

GRABAREK Iwona¹
CHOROMAŃSKI Włodzimierz²

NOWA KONCEPCJA ANALIZY BEZPIECZEŃSTWA UKŁADU OPERATOR- POJAZD ZE SZCZEGÓLNYM UWZGLĘDNIENIEM CZYNNIKA LUDZKIEGO

Zagadnienie bezpieczeństwa w układach operator-pojazd ma charakter wieloaspektowy. Elementem najbardziej zawodnym tego układu jest człowiek. Narażony jest on na różne zagrożenia związane ze specyfiką pracy, mające negatywny wpływ na jego kondycję psychofizyczną. Konsekwencją oddziaływania czynników biomechanicznych jest nadmierne obciążenie układu mięśniowo-szkieletowego. Podobną reakcję wywołują także czynniki psychospołeczne. W artykule przedstawiono wyniki badań przeprowadzonych w ramach projektu pn. „Poprawa bezpieczeństwa i warunków pracy” koordynowanego przez Centralny Instytut Ochrony Pracy BIP. Celem badań było określenie wpływu wykonywanych zadań na kondycję psychofizyczną a w konsekwencji bezpieczeństwo pracy operatora w systemach transportowych

THE NEW CONCEPTION OF SAFETY IN THE OPERATOR-VEHICLE SYSTEM PARTICULAR EMPHASIS ON THE HUMAN FACTOR

The safety in human-vehicle system has a multi-faceted nature. The most unreliable element of this system is the human being. He can be liable for different hazards connected with the specifics of his work. They can pose a negative influence on his psychomotor efficiency. One of the main consequences of biomechanics factors negative action are musculoskeletal overloading. Recent studies suggest that a similar reaction is also caused by psychosocial factors. Research has been carried out within the project 'Improvement of work conditions', coordinated by the Central Institute of Work Safety / Grabarek I. - head of research/, and results are presented in this article. The aim of the research was to determine the influence of performance tasks on psychophysical condition and work safety of operator in transportation systems.

1. WSTĘP

Problem dostosowania człowieka i techniki do siebie w taki sposób, aby z jednej strony zachować możliwość rozwoju człowieka, a z drugiej zapewnić niezawodne funkcjonowanie techniki, szczególnego znaczenia nabiera w transporcie pasażerskim, gdzie skutki błędu

¹Politechnika Warszawska, Wydział Transportu; 00-662 Warszawa; ul. Koszykowa 75; E-mail: igr@it.pw.edu.pl

² Politechnika Warszawska, Wydział Transportu; 00-662 Warszawa; ul. Koszykowa 75; E-mail: wch@it.pw.edu.pl

człowieka decydują o bezpieczeństwie wielu ludzi. Niezwykle istotne jest zapewnienie prawidłowych warunków pracy na stanowiskach operatorów środków transportu, w celu uzyskania wysokiej sprawności ich działania, jak również bezpieczeństwa pracy. Skutki wykonywanej pracy można analizować w różnych aspektach. Każdy człowiek charakteryzuje się m.in.: profilem osobowościowym, wiekiem, płcią, stanem zdrowia w danym momencie, doświadczeniem. Cechy te różnicują między sobą poszczególnych pracowników, a także powodują różny wpływ czynników zewnętrznych związanych z pracą, na kondycję psychofizyczną operatora. Stan ten można scharakteryzować sprawnością psychomotoryczną, stanem fizjologicznym (na ile proces pracy wpływa na odchylenia parametrów charakteryzujących wewnętrzną równowagę organizmu), obciążeniem mięśniowo-szkieletowym.

