

STRATEGIE I METODY BADAŃ

Krzysztof RÓŻANOWSKI¹, Olaf TRUSZCZYŃSKI², Jarosław LEWANDOWSKI¹,
Paulina BARAN¹

FLICKER FUSION JAKO NARZĘDZIE DETEKЦИИ POZIOMU ZMĘCZENIA KIEROWCY – OPIS STANOWISKA POMIAROWEGO

FLICKER FUSION AS A TOOL TO DETECT THE LEVEL OF DRIVER'S FATIGUE-DESCRIPTION OF THE RESEARCH STATION

Wojskowy Instytut Medycyny Lotniczej, Warszawa, Polska

¹ Zakład Bioinżynierii Lotniczej

² Zakład Bezpieczeństwa Lotu

Military Institute of Aviation Medicine, Warsaw

¹ Department of Aviation Bioengineering

² Department of Flight Safety

STRESZCZENIE: Niniejszy artykuł przedstawia projekt skonstruowanego stanowiska do pomiaru efektu Flicker Fusion oraz wstępne rezultaty przeprowadzonych na nim badań, których głównym celem było określenie poziomu zmęczenia kierowcy przy użyciu autorskiej metodyki. Cyfrowo regulowana rozdzielczość nastawy częstotliwości w module sterującym urządzenia wynosi 0,1 Hz. Pomiar może odbywać się przy wykorzystaniu palety 1000 kolorów punktu świetlnego z 10-stopniową regulacją podświetlenia tła. Niski koszt wykonania urządzenia oraz łatwość stosowania i obsługi powodują wzrost jego atrakcyjności jako systemu mogącego zwiększać poziom bezpieczeństwa zarówno monitorowanej osoby (np. kierowcy, pilota), jak również osób znajdujących się w jej otoczeniu. Prezentowane pomiary zostały zweryfikowane i porównane z wynikami uzyskanymi w Wiedeńskim Systemie Testów

SŁOWA KLUCZOWE: próg Flicker Fusion, badania kierowców, częstotliwość migotania i zlewania się światła, pomiar zmęczenia, psychofizjologia

Adres do korespondencji: Krzysztof Różanowski, Zakład Bioinżynierii Lotniczej, 01-755 Warszawa, ul. Krasieńskiego 54/56, e-mail: krozan@wiml.waw.pl

ABSTRACT: *This article presents the design of a mobile device for measuring the flicker fusion effect and presents preliminary tests results. Tests, which uses the authors' research methodology were performed to assess the drivers' fatigue level by means of the constructed device. Digitally controlled light frequency stability reaches 0.1 Hz. The measurement can be done using a palette of 1000 colors of the light point with a 10-step adjustable backlight level. The designed solution is characterized by low cost and ease of implementation, which makes it attractive as a sensor that could improve the safety of monitored persons - drivers, pilots, and people located in their surroundings. The presented measurements were verified on the basis of psychological Vienna Test System*

KEYWORDS: *Flicker Fusion Threshold, drivers' testing, flicker fusion frequency, measurement of fatigue, psychophysiology*

Wstęp

Fizyczne oraz psychiczne zmęczenie wiąże się ze zwiększeniem czasu reagowania, potrzebnego do podjęcia właściwych decyzji oraz szybkiego spostrzeżenia zmian dziejących się w otoczeniu. Zwykle, zmęczenie prowadzi do wzrostu liczby popełnianych błędów, wynikających z osłabienia koncentracji. Jedną z pierwszych widocznych oznak zmęczenia jest pogorszenie się i osłabienie wzroku, co przejawia się przez odruchowe przymykanie oczu. Wykonywanie pracy kierowcy, pilota bądź operatora innych maszyn, który nie jest wystarczająco wypoczęty, związane jest ze zwiększeniem ryzyka wystąpienia wielu zagrożeń dla bezpieczeństwa jego samego, a także osób znajdujących się w jego otoczeniu. Wykrycie pierwszych pojawiających się objawów zmęczenia oraz ich zasygnalizowanie pozwoliłoby więc na zminimalizowanie wielkości tego ryzyka.

Stopień zmęczenia jest parametrem względnym. Zdarza się, że w przypadku prowadzenia działań w dużym stresie, człowiek mobilizuje się i potrafi przezwyciężyć jego objawy. Stosowanie aparatury monitorującej parametry fizjologiczne człowieka, mogące określić stan jego organizmu, jest zwykle niewygodne, a przede wszystkim pociąga za sobą wysokie koszty oraz potrzebę ciągłej analizy rejestrowanych sygnałów. Przetwarzanie danych tego typu z reguły wymaga wykorzystania dużych mocy obliczeniowych. Zgodnie z powyższym, aby zapewnić komfort monitorowanej osobie i nie zaburzać jej normalnego trybu pracy, należałoby wykorzystać metody bezkontaktowej rejestracji parametrów fizjologicznych [Dziuda, Lewandowski, 2011] lub opracować nową, prostszą metodę, pozwalającą na wykrywanie pierwszych pojawiających się objawów zmęczenia.

Jednym ze znanych objawów zmęczenia jest zmiana progowych częstotliwości postrzegania migotania i/lub postrzegania zlewania się światła [Clement, 2011]. Efekt ten określany jest w psychofizjologicznej koncepcji widzenia jako Flicker Fusion (F.F.) i polega na tym, że przy dostatecznie szybkich zmianach obrazu (migotania światła) jest on postrzegany przez obserwatora jako nieruchomy. Częstotliwość migotania, przy której następuje postrzeganie obrazu jako stały, określana jest jako częstotliwość progowa (ang. Flicker Fusion Threshold), której wartość zmienia się

(maleje) wraz ze wzrostem poziomu zmęczenia jednostki.

Niniejszy artykuł opisuje mobilne narzędzie przeznaczone do pomiaru progowej częstotliwości postrzegania migotania światła, wykorzystywane w badaniach kierowców poruszających się w ruchu drogowym. Budowa urządzenia oraz metodologia przeprowadzonych badań pozwoliły na zaobserwowanie istotnej korelacji między progową częstotliwością postrzegania migotania światła a stopniem zmęczenia kierowcy.

Flicker Fusion

Pomiar progowej częstotliwości postrzegania migotania światła ma długą tradycję w psychologii eksperymentalnej. Jego dokładna mózgową lokalizacja nie jest do końca poznana, ale istnieją znaczące dowody naukowe na to, że mechanizm odpowiadający za próg częstotliwości postrzegania migotania światła ma umiejscowienie centralne i/lub korowe w mózgu oraz odzwierciedla poziom pobudzenia/uspokojenia centralnego układu nerwowego człowieka (CNS), stopień jego czujności oraz zdolność przetwarzania informacji przez jednostkę [Curran, Hindmarch, 1990].

W badaniach z dziedziny psychofarmakologii, wartości progowe częstotliwości postrzegania migotania i zlewania się światła traktowane są jako miary całkowitego przetwarzania informacji przez jednostkę [Seitz i in., 2005]. Okazuje się także, że ta zdolność do przetwarzania informacji może ulegać zmianom na skutek powtarzalnego treningu. Wykazano bowiem [Adini i in., 2002], że wartości krytyczne postrzeganej częstotliwości migotania i zlewania się światła wzrosły średnio o 30% u tych badanych, którzy poddawani byli godzinnemu testowi Flicker Fusion przez okres 9 dni. Rezultat ten jest istotny z punktu widzenia właściwego projektowania i kontrolowania warunków przeprowadzanych eksperymentów z wykorzystaniem opisywanych wskaźników psychofizjologicznych.

Wartości progowe częstotliwości postrzegania migotania i zlewania się światła są uznawane za miary tego samego zjawiska, a wyniki badań [Curran, Hindmarch, 1990] wskazują na silne dodatnie korelacje między nimi oraz istotne różnice między średnimi CZ (częstotliwość zlewania się światła) i CM (częstotliwość migotania światła) - uzyskiwane wartości progowe CM są z reguły wyższe w porównaniu do CZ.

Liczne badania [Reiko i in., 2002] wykazały, że wartości CZ i CM były zdecydowanie niższe pod koniec dnia pracy w porównaniu do godzin porannych. Ich spadek był bardziej wyraźny u tych badanych, którzy sygnalizowali pojawianie się u siebie objawów zmęczenia. U kierowców także zaobserwowano stałą tendencję obniżania się progowych częstotliwości wraz ze wzrostem czasu prowadzenia samochodu. W związku z tym, spadek wartości progowych częstotliwości postrzegania migotania i zlewania się światła traktowany jest jako wskaźnik wzrostu zmęczenia fizjologicznego organizmu.

Pomiar progowej częstotliwości postrzegania migotania i zlewania się światła uznawany jest również za przydatny w badaniach gerontologicznych w aspekcie śledzenia związanych z wiekiem zmian w poziomie czujności centralnego układu nerwowego człowieka (CNS) i/lub jego czynności poznawczych [Curran, Hindmarch, 1990].

Częstotliwość progowa efektu F.F. nie posiada określonej stałej wartości i jest cechą osobniczą. Ponadto, jest ona zależna od stopnia modulacji prezentowanego

światła, jasności otoczenia oraz jego barwy. Przykładowo, dla stałej jasności oświetlenia, odbierana częstotliwość progowa wyświetlania krótkich błysków będzie niższa niż błysków o dłuższym czasie trwania, natomiast w przypadku dużego kontrastu oświetlenia - progowe częstotliwości postrzegania migotania wzrosną. W zależności od kąta obserwowania migoczącego źródła światła, progowa częstotliwość postrzegania migotania również ulega zmianie. Wynika to z faktu, że pręciki gałki ocznej (w części zewnętrznej) posiadają krótszy czas odpowiedzi niż czopki (w części centralnej), co z kolei powoduje, że progowe częstotliwości obserwowane dzięki widzeniu peryferyjnemu będą wyższe niż w przypadku widzenia frontalnego [Kandel i in., 2000]. Zjawisko to, podobnie jak F.F., może być jedną z przyczyn występowania tzw. choroby symulatorowej [Rinalducci, MacArtur, 1990]. Zmiana progowej częstotliwości postrzegania migotania zależna jest także od barwy migoczącego światła. Wynika to z różnej czułości oka w zależności od obserwowanej długości fali świetlnej [Mizokami, Werner, 2006]. Barwy migoczącego światła ze środka widma optycznego (zielona, żółta) będą umożliwiały obserwowanie wyższych częstotliwości progowych niż barwy znajdujące się na brzegach widma (czerwona, niebieska).

Efekt F.F. obserwowany jest w życiu codziennym. Począwszy od postrzegania migoczących świetlówek jako źródła światła stałego [Küller, Laike, 1998], do oglądania filmów, w których obraz stały składany jest z wyświetlanych kolejno pojedynczych klatek. Należy jednak zaznaczyć, że pomimo braku możliwości obserwowania migoczącego światła świetlówki (50-60 Hz), ludzie zwykle odczuwają większy komfort podczas czytania po zwiększeniu częstotliwości migotania światła do 20-60 kHz [Veicht, McColl, 1995]. Efekt F.F. wykorzystywany jest przy projektowaniu multipleksowanych wyświetlaczy lub sterowaniu jasnością diod LED poprzez zmiany modulacji szerokości trwania impulsu PWM (ang. Pulse Width Modulation). Migoczące z bardzo dużą częstotliwością źródła światła będą postrzegane przez ludzkie oko jako obraz statyczny w każdych warunkach obserwacji, wyłączając obserwowanie efektu stroboskopowego.

W Wiedeńskim Systemie Testów, badanie wykorzystujące Test F.F. (pomiar progowej częstotliwości migotania i zlewania się światła) odbywa się w stabilnych warunkach, dzięki umieszczeniu źródła światła (zwykle barwy czerwonej) w zaciemnionym tubusie. Tubus przykładany jest szczelnie do oczu osoby badanej. Wewnątrz niego znajduje się źródło światła wraz z podświetleniem, zapewniającym odpowiedni kontrast. Podczas badania, częstotliwość migotania jest automatycznie zmieniana, a zadaniem badanego jest określenie progu zlewania się bądź migotania światła poprzez naciśnięcie odpowiedniego przycisku. Po wykonaniu serii pomiarów, wartości progowe częstotliwości wyznaczane są w sposób statystyczny. Przyjmuje się, że przeciętne wartości progowych częstotliwości mieszczą się w zakresie od 40 Hz do 60 Hz [Schuhfried, 1999]. Należy zaznaczyć, że częstotliwości powyżej 75 Hz są przez zdecydowaną większość ludzi odbierane wyłącznie jako światło stałe.

Stanowisko pomiarowe

Wiedeński System Testów nie umożliwia pomiaru progowej częstotliwości postrzegania migotania/zlewania się światła w trakcie prowadzenia samochodu. Badanie tego rodzaju wiązałoby się z koniecznością odwrócenia uwagi kierowcy na

dłuższy czas, co nie jest ani możliwe, ani dopuszczalne ze względów bezpieczeństwa. Postanowiono więc zbudować mobilne stanowisko do pomiaru progowych częstotliwości postrzegania migotania i zlewania się światła, przeznaczone do stosowania w trakcie dynamicznej jazdy w ruchu drogowym. Skonstruowane stanowisko stwarza możliwość modyfikacji takich parametrów, jak kolor i intensywność używanego źródła światła, co pozwala na opracowanie wystandaryzowanej metodyki dokonywania pomiarów w trakcie jazdy samochodem.

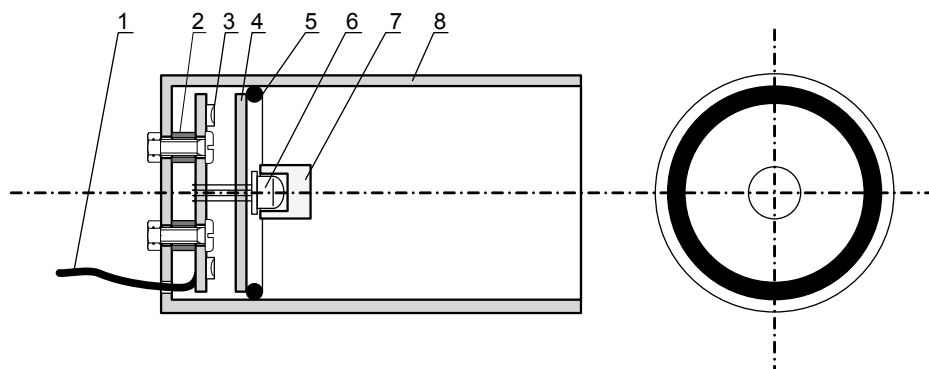
W celu monitorowania progowych częstotliwości postrzegania migotania światła, zbudowany został system uniwersalny, posiadający dodatkowe, niestandardowe rozwiązania. Głowicę optyczną urządzenia (ryc. 1) wyposażono w przyssawkę, dzięki czemu może być umieszczana w dogodnym do obserwacji punkcie w pojeździe. W przeprowadzonych badaniach, głowica została zamocowana w lewym górnym rogu przedniej szyby (tuż pod osłoną przeciwsłoneczną) tak, aby badany kierowca mógł ją swobodnie obserwować, bez konieczności odrywania wzroku od drogi.



Ryc. 1. Głowica optyczna urządzenia Flicker Fusion.
Fig. 1. The optical head of the Flicker Fusion device.

Na potrzeby opracowania metodyki badań, w urządzeniu przewidziano możliwość zaimplementowania dziesięciu niezależnych scenariuszy testowych. Każdy ze scenariuszy umożliwia skonfigurowanie i zapisanie własnych ustawień koloru prezentowanego światła, stopnia podświetlenia tła wewnątrz głowicy, typu badania (tj. częstotliwości migotania lub zlewania się światła), a także długości czasu oczekiwania na prezentację kolejnego scenariusza testowego. W zależności od przyjętej metodyki, badacz może wybrać dowolną liczbę scenariuszy i indywidualnie je skonfigurować.

Częstotliwość postrzegania migotania światła prezentowana jest monitorowanej osobie za pośrednictwem głowicy optycznej urządzenia (ryc. 2).



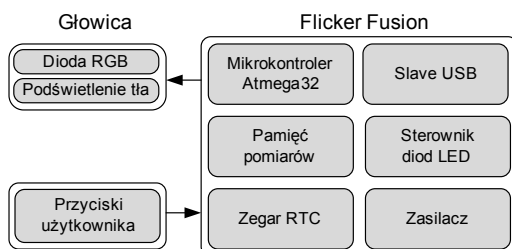
Ryc. 2. Budowa głowicy optycznej (1 – przewód połączeniowy, 2 – tuleje dystansowe, 3 – białe diody podświetlające, 4 – dyfuzor podświetlenia, 5 – o-ring uszczelniający, 6 – dioda RGB, 7 – dyfuzor, 8 – czarny korpus).

Fig. 2. The construction of the optical head (1 – connecting cable, 2 – spacers, 3 – white LEDs, 4 – backlight diffuser, 5 – sealing o-ring uszczelniający, 6 – RGB diode, 7 – diffuser, 8 – black frame).

Do budowy głowicy pomiarowej wykorzystano trójkolorową diodę LED typu OSTA56A1A-C (RGB) o szerokim kącie promieniowania światła, wynoszącym 100° . Dioda ta posiada trzy struktury świetlne, emitujące barwę czerwoną, zieloną i niebieską. Podświetlenie tła głowicy wykonano przy użyciu siedmiu białych diod LED typu OF-SMD1608W, o kącie promieniowania 120° . Zgodnie z dokumentacją techniczną, jasność każdej z białych diod wyniosła od 300 do 430 mcd. Aby zapewnić równomierne mieszanie się światła, w głowicy zastosowano dwa dyfuzory. Równomierne podświetlenie tła uzyskano dzięki oddaleniu dyfuzora od białych diod LED. Użycie dwóch dyfuzorów pozwoliło uniknąć mieszania się światła podświetlenia i światła diody RGB, podnosząc przez to kontrast punktu świetlnego. Z kolei wykorzystanie dyfuzora diody RGB spowodowało zmniejszenie stopnia jej jasności. Zgodnie z dokumentacją techniczną, dioda RGB posiadała luminancje wynoszące odpowiednio: dla barwy czerwonej - 1120 mcd/m^2 , dla barwy zielonej - 2180 mcd/m^2 , dla barwy niebieskiej - 750 mcd/m^2 . Po zmierzeniu za pomocą radiometru-fotometru FR-100 (Sonopan) luminancji wykonanej głowicy pomiarowej z dyfuzorem, otrzymano odpowiednio: dla barwy czerwonej - 1030 mcd/m^2 , dla barwy zielonej - 2150 mcd/m^2 , dla barwy niebieskiej - 530 mcd/m^2 . Luminancja podświetlenia tła głowicy wyniosła 2090 mcd/m^2 . Głowica umożliwia wypromieniowanie światła niemalże dowolnej barwy, jednak ze względów praktycznych ilość kolorów dostępnych podczas badania ograniczono do 1000. Wynika to z ustawienia dla każdego koloru składowego 10-stopniowego poziomu jasności. Regulując jasność każdej ze składowych, wybierany jest pożądany kolor. Podświetlenie tła wewnątrz głowicy również regulowane jest w skali 10-stopniowej. Głowicą optyczną steruje moduł główny systemu, który zapewnia prawidłową regulację jasności w trybie PWM. Efekty interferencji częstotliwości wyświetlanej przez diody LED oraz podstawy częstotliwości PWM, służącej do regulacji jasności diod, zostały wyeliminowane po-

przez wybór odpowiednio dużej wartości częstotliwości PWM. Założona dokładność nastawy częstotliwości, wyświetlanej podczas badania i wynoszącej 0,1 Hz, została potwierdzona za pomocą oscyloskopu cyfrowego TPS2024 Tektronix. Poprawność działania oraz założona dokładność wykonywanych pomiarów zostały potwierdzone podczas testów funkcjonalnych, w których porównano działanie opracowanego urządzenia z Testem FLIM (Wiedeński System Testów), uzyskując zbieżne wartości obserwowanych progowych częstotliwości.

Moduł główny systemu pomiarowego, odpowiadający za sterowanie głowicą i realizację pomiarów, został zbudowany w oparciu o 8-bitowy mikrokontroler z rodziny AVR typu Atmega 32. Schemat blokowy modułu głównego urządzenia przedstawia ryc. 3.



Ryc. 3. Schemat blokowy urządzenia.
Fig. 3. The block diagram of the device.

Zastosowanie powyższych elementów pozwala na zapisanie w pamięci urządzenia ponad 2000 rekordów pomiarowych, opatrzonych stemplem czasowym (data, godzina). Programowanie oraz odczytywanie sesji pomiarowych odbywa się za pośrednictwem łącza USB. Całe urządzenie zasilane jest z dwóch baterii AA, które umożliwiają wielotygodniową pracę. Wygląd urządzenia, zamkniętego w plastikowej obudowie z gumowanymi brzegami, przedstawia ryc. 4. Głowica oraz przyciski są podłączane do urządzenia za pomocą złącza, po włożeniu którego następuje włączenie systemu i rozpoczęcia badania.



Ryc. 4. Zdjęcie modułu głównego systemu pomiarowego.
Fig. 4. The photo of the main module of the measuring system.

Skróconą charakterystykę urządzenia przedstawia tabela 1.

Tab. 1. Charakterystyka urządzenia do pomiaru progowej częstotliwości postrzegania migotania

Tab. 1. The characteristics of the Flicker Fusion device

Lp.	Parametr	Wartość
1.	Typ	Flicker Fusion
2.	Zakres częstotliwości	20 – 80 Hz
3.	Dokładność nastawy częstotliwości	0,1 Hz
4.	Krok przestrajania częstotliwości	1 Hz oraz 0,1 Hz
5.	Ilość kolorów punktu świetlnego	1000 kolorów
6.	Podświetlenie tła	10-stopniowa skala podświetlenia
7.	Ilość scenariuszy badania	Ustawiane programowo, 1-10
8.	Pamięć	Wewnętrzna, do 2000 pomiarów
9.	Komunikacja z komputerem	Port USB 1.1 / 2.0
10.	Zapisywane informacje	Częstotliwość progowa, numer scenariusza, data i godzina, napięcie baterii
11.	Sterowanie	Badanie: ręczne, programowanie: poprzez USB z komputera PC
12.	Zasilanie	2x baterie / akumulatory AA

Metodyka badań

Po przednim wykonaniu testów funkcjonalnych, skonstruowane urządzenie wykorzystano w badaniach kierowców samochodów osobowych. Badania te zostały przeprowadzone w ramach projektu pn. „Zintegrowany system monitorowania stanu psychofizycznego kierujących pojazdami w celu minimalizacji zagrożeń w ruchu drogowym”, realizowanego w ramach programu Innowacyjna Gospodarka. Celem badań było określenie, czy możliwy jest pomiar progowych częstotliwości postrzegania migotania/zlewania się światła w zmiennych warunkach otoczenia oraz zaobserwowanie, czy wraz ze wzrostem poziomu zmęczenia kierowców próg postrzegania przez nich odpowiednich częstotliwości rzeczywiście obniża się. Prezentowane badania dotyczą grupy 14 kierowców amatorów, posiadających prawo jazdy kategorii B, w przedziale wieku 25-45 lat, z minimum 5-letnim doświadczeniem w prowadzeniu samochodu. Każdy z badanych kierowców wykonał dwa przejazdy testowe na jednakowej trasie o długości ok. 400 km. Czas przejazdu wynosił średnio 7 godzin. Droga pokonywana była w trakcie dwóch dni, raz na początku i raz pod koniec tygodnia pracy. Badanie odbywało się w miesiącach letnich, w różnych warunkach pogodowych. W połowie pokonywanej trasy, kierowcy zwykle robili postój na odpoczynek.

Na każdej z przebytych tras rejestrowane były progowe częstotliwości postrzegania migotania i zlewania się światła. Przed rozpoczęciem jazdy, kierowca był pouczany o konieczności obserwowania głowicy optycznej urządzenia wyłącznie kątem oka (podobnie, jak obserwuje się wskaźniki na desce rozdzielczej) po to, aby badanie w żaden sposób nie zagrażało bezpieczeństwu jego i innych uczestników

ruchu drogowego.

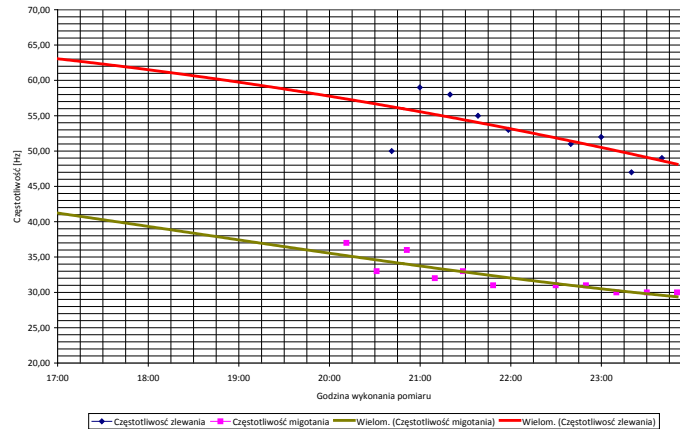
Po włączeniu systemu pomiarowego przez operatora, urządzenie FF znajduje się w trybie czuwania, z którego wybudzane jest automatycznie po czasie uprzednio zaprogramowanym w scenariuszu testowym. Aktywacja urządzenia sygnalizowana jest kierowcy za pomocą sygnału dźwiękowego. Po rozpoczęciu badania kierowca, kątem oka obserwując głowicę optyczną urządzenia, przestrasza częstotliwość migotania punktu świetlnego. Przestraszanie częstotliwości pulsowania źródła światła odbywa się za pomocą przycisków na pilocie, umożliwiających przestraszanie zgrubne (co 1 Hz) oraz precyzyjne (co 0,1 Hz). Kierowca może jednak w dowolnym momencie przerwać przestraszanie częstotliwości, na przykład w sytuacji wystąpienia realnego zagrożenia na drodze. Taka możliwość samodzielnego przestraszania częstotliwości migotania zwalnia go z konieczności nieprzerwanej obserwacji punktu świetlnego, co poprawia poziom bezpieczeństwa przeprowadzanego eksperymentu. Podczas trwania badania, kolejne wybudzenia się urządzenia przebiegają zgodnie z wcześniej zaprogramowanymi scenariuszami, powtarzającymi jeden po drugim. W przypadku niepodjęcia badania przez kierowcę w określonym czasie, urządzenie automatycznie wyłącza głowicę, a następnie powraca do badania po upływie czasu zapisanego w konfiguracji scenariusza. Zatwierdzenie badania następuje po naciśnięciu przycisku „akceptuj”.

Zgodnie z przyjętym scenariuszem testowym, naprzemiennie w 15-minutowych odstępach czasu dokonywano pomiarów częstotliwości zlewania się (scenariusz 1 – od 20 Hz do 60 Hz) i migotania (scenariusz 2 – od 60 Hz do 20 Hz) światła. W obydwu scenariuszach wykorzystane zostało światło barwy zielonej wraz z pełnym podświetleniem tła. W trakcie jednego badania rejestrowano średnio 32 pomiary (po 16 progowych częstotliwości migotania i zlewania się światła).

Wyniki pomiarów

Wstępne pomiary, dokonane przy użyciu zaprojektowanego urządzenia wskazują, że badania progowych częstotliwości postrzegania migotania i zlewania się światła w warunkach realnego ruchu drogowego są możliwe do przeprowadzenia i niosą informację o poziomie zmęczenia badanego kierowcy.

W przypadku 36% badanych osób wyników nie udało się zinterpretować ze względu na ich dużą wariancję. Najprawdopodobniej ma to związek z niestarannym bądź nieumiejętnym wykonywaniem badania. Dla takiej samej liczby osób (36%) potwierdzono tezę o obniżaniu się progowych częstotliwości wraz ze wzrostem poziomu zmęczenia jednostki. Zobrazowanie wyników pomiaru dla powyższego przypadku ilustruje ryc. 5.

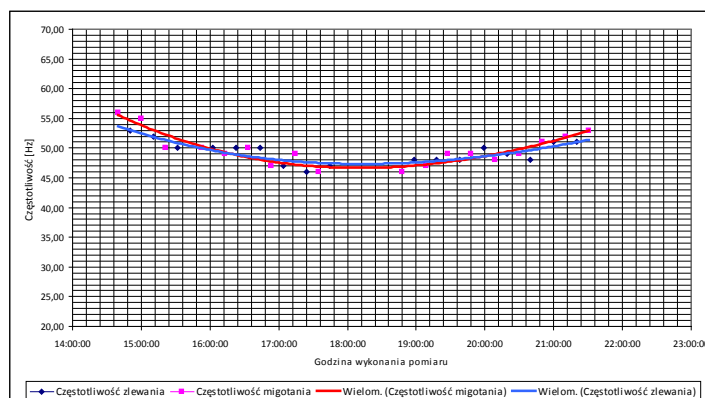


Ryc. 5. Spadek progowych częstotliwości wraz ze wzrostem zmęczenia.

Fig. 5. The decrease of the frequency thresholds with the increase of fatigue level.

Jak można zauważyć na wykresie (ryc. 5), dokonanie pomiaru podczas jazdy w warunkach realnego ruchu drogowego ujawniło wyraźną tendencję spadkową dla progowych częstotliwości postrzegania migotania i zlewania się światła. W trakcie badania, oświetlenie zewnętrzne zmieniało się od zachodu słońca do pory nocnej (pomiarów dokonywano w miesiącach letnich, w godzinach popołudniowych, wieczornych i nocnych). Oznacza to, że poprawa kontrastu między głowicą a otoczeniem nie wpłynęła na podniesienie się progu postrzegania odpowiednich częstotliwości.

Pozostałe 28% zarejestrowanych pomiarów wykazało tendencję niezgodną z założeniami. Pomimo początkowego przewidywanego spadku progowych częstotliwości, mniej więcej od połowy pokonywanej trasy przejazdu zaobserwowano ich wzrost, dochodzący właściwie do poziomu wyjściowego. Zobrazowanie wyników pomiaru dla powyższego przypadku ilustruje ryc. 6.



Ryc. 6. Zmiany progowych częstotliwości podczas trwania jazdy.

Fig. 6. The changes of the frequency thresholds car driving.

Obniżanie się progowych częstotliwości w początkowej fazie jazdy jest zgodne z oczekiwaniami i tłumaczone narastaniem objawów zmęczenia u kierujących. W połowie pokonywanej trasy, badani dokonywali jednak postoju, co pokazują braki próbek w środkowej części wykresu. Po wypoczynku, ruszali w drogę powrotną. Zaobserwowany mniej więcej od połowy trasy wzrost progowych częstotliwości postrzegania migotania i zlewania się światła może być tłumaