosowanie najbardziej sprawdzonego algorytmu wstecznej propagacji błędów w procesie uczenia się sieci. Proces uczenia się sieci oraz akwizycji danych pomiarowych należy w założonym modelu symulacyjnym postrzegać jako proces ciągły (wręcz jako istotny element całego procesu symulacji). Do najważniejszych zadań realizowanych przez zaproponowany model zaliczyć będzie można:

1. Badania symulacyjne (zachowanie się pojazdu) kompleksowego układu składającego się z człowieka, pojazdu i otoczenia.
2. Analizę oddziaływania pojazdu na człowieka.
3. Atestację konstrukcji pojazdów z punktu widzenia parametrów ergonomicznych.

W tym celu konieczna jest implementacja danych eksperymentalnych, dotyczących psychofizjologicznych reakcji człowieka w różnorodnych stanach otoczenia i pojazdu.

## 5. PODSUMOWANIE

Przedstawione wyniki badań wykazują celowość zastosowania sieci neuronowych w budowaniu modeli układu człowiek - maszyna - otoczenie. Przyjęte założenia hipotetyczne modelu mogą stanowić podstawę do opracowania metody badań różnicującej wagę poszczególnych czynników kryterialnych w zależności od rodzaju środka transportu. Zdaniem autorki celem byłaby weryfikacja modelu na konkretnym stanowisku pracy maszynisty. W pierwszej fazie tych badań niezbędne jest przeprowadzenie szeregu eksperymentów, co jest całkowicie realne ze względu na istniejący już symulator kabiny lokomotywy elektrycznej EP-09. Wykorzystanie tego symulatora znacznie przyspieszyłoby zastosowanie opracowanego modelu w praktyce.

## LITERATURA

1. Grabarek I.: Opracowanie systemu rejestracji i analizy kryteriów oceny poziomu ergonomicznego stanowisk pracy w środkach transportu. Praca własna, WT PW, Warszawa 1997.
2. Grabarek I.: Założenia metody selekcji zbioru kryteriów oceny poziomu ergonomicznego różnego typu środków transportu. Praca własna, WT PW, Warszawa 1997.
3. Grabarek I., Choromański W., Bajon W.: Computer Aided Simulation of Dynamic Properties of the Man Vehicle System (referat przyjęty na „Haamaha'98” - Sixth International Conference on Human Aspects of Advanced Manufacturing: Agility & Hybrid Automation).
4. Praca zbiorowa: Opracowanie kryteriów, wymagań i metod oceny bezpieczeństwa pracy i ergonomii dla lokomotyw elektrycznych. IT PW, Warszawa 1986.
5. Salvendy G.: Handbook of Human Factors and Ergonomics, John Wiley & Sons 1997.

Recenzent: Prof.dr hab.inż. Jan Gronowicz

## Abstract

The paper presents computer aided simulation techniques applied to the study of ergonomic problems. The main concept behind the solution proposed here is the integration of knowledge and skills from different scientific disciplines (including modelling methods and simulation techniques thereof). The paper contains the algorithm of expert system for ergonomic level evaluation of electric locomotive driver's work - place.

Author presents the concept of building a simulation model of the man - vehicle - environment. Human behaviour is simulated with the help of artificial neural networks. The model makes it possible to analyse the man - vehicle - environment system. What is essential about the proposed model is that it integrates the model of a vehicle, that of control with the „human factor”, describing human behaviour.