Modelowanie i symulacja wybranych działań człowieka, jako elementu układu człowiek – maszyna – otoczenie, daje możliwość przewidywania jego zachowania zarówno w normalnych, jak i w ekstremalnych warunkach pracy. Człowiek jest jednak tym elementem, który ze względu na swoją złożoność stwarza największą trudność w modelowaniu. W literaturze przedstawione są różne próby i podejścia do rozwiązania tego problemu [1]. W każdej analizie dotyczącej funkcjonowania człowieka w złożonych układach, uwzględniającej związki zachodzące między użytkownikiem, maszyną i otoczeniem należy brać pod uwagę naturalną losowość procesów percepcyjnych człowieka oraz ich silną zależność od różnych czynników. Metody wykorzystujące modelowanie i symulacje natrafiają na duże trudności, w przypadku gdy wykraczają poza zagadnienia czysto geometryczne i mechaniczne. Pewnym sposobem przezwyciężenia tych trudności jest modelowanie heurystyczne [1]. Istotnym zagadnieniem związanym z procesem pracy, w tym również pracy operatorów, jest rosnąca liczba chorób układu ruchu, które stanowią duży problem społeczny i ekonomiczny. Dolegliwości spowodowane chorobami tego układu w ostatnim dziesięcioleciu rozpoznawane są jako jedna z głównych przyczyn czasowej niezdolności do pracy. Wśród czynników decydujących o powstawaniu zaburzeń układu mięśniowo-szkieletowego można wyróżnić czynniki genetyczne, morfologiczne, psychospołeczne i biomechaniczne. Czynniki biomechaniczne i czynniki psychospołeczne stanowią tzw. czynniki środowiska pracy. Biomechaniczne czynniki ryzyka wpływające bezpośrednio na obciążenie mięśniowo-szkieletowe wynikają z typu wykonywanych czynności pracy i powiązane są z procesem pracy poprzez pozycję ciała pracownika, wywierane siły i sekwencje czasu. Szczególnego znaczenia nabiera obszar badań wskazujących na zależności między psychospołecznymi czynnikami ryzyka a występowaniem dolegliwości mięśniowo-szkieletowych. Istotnym obszarem badań jest różnicowanie reakcji organizmu ze względu na typ obciążenia psychicznego poprzez różnice w wartościach parametrów obrazujących wzrost napięcia mięśniowego, wzrost częstości skurczów serca oraz wzrost częstości oddechu.

2. OGÓLNE ZAŁOŻENIA PROCEDURY BADAWCZEJ

Analizowane w referacie badania zostały przeprowadzone na grupie 15 mężczyzn o średnim wieku – 23 lata. Miejszem badań było Laboratorium Badań Symulacyjnych i Eksperymentalnych Układu Operator-Środek Transportu-Otoczenie na Wydziale Transportu Politechniki Warszawskiej. Podczas badań rejestrowano sygnał EMG z czterech mięśni kończyny górnej prawej oraz następujące parametry fizjologiczne: krzywa

oddychania /RSP1/, amplituda oddychania /RSPA/, częstość oddechu /RSPF – RF/, amplituda tętna /PVA/, częstość tętna /PULS – HR/.

Pomiary wymienionych parametrów wykonywano w trzech różnych sytuacjach obciążenia:

- pozycją ciała i wykonywaniem testu ciągłości uwagi / DAUF/,
- pozycją ciała i wykonywaniem testu czujności / VIGIL/,
- tylko pozycją ciała - test kontrolny (KONTROL).

Podczas trwania testów z obciążeniem psychicznym (test czujności i test ciągłości uwagi) osoba badana miała za zadanie naciśnięcie w odpowiednim momencie, określonym przez procedurę działania testu, przycisku znajdującego się na pulpicie umieszczonym przed sobą.

Czas trwania każdego z trzech testów wynosił 32 minuty. Kolejność wykonywania poszczególnych testów była różna u poszczególnych osób badanych i przyjmowana w sposób losowy. Pomiedzy kolejnymi testami zachowywano 80 minutowe przerwy, dzięki czemu osoby badane mogły odpocząć [2]. Na rys.1.predstawiono stanowisko badawcze.



Rys.1. Pozycja ciała utrzymywana w trzech sytuacjach obciążenia (test ciągłości uwagi, test czujności i test kontrolny)

Do pomiarów napięcia mięśniowego wykorzystano jednorazowe elektrody powierzchniowe. Parametry fizjologiczne pomierzono przy pomocy urządzenia BIOFEEDBACK 2000, który działał w sprzężeniu z Wiedeńskim Systemem Testów, generującym testy: czujności i ciągłości uwagi. Dla zarejestrowanych sygnałów EMG oraz wybranych parametrów fizjologicznych określono miary, wyrażające ilościowo wskaźniki fizjologiczne i napięcie mięśni, które analizowano w dziedzinie czasu i w dziedzinie częstotliwości. W efekcie wykonywania testów psychologicznych uzyskano takie parametry, jak: czas reakcji poprawnych odpowiedzi oraz liczba poprawnych i błędnych odpowiedzi. Analizę zmian pomierzonych parametrów przeprowadzono dla ośmiu różnych przedziałów.

