

Andrzej W. MITAS, Zbigniew CZAPLA, Marcin BUGDOL, Artur RYGUŁA

REJESTRACJA I OCENA PARAMETRÓW BIOMETRYCZNYCH KIEROWCY DLA POPRAWY BEZPIECZEŃSTWA RUCHU DROGOWEGO

Streszczenie. Celem artykułu jest opracowanie algorytmów reakcji biometrycznej kierowcy, związanej ze zmianą jego stanu emocjonalnego, która w sposób jednoznaczny wpływa na bezpieczeństwo w ruchu drogowym. Głównym założeniem merytorycznym jest twierdzenie, iż stan psychofizyczny kierowcy ma bezpośrednie przełożenie na wskaźniki biometryczne, wyznaczane za pomocą dostępnej aparatury pomiarowej.

RECORDING AND EVALUATION OF DRIVER'S BIOMETRICS PARAMETERS FOR A TRAFFIC SAFETY IMPROVEMENT

Summary. The aim of this paper is to elaborate driver's biometrical reaction algorithms connected with the change of his emotional state, which unambiguously affects the traffic safety. The main assumption of the paper is the statement that driver's psycho-physiological state has a direct impact on biometrical indicators which are measured with available equipment.

1. WSTĘP

Poziom sprawności psychofizycznej kierowcy jest podstawowym elementem warunkującym bezpieczeństwo w ruchu drogowym. Podczas pracy kierowcy występuje wiele czynników, bezpośrednio lub pośrednio wpływających na jego zachowania na drodze, poczynając od predyspozycji fizycznych, przez stan psychiczny kierowcy, kończąc na warunkach otoczenia pracy i zewnętrznych bodźcach, wpływających na reakcje podczas prowadzenia pojazdu.

Do podstawowych czynników stanu fizycznego możemy zaliczyć: sprawność układu sercowo-naczyniowego, nerwowego, sprawność narządów zmysłu i równowagi, jak również wydolność ruchową. Czynniki stanu psychicznego to przede wszystkim: otepienie, zaburzenia afektywne, psychoza, schizofrenia, zespoły reaktywne i paranoiczne czy zjawisko agresji kierowcy [6]. Dodatkowo na poziom sprawności psychomotorycznej kierowcy wpływają warunki środowiskowe miejsca pracy, czyli: hałas, drgania, wibracje, chemia przemysłowa oraz ergonomia kabiny pojazdu. Istotne znaczenie mają również natężenie ruchu, warunki pogodowe, jak również korzystanie z urządzeń pokładowych i telekomunikacyjnych w trakcie ruchu pojazdu. Równie ważnym i istotnym elementem pracy kierowcy jest zjawisko

zmęczenia, występującego w wyniku długotrwałego wykonywania monotonnych czynności podczas prowadzenia pojazdu [2].

Przedstawione czynniki wpływają negatywnie na uwagę kierowcy, znacznie redukują szybkość i zakres spostrzegania, a przede wszystkim zasadniczo wydłużają czas reakcji na dynamicznie występujące sytuacje drogowe. Czynniki te ograniczają zdolność kierowcy do prowadzenia pojazdu, zasadniczo zwiększają prawdopodobieństwo wystąpienia niebezpiecznej sytuacji ruchowej na drodze.

2. MOŻLIWOŚCI OCENY SPRAWNOŚCI KIEROWCY

Obecnie prowadzone badania skupiają się na różnorodnych metodach oceny zmęczenia kierowcy, poczynając na monitoringu zewnętrznych parametrów jazdy, takich jak kierunek, szybkość czy przyspieszenie, a kończąc na kontrolowaniu parametrów psychofizycznych kierowcy.

Do rejestracji zewnętrznych parametrów jazdy wykorzystuje się urządzenia elektroniczne, rejestrujące zmiany tzw. stylu jazdy kierowcy. Zmiany te można określić poprzez analizę charakterystyki siły nacisku na pedał hamulca i gazu, poprzez rejestrację obrotu kierownicy, poprzez kontrolę kierunku prowadzenia pojazdu, jak również poprzez zastosowanie urządzeń tachometrycznych, pozwalających określić prędkość pojazdu w poszczególnych momentach czasowych drogi [5]. Współczesne technologie umożliwiają również zastosowanie urządzeń wykorzystujących technologię GPS, rejestrujących położenie pojazdu z dokładnością do 3 m i częstotliwością do 10 Hz.