W wyniku analizy stwierdzono, iż warianty obciążenia znacząco różnicują napięcie mięśniowe wyrażane amplitudą sygnału EMG. Napięcie mięśniowe wszystkich czterech analizowanych mięśni było większe podczas wykonywania testów wymagających uwagi (DAUF i VIGIL). Jednakże nie jest możliwa ogólna ocena, który z tych dwóch testów był bardziej obciążający.

Nie dało się określić jednoznacznego trendu w kształtowaniu się miar parametrów fizjologicznych i napięcia mięśniowego wraz z upływem czasu.

Porównując oba testy, tj. VIGIL i DAUF z punktu widzenia parametrów fizjologicznych, stwierdzono, że wykonanie testu VIGIL, czyli czujności generowało mniejsze ich wartości, dotyczy to zarówno wartości (RSPF – FR) częstości oddechu, jak i (PULS – HR) częstości tętna, tj. w teście VIGIL były one niższe niż w teście DAUF. A zatem można w tym przypadku wnioskować o mniejszym obciążeniu psychicznym generowanym przez test VIGIL.

Również analiza średnich czasów reakcji poprawnych całej grupy badanej określana w 8 przedziałach wskazuje na większą uciążliwość testu DAUF. Procentowy udział odpowiedzi błędnych i opuszczonych w teście VIGIL był mniejszy niż w teście DAUF.

Analiza porównawcza umożliwiła określenie zależności między badanymi wariantami (test czujności - VIGIL, test ciągłości uwagi – DAUF i test kontrolny - KO) oraz zależności między parametrami opisującymi napięcie mięśni (DE, ED, PL, TR) oraz parametrami fizjologicznymi opisującymi częstość skurczów serca (HR) i częstość oddychania (RF). Istotnie statystycznie korelacje występują w przypadku zależności między napięciem mięśni deltoideus (DE) a parametrami fizjologicznymi (HR i RF), a także w przypadku mięśnia palmaris longus (PL) i częstością skurczów serca (HR). Bardzo silne zależności występują pomiędzy częstością skurczów serca a częstością oddechu. Porównując wyniki analizy wariancji i wyniki wartości średnich można zauważyć, iż zarówno wykonywanie testu czujności (VIGIL) jak i testu ciągłości uwagi (DAUF) powoduje przyspieszenie oddechu, tętna oraz zwiększenie napięcia mięśniowego w porównaniu z testem kontrolnym.

3. MODELOWANIE ZWIĄZKÓW PRZYCZYNOWO-SKUTKOWYCH MIĘDZY WARTOŚCIAMI WIELKOŚCI MIERZONYCH

Uzyskane wyniki stanowiły podstawę budowy modeli heurystycznych ujmujących związki przyczynowo-skutkowe zachodzące między nimi. W pierwszym kroku zdecydowano się na budowę modelu bazującego na sztucznych sieciach neuronowych, a drugim na model heurystyczno-probabilistyczny [2].

3.1. Model wykorzystujący sztuczne sieci neuronowe

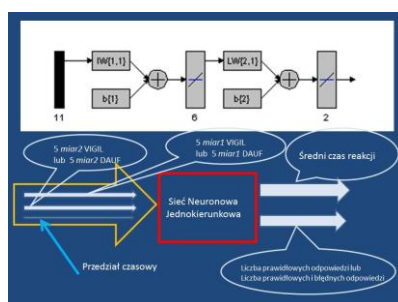
Do modelowania wybrano najprostszą, ale zarazem najpopularniejszą strukturę sieci – sieć dwuwarstwową jednokierunkową – uczonej z tzw. „nauczycielem” oraz wykorzystującą algorytm wstecznej propagacji błędów do wyznaczenia optymalnych wartości wag synaptycznych. Badano zależności między wartościami wyznaczonych miar parametrów fizjologicznych dla testów DAUF i VIGIL a wartością czasu trwania eksperymentu. Wartości wielkości wyjściowych określono jako liczbę reakcji poprawnych, niepoprawnych oraz średni czas reakcji poprawnych. • Do uczenia wybrano wyniki z dwóch przeprowadzonych testów, zatem dysponowano dwoma zestawami wektorów wejściowych. Każdy wektor wejściowy składał się z 11 elementów: 10 miar oraz przedziału czasowego. Jedna badana osoba reprezentowana była przez 8 wektorów wejściowych (ze względu na podział testu na 8 przedziałów). W sumie dysponowano 120 parami wektorów wejściowych i wyjściowych.

Dane wyjściowe sieci reprezentowane były w pierwszym wariancie przez dwa parametry: średni czas reakcji i liczba prawidłowych reakcji, oraz drugim wariancie liczbą prawidłowych reakcji została zastąpiona liczbą prawidłowych i błędnych reakcji. Zadaniem

sieci neuronowej było takie wykształcenie połączeń wagowych aby dopasować każdy z wektorów wejściowych (uczący) do każdego odpowiadającego wektora wyjściowego (cel). Rysunek 2 przedstawia architekturę sztucznej sieci neuronowej i model wykorzystany w badaniach.

Na podstawie uzyskanych wyników i obserwacji stwierdzono, że:

- sztuczna sieć neuronowa może zostać wykorzystana do predykcji parametrów takich jak średni czas reakcji, liczba prawidłowych i nieprawidłowych reakcji.
- najlepsze wyniki podczas treningu sieci uzyskuje się dla liczby neuronów ukrytych w przedziale 5 do 10 szt.
- sieć neuronowa uczyła się do momentu wejścia w stan nasycenia na poziomie 0,25.
- w przypadku obu testów sieć neuronowa z dużą dokładnością generuje wyniki dotyczące liczby poprawnych lub sumarycznych reakcji.
- znacznie lepiej dokonuje predykcji liczby trafnych i nietrafnych reakcji niż średnich czasów reakcji.
- prawdopodobną przyczyną stanu nasycenia do jakiego dochodzi sieć neuronowa jest *mała liczebność badanej populacji* i *mała reprezentatywność* różnych przypadków uczących.



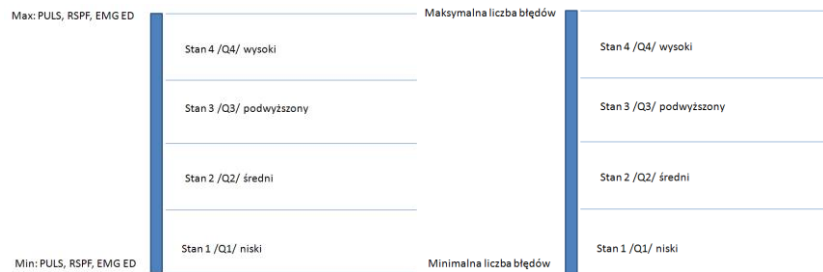
Rys.2. Model oparty na sztucznych sieciach neuronowych

Podsumowując, można stwierdzić że podejście tylko częściowo zakończyło się sukcesem. Wprawdzie proces uczenia był zbieżny, ale błąd między wynikami uzyskanymi z eksperymentu i sieci neuronowej był znaczny. Praktycznie nie wykazano wpływu czasu na liczbę popełnianych błędów. Należy to tłumaczyć prawdopodobnie zbyt krótkim czasem trwania pojedynczego eksperymentu, oraz zbyt małą próbą /nie było możliwości weryfikacji poprawności działania sieci neuronowej/.

3.2. Model heurystyczno-probabilistyczny

Kolejna próba dotyczyła budowy modelu heurystyczno – probabilistycznego wpływu obciążenia psychicznego na parametry psychofizyczne oraz obciążenie układu mięśniowo-szkieletowego. Przedmiotem analiz były trzy miary /w dziedzinie czasu : RMS/ sygnałów : PULS - HR i RSPF- RF oraz EMG DE. Między tymi właśnie sygnałami zaobserwowano wysoki współczynnik korelacji. Z testów DAUF, VIGIL oraz testu kontrolnego określono wartości maksymalne i minimalne wyżej wymienionych sygnałów. W modelu nie

analizowano obciążenia testem kontrolnym, traktując go jako test odniesienia. Definiując jednak cztery stany (niski, średni, podwyższony i wysoki) i analizując rozpiętości między wartościami miar (wartość maksymalna i minimalna) uwzględniono wszystkie trzy testy. Wartości minimalne wynikały przede wszystkim właśnie z testu kontrolnego. Górną granicę stanu wysokiego określono za pomocą maksymalnych wartości tych parametrów uzyskanych w teście DAUF. Podobnego podziału dokonano ze względu na liczbę popełnionych błędów. Na rysunku 3 przedstawiono stany fizjologiczne i stany ze względu na liczbę popełnianych błędów. Założono, że przebywanie systemu w danym stanie ma charakter przypadkowy /probabilistyczny/. Przy czym znajdowanie się w poszczególnym stanie podlega prawom procesu Markowa. Ponieważ, jak już wspomniano, nie zaobserwowano szczególnych zmian wartości analizowanych wielkości w czasie, założono że proces ma charakter stacjonarny. Przyjęto model łańcucha Markowa /procesu bez historii, ciągłego w czasie i dyskretnego w przestrzeni stanów/.



Rys.3. Stany odpowiadające poziomowi fizjologicznemu i liczbie popełnionych błędów

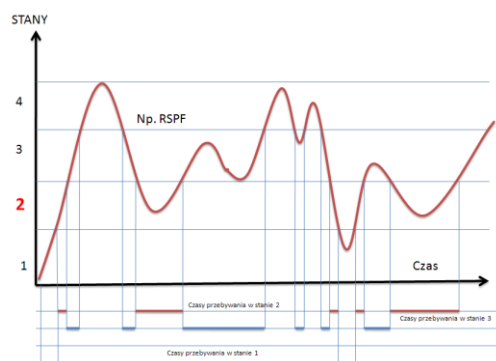
Proces zdefiniowano poprzez macierz prawdopodobieństw przejść, która miała wymiar 4x4:

$$P(Q_i/Q_{i-1}) = \begin{bmatrix} p_{11} & p_{12} & p_{13} & p_{14} \\ p_{21} & p_{22} & p_{23} & p_{24} \\ p_{31} & p_{32} & p_{33} & p_{34} \\ p_{41} & p_{42} & p_{43} & p_{44} \end{bmatrix} \quad (3)$$

Przyjęcie dyskretyzacji na poziomie czterech stanów miało charakter arbitralny. W przypadku analizy miar: PULS-HR, RSPF - RF, oraz EMG ED macierz ze względu na czasową ciągłość miar ma postać:

$$P(Q_i/Q_{i-1}) = \begin{bmatrix} p_{11} & p_{12} & 0 & 0 \\ p_{21} & p_{22} & p_{23} & 0 \\ 0 & p_{32} & p_{33} & p_{34} \\ 0 & 0 & p_{43} & p_{44} \end{bmatrix} \quad (4)$$

Prawdopodobieństwa przejść określono na podstawie danych eksperymentalnych. Przykład takiego określenia dla przypadku pierwszego podano na rysunku 4.



Rys.4. Ilustracja określenia prawdopodobieństw dla macierzy przejść

Wprowadźmy następujące oznaczenia:

T_{stan1} - czas przebywania w stanie 1 /w czasie trwania eksperymentu/

T_{stan2} - czas przebywania w stanie 2 /w czasie trwania eksperymentu/

T_{stan3} - czas przebywania w stanie 3 /w czasie trwania eksperymentu/

Wówczas przykładowe prawdopodobieństwa dla macierzy (3) można określić zależnościami:

$$p_{22} = \frac{T_{stan2}}{T_{stan1} + T_{stan2} + T_{stan3}} ; p_{21} = \frac{T_{stan1}}{T_{stan1} + T_{stan2} + T_{stan3}} ; p_{23} = \frac{T_{stan3}}{T_{stan1} + T_{stan2} + T_{stan3}} \quad (5)$$

Analogicznie można określić pozostałe elementy macierzy (4). Macierze posłużyły do symulacji zmian stanów dla łańcucha Markowa oraz dla znalezienia rozkładów stacjonarnych, tzn. takich które określają prawdopodobieństwo globalne znalezienia się układu w danym stanie.

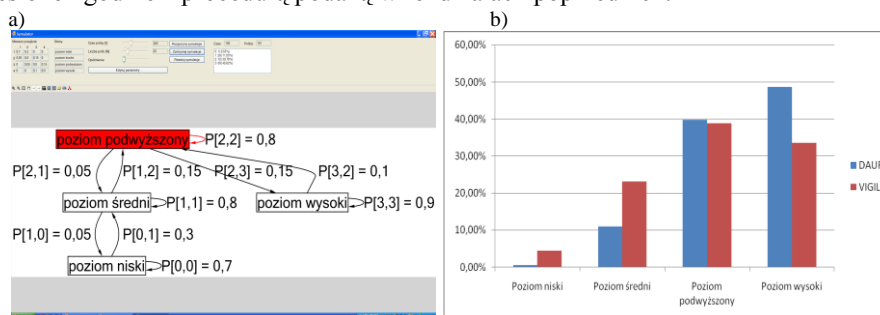
3.3. Model symulacyjny. Wyniki badań symulacyjnych

Koncepcja badań symulacyjnych polegała na zbudowaniu symulatora realizacji opisanego w poprzednim rozdziale łańcucha Markowa. W miarę wzrostu iteracji symulator generował rozkład stacjonarny prawdopodobieństwa przebywania w poszczególnych stanach Q_i $i=1,2,3,4$. Macierz przejść zależna jest od obciążenia psychicznego i zróżnicowana dla testu VIGIL i DAUF. W rzeczywistości obciążenie psychiczne (np. operatora maszyny) jest złożone i zmienne w czasie, a zatem w przyszłych badaniach należy uwzględnić możliwość ciągłej zmiany „natężenia” obciążenia psychicznego. Będzie to skutkowało zmianą wartości macierzy zdefiniowanych równaniami (3) oraz (4). W referacie ograniczono się do porównania testu VIGIL i DAUF dla dwóch przypadków:

1. Mierzone miary: PULS -HR i RSPF- FR oraz EMG DE
2. Mierzone miary : Liczba popełnianych błędów

3.3.1. Wpływ obciążenia psychicznego na PULS - HR, RSPF- FR oraz EMG DE dla testów: VIGIL DAUF

Strukturę łańcucha Markowa przedstawiono na rysunku 5a. Możliwe są w niej przejścia ze stanu danego do stanów bezpośrednio sąsiadujących. Macierz prawdopodobieństw przejść określono zgodnie z procedurą podaną w rozdziałach poprzednich.

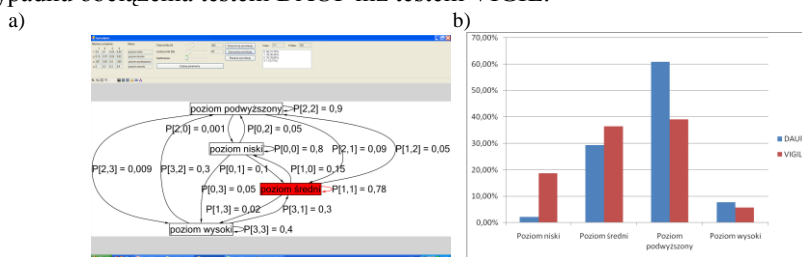


Rys.5. a) Struktura łańcucha Markowa – obraz z symulatora; b) Funkcja rozkładu prawdopodobieństw przebywania w poszczególnych stanach

Na podstawie uzyskanych wyników symulacji można wnioskować o większym obciążeniu generowanym przez test DAUF.

3.3.2. Wpływ obciążenia psychicznego na liczbę popełnionych błędów dla testów: VIGIL DAUF

Struktura łańcucha Markowa została podana na rys. 6a. W odróżnieniu od przypadku poprzedniego możliwe są przejścia między dowolnymi stanami. Pokrywa się to z wynikami uzyskanymi z eksperymentu. Zauważono np. że czasami liczba błędów popełniana w początkowej fazie eksperymentu była większa od liczby błędów popełnianych w fazie końcowej. W tym przypadku również można zaobserwować bardziej obciążający wpływ testu DAUF w porównaniu z testem VIGIL. Oznacza to, że prawdopodobieństwo osiągnięcia kondycji psychofizycznej odpowiadającej parametrom stanów wyższych, tzn. zdefiniowanych przez wyższe wartości pomierzonych parametrów jest większe w przypadku obciążenia testem DAUF niż testem VIGIL.



Rys.6 a) Struktura łańcucha Markowa – obraz z symulatora; b) Funkcja rozkładu prawdopodobieństw przebywania w poszczególnych stanach

4. WNIOSKI

W wyniku realizacji projektu stwierdzono zależność między obciążeniem psychicznym, wynikającym z wykonywanej pracy a parametrami kondycji psychofizycznej, tj. częstością rytmu serca, częstością oddechu, sygnałami EMG mięśni ramienia i przedramienia, a w szczególności mięśnia DE, średnim czasem poprawnych reakcji i liczbą błędnych reakcji. W większości przypadków wykazano istotne różnice w wartościach miar charakteryzujących parametry fizjologiczne. Szczególnie wartościowy jest wynik wskazujący na zróżnicowany wpływ obciążenia psychicznego. Zakładając, że operator spełnia wymagania z punktu widzenia umiejętności, wiedzy, czyli doboru zawodowego, należy podkreślić, że stan psychofizyczny operatora uwarunkowany jest jego cechami indywidualnymi oraz specyfiką pracy. Stan obniżonej sprawności, wynikający z oddziaływania czynników procesu pracy, ma swoje przełożenie na prawidłowe podejmowanie decyzji i realizowanie czynności sterowniczych, co może prowadzić do popełniania przez operatora błędów i tym samym zmniejszenia bezpieczeństwa całego układu. Próba budowy modeli heurystycznych, ujmujących związki przyczynowo - skutkowe między miarami parametrów psychofizycznych, liczbą popełnionych błędów a obciążeniem psychicznym ma charakter badań podstawowych. Należy wyraźnie podkreślić, że w literaturze nie ma udokumentowanych i zweryfikowanych tego rodzaju modeli. W wyniku badań symulacyjnych zaobserwowano bardziej obciążający wpływ testu DAUF w porównaniu z testem VIGIL. Oznacza to, że prawdopodobieństwo osiągnięcia kondycji psychofizycznej odpowiadającej parametrom stanów wyższych, tzn. zdefiniowanych przez wyższe wartości pomierzonych parametrów, jest większe w przypadku obciążenia testem DAUF niż testem VIGIL. Rozwijanie badań dotyczących oceny zmęczenia psychicznego operatora na bazie pomiaru parametrów fizjologicznych i sygnałów EMG oraz sformułowanie ilościowych zależności między nimi, ma szanse na zastosowanie w praktyce, np. w celu opracowania rozwiązań technicznych pojazdów, które z założenia minimalizowałyby prawdopodobieństwo popełniania błędów i w konsekwencji liczbę wypadków. Modele te mogą posłużyć do budowy hybrydowych modeli własności dynamicznych pojazdów tzn. takich modeli, które obok układów mechanicznych, układów sterowania, uwzględniają szeroko rozumiany „czynnik ludzki”. Nie chodzi tu tylko o modelowanie układu biomechanicznego człowieka, ale modelowanie człowieka jako układu decyzyjno-sterującego.

5. BIBLIOGRAFIA

- [1] Grabarek I.: „*Diagnozowanie ergonomiczne układu operator – pojazd szynowy – otoczenie*”, rozprawa habilitacyjna, Prace Naukowe Wydziału Transportu Politechniki Warszawskiej, zeszyt 51, Warszawa 2003, s. 189
- [2] Grabarek I., Roman-Liu D., Choromański W., Bartuzi P.: *Wpływ obciążenia psychicznego na sprawność działania i obciążenie mięśniowo-szkieletowe operatora*. Prace Naukowe Transport, z.78, Warszawa 2011, s. 37-52.
- [3] Grabarek I., Choromański W., - *The influence of mental workload on operator's efficiency and musculoskeletal fatigue.*, Proceedings of the 6th World Congress on Biomechanics, Singapore; 1 - 6 August 2010, Vol.31, Springer.