Metody analizy stanu psychofizycznego kierowcy można podzielić na dwie główne grupy:

- a) wykorzystujące cechy zewnętrzne kierowcy,
- b) wykorzystujące sygnały biomedyczne kierowcy.

Obserwacja zachowania oraz stanu emocjonalnego kierowcy pozwala na ocenę efektywności jego pracy. Monitorowaniu podlegają m.in. takie elementy charakterystyczne twarzy, jak: oczy, kąciki ust czy brwi. Spośród cech zewnętrznych najwięcej informacji o stanie kierowcy przekazują oczy. Stopień zamknięcia, częstotliwość mrugania czy też ruchliwość oczu (np. skupienie uwagi na pewnych stałych punktach takich, jak lusterka) umożliwia ocenę poziomu zmęczenia oraz stopnia koncentracji kierowcy na kierowaniu pojazdem [7]. Do oceny cech zewnętrznych powszechnie wykorzystywane są kamery cyfrowe, w szczególności takie, które rejestrują światło podczerwone, ponieważ pozwalają one również na pracę w nocy. Rozwiązania te cechują się niskimi kosztami, gdyż zwykłe kamery „internetowe” zapewniają wystarczającą dokładność. W warunkach laboratoryjnych można również wykorzystać pomiary EOG, które pozwalają na uzyskanie większej dokładności, lecz pomiar ten może zostać w łatwy sposób zaburzony, na przykład przez ruch głowy. Użycie kamer poza obserwacją oczu umożliwia także analizę stanu emocjonalnego kierowcy [10]. Jak powszechnie wiadomo stan ten (np. złość) ma duży wpływ na tworzenie przez kierowcę niebezpiecznych sytuacji na drodze.

Sygnały biomedyczne kierowcy dostarczają wielu dokładniejszych informacji o stanie kierowcy, jednak większość metod charakteryzuje się dużą inwazyjnością, która wynika z potrzeby podłączania różnego rodzaju sensorów do ciała kierowcy.

Jedną z najbardziej dokładnych metod oceny efektywności kierowcy jest pomiar EEG [7, 9], który dostarcza bardzo szczegółowych informacji o stanie kierowcy. Jednak z uwagi na bardzo wysoką inwazyjność (nawet do 19 elektrod, według zaleceń ICFN) metoda ta jest wykorzystywana głównie w warunkach laboratoryjnych.

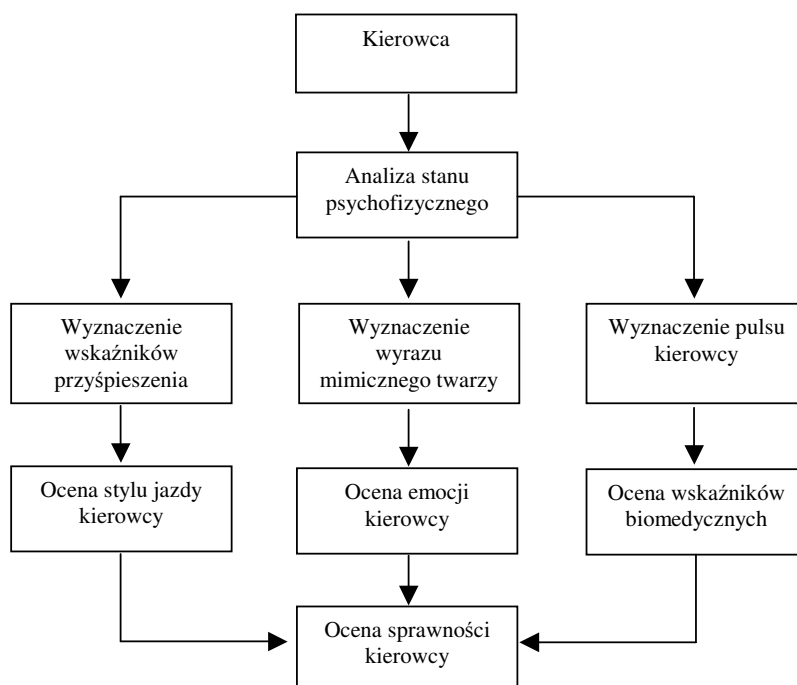
Pomiar EKG również dostarcza wielu danych o stanie kierowcy, a jednocześnie nie ma potrzeby użycia tak wielu elektrod, jak w przypadku pomiarów EEG. Do poprawnego pomiaru wystarczą 3 elektrody, choć istnieją metody oparte na pomiarze z użyciem tylko jednego czujnika. Do rejestracji sprawności układu sercowo-naczyniowego można również wykorzystać pletyzmograf. Urządzenie dokonuje pomiaru ciśnienia krwi przepływającej przed dany narząd lub kończynę ciała. Studia literaturowe potwierdzają korelację pomiędzy zakłóceniami pracy układu sercowo-naczyniowego (np. spadek tętna, może oznaczać senność) a wystąpieniami ryzykownych sytuacji na drodze.

Inną metodą oceny efektywności pracy kierowcy jest pomiar RSG [8], który rejestruje wpływ stanu osoby badanej na rezystancję skóry. Metoda ta jest bardzo skuteczna do wykrywania skrajnych stanów emocjonalnych takich, jak złość, strach czy zdenerwowanie. Również ten pomiar nie wymaga skomplikowanej aparatury, ani restrykcyjnych warunków pomiarowych.

W literaturze można spotkać się również z wykorzystaniem innym sygnałów biomedycznych (do oceny stanu kierowcy), jak np. aktywność mięśni (MEG) [11], lecz nie pozwalają one na tak dokładną ocenę efektywności pracy kierowcy i przez to nie cieszą się one tak dużą popularnością, jak metody opisane powyżej.

3. MODEL OCENY SPRAWNOŚCI KIEROWCY DO PROWADZENIA POJAZDÓW

Kierowca prowadzący pojazd samochodowy swoim zachowaniem, reakcjami i zmianami biomedycznymi organizmu wyraża poziom emocjonalno-fizyczny, będący odpowiedzią na sytuację ruchową na drodze i warunki panujące w kabinie pojazdu. Analiza literaturowa oraz obserwacja zachowań kierowcy pozwoliły opracować teoretyczny model oceny sprawności kierowcy podczas prowadzenia pojazdu. Schemat blokowy modelu oceny sprawności kierowcy przedstawia rys. 1.



Rys. 1. Schemat blokowy modelu oceny sprawności kierowcy
Fig. 1. The block diagram of the driver's skill evaluation model

Założony model proponuje wielomodalną ścieżkę pomiarową sprawności kierowcy. Pierwszy tor pomiarowy ma na celu monitoring zewnętrznych parametrów jazdy takich, jak np. zmiany przyspieszenia, natomiast drugi i trzeci – prowadzone równoległe – mają za zadanie określenie wskaźników emocjonalno-biomedycznych osoby prowadzącej pojazd.

3.1. Ocena stylu jazdy

Korzystając z zapisów urządzeń tachometrycznych wyznaczono charakterystykę liczby zmian kierunku przyspieszenia w danych przedziałach drogi (wielkość każdego przedziału wynosi 10000 m) [3].

$$f(a_i) = \begin{cases} 1 & \text{dla } a_i \cdot a_{i+1} < 0 \wedge v_i > 20 \text{ km/h} \\ 0 & \text{dla } a_i \cdot a_{i+1} < 0 \wedge v_i \leq 20 \text{ km/h} \\ 0 & \text{dla } a_i \cdot a_{i+1} \geq 0, \end{cases} \quad (1)$$

gdzie:

a_i – przyspieszenie na i-tym metrze drogi;

v_i – prędkość na i-tym metrze drogi.

Dodatkowo pod uwagę wzięto przyspieszenia przy prędkościach wyższych niż 20 km/h, w celu redukcji lokalnych maksimów, związanych z permanentnymi zatrzymaniami pojazdu (korek, czynności manewrowe itp.):

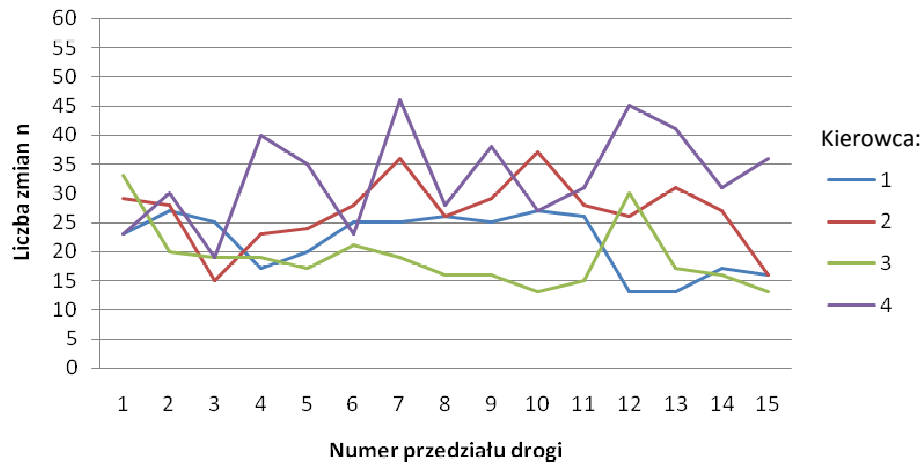
$$n_k = \sum_{i=k \cdot 10000+1}^{(k+1) \cdot 10000} f(a_i), \quad (2)$$

gdzie:

i – i-ty metr drogi;

k – k-ty przedział drogi.

Wartość n_k oznacza liczbę zmian kierunku przyspieszenia w k-tym przedziale drogi. Na rys. 2 przedstawiono wyniki badań zmian wartości n_k w 15 10-kilometrowych odcinkach, dla 4 różnych kierowców.



Rys. 2. Liczba zmian kierunków przyspieszenia dla 4 kierowców

Fig. 2. The number of acceleration changes for 4 drivers

Liczba zmian kierunku przyspieszenia zawiera się w zakresie od 15 do 50 zmian na dystansie 10 kilometrów, przy czym średnia wartość wynosi ok. 25. Zakładając, iż wartości z przedziału 15-35 stanowią blisko 80% wszystkich zmian można przyjąć założenia zgodne z tabelą 1.

Tabela 1
Wartości liczby zmian kierunku przyspieszenia
w zależności od stylu jazdy kierowcy

Wartość n_k w zakresie	Określenie stylu jazdy
<15	Spokojny
15 – 35	Umiarkowany
> 35	Agresywny

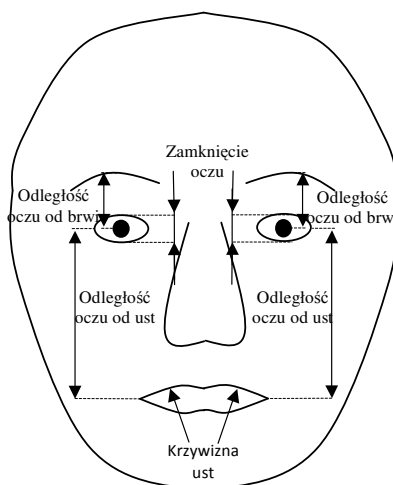
Zarówno jazda spokojna (kierowca zmęczony, senny), jak i agresywna (irytacja, negatywne emocje) są sygnałem do wzmożonej obserwacji osoby prowadzącej pojazd samochodowy.

3.2. Ocena emocji kierowcy

Do oceny stanu psychofizycznego kierowcy zdefiniowano sześć podstawowych emocji kierowcy [1]. Poszczególne emocje można skategoryzować na dwie podgrupy:

- emocje neutralne: zadowolenie;
- emocje negatywne: złość, strach, smutek (zmęczenie), zaskoczenie, zdziwienie.

Każdą z emocji można zdefiniować za pomocą wskaźników położenia poszczególnych składowych twarzy. Na rys. 3 zaznaczono najbardziej charakterystyczne wskaźniki emocji, uzyskane w drodze badań wyrazu mimicznego kierowcy [1].



Rys. 3. Położenie najbardziej charakterystycznych wskaźników emocji kierowcy
Fig. 3. The position of the most characteristic driver's emotion pointers

Podczas jazdy szczególnie niebezpieczne są emocje negatywne, które są sygnałem zwiększonego prawdopodobieństwa zaistnienia niebezpiecznej sytuacji drogowej. Zgodnie z wcześniejszymi założeniami emocje negatywne można zdefiniować za pomocą określonych kryteriów klasyfikacji.

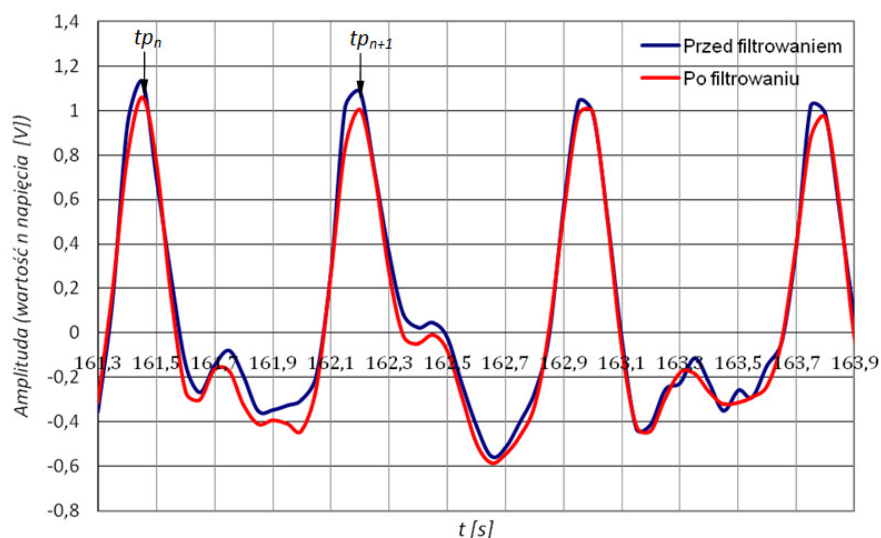
Tabela 2
Wartości wskaźników określających negatywne emocje kierowcy

Parametr	Wartość parametru (emocje negatywne)
Zamknięcie oczu [%]	<60% >80%
Odległość oczu od brwi [%]	<70% >80%
Odległość oczu od ust [%]	<70% >80%
Krzywizna ust [%]	<60%

Jak można zaobserwować w tabeli w przypadku emocji negatywnych wartości parametrów takich jak otwarcie oczu, odległość brwi od oczu/ust kształtują się na poziomie poniżej 60% lub powyżej 80%, natomiast krzywizna ust przyjmuje wartości powyżej 60%. Skrajne położenia poszczególnych wskaźników oznaczają niebezpieczne zmiany emocjonalne kierowcy takie jak z jednej strony zmęczenie, smutek, przygnębienie a z drugiej strach, agresje czy zaskoczenie.

3.3. Ocena wskaźników biomedycznych

W celu dokonania oceny biomedycznej kierowcy posłużono badaniami z wykorzystaniem pletysmografu [1]. Urządzenie to rejestruje amplitudę światła przepuszczanego poprzez wybrany narząd/kończynę ciała. Wartość natężenia strumienia świetlnego zależna jest od zmian ciśnienia krwi badanej części ciała. Redukcja szumów sygnału następuje poprzez wykorzystanie zestawu filtrów: górno-przepustowych (od 0,5 Hz) oraz dolno-przepustowych (ustawiony na 5 Hz). Rezultaty filtracji zostały przedstawione na rys. 4.



Rys. 4. Część wykresu pulsu przed oraz po filtracji
Fig. 4. A part of a pulse chart before and after the filtration

Na wykresie pulsu wyznacza się punkty ekstremum, w których:

$$f'(t) = 0 \quad \text{and} \quad f''(t) < 0, \quad (3)$$

gdzie $f(t)$ - amplituda pulsu w czasie t .

Na podstawie pozycji maksimum można obliczyć częstotliwość bicia serca:

$$HR = \frac{60}{tp_{n+1} - tp_n}, \quad (4)$$

gdzie tp_n - pozycja n-tego maksimum.

Typowe wartości pulsu zdrowego człowieka zawierają się w granicy od 60 do 90 uderzeń na minutę. Wartości wykraczające poza ten przedział świadczą o niebezpiecznych anomaliach, które mogą być potencjalną przyczyną zdarzenia drogowego.

Tabela 3

Wartości częstotliwości bicia serca w zależności od stanu biomedycznego kierowcy

Wartość HR	Określenie stanu biomedycznego kierowcy
<60	Spokojny
(60 – 90)	Umiarkowany
> 90	Agresywny

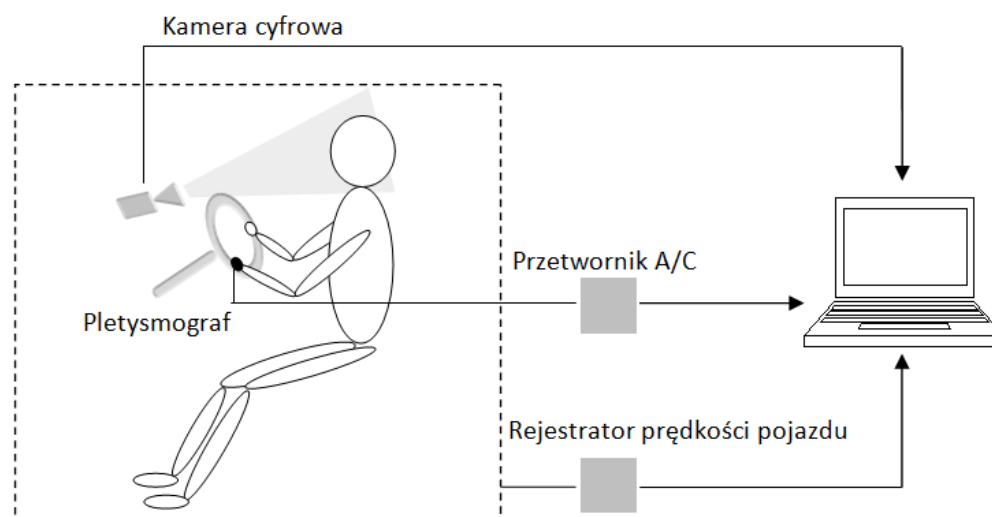
W przypadku obniżonego pulsu powodem zmian może być senność kierowcy lub stan chorobowy. Podwyższona częstotliwość bicia serca może z kolei świadczyć o zdenerwowaniu, spowodowanym sytuacją drogową lub sytuacją w kabinie pojazdu.

4. STANOWISKO BADAWCZE

Zgodnie z założeniami teoretycznego modelu oceny sprawności kierowcy wyznaczenie wskaźników stanu psychofizycznego odbywa się poprzez trzy, niezależne ścieżki pomiarowe. Na rys. 5 przedstawiono poszczególne elementy stanowiska badawczego.

Do rejestrowania prędkości pojazdu oraz jego przebiegu można wykorzystać powszechnie używane tachografy cyfrowe lub urządzenia nawigacji satelitarnej GPS. Cyfrowe urządzenia tachometryczne rejestrują prędkość pojazdu z częstością 1s i dokładnością przynajmniej 1 km/h. Dostępne na rynku urządzenia nawigacyjne z funkcją data loggera pozwalają również na pomiar prędkości co 1s i uzyskują dokładność pomiaru do 0,1 m/s.

Do rejestrowania zmian pulsu kierowcy można zastosować optoelektroniczny układ pomiarowy. Układ składa się z diody emitującej światło podczerwone oraz odbiornika światła (fototranzystor, pracujący w zakresie fal podczerwonych). Światło przepuszczone przez palec kierowcy powoduje zmiany prądu kolektora. Sygnał po wzmocnieniu i przetworzeniu na postać cyfrową poddawany jest programowej analizie, zgodnie z założeniami pracy.



Rys. 5. Schemat stanowiska badawczego

Fig. 5. The research post diagram

Obraz twarzy kierowcy może zostać zarejestrowany przy użyciu popularnych kamer "internetowych", które zapewniają rozdzielczość 640x480 pikseli oraz szybkość nagrywania 25 klatek na sekundę. Taki rozmiar obrazu pozwala nie tylko na dokładne określenie stanu emocjonalnego kierowcy, lecz również na efektywne przetwarzanie informacji z użyciem komputera [4].

5. WNIOSKI I DALSZE PRACE

Dotychczasowe eksperymenty pozwoliły na opracowanie koncepcji systemu biomedycznego, mającego na celu monitorowanie pracy kierowcy. Wykorzystanie trzech ścieżek pomiarowych pozwala nie tylko na dokładną ocenę stanu osoby prowadzącej pojazd, lecz również na utrzymaniu działania systemu w momencie awarii jednego z torów pomiarowych.

Dalsze prace będą skupiały się na zebraniu dużej liczby danych pomiarowych, w celu potwierdzenia dotychczasowych eksperymentów oraz dopracowania urządzeń pomiarowych, które w jak najmniejszym stopniu będą ingerowały w pracę kierowcy.

Bibliografia

1. Mitas A., Bugdol M., Ryguła A.: Simultaneous analysis of driver's physiological and behavioural parameters under the aspect of transport safety; *Journal of Medical Informatics & Technologies*, vol. 13/2009; p. 241-247.
2. Mitas A., Bugdol M., Ryguła A.: The psychophysiological conditionings of driver's work under the aspect of traffic safety. *Transport Problems*, vol. 4/2009, issue 1, p. 87-94.
3. Ryguła A.: Driving style identification method based on speed graph analysis. *Proceedings of 4th 4. International Conference on Image Analysis and Biometrics and International Conference on Kansei Engineering & Affective Systems*, 25-28 June 2009, Cieszyn.
4. Mitas A., Bugdol M., Ryguła A.: Computer aid assessment of driver's fatigue during driving based on eye movement analysis; *Journal of Medical Informatics & Technologies*, vol. 12/2008; p. 195-200.

5. Ryguła A., Mitas A.: Numeric tools for tachogram analysis; *Transport Problems*, vol. 2/2007, issue 4, p. 73-80.
6. Niesyto E.: The biometrical system of analysing the driver's condition during the work, master's thesis, supervisor A.W. Mitas, Silesian University of Technology, Katowice 2007.
7. Lal S.K.L., Craig A.: Driver fatigue: Electroencephalography and psychological assessment, *Psychophysiology*, vol. 39, no. 3, May 2002, p. 313-321(9).
8. Benoit A., Bonnaud L., Caplier A., Ngo P., Lawson L., Trevisan D.G., Levacic V., Mancas C., Chanel G., Multimodal Focus Attention Detection in an Augmented Driver Simulator, *Journal on Multimodal User Interfaces*, vol. 1, no. 1, 2007, p. 49-58.
9. Lal S.K.L., et al.: Development of an algorithm for an EEG-based driver fatigue countermeasure *Journal of Safety Research*, vol. 34 (2003), p. 321– 328.
10. Mallick S.P., Trivedi M.: Parametric face modeling and affect synthesis, *International Conference on Multimedia and Expo*, vol. 1, 2003, p.225-228.
11. Healey J., Seger J., Picard R.: Quantifying Driver Stress: Developing a System for Collecting and Processing Bio-Metric Signals in Natural Situations, *Proceedings of the Rocky Mountain Bio-Engineering Symposium*, April 16-18, 1999.

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Romuald Szopa

Praca wykonana w ramach BW-483/RT6/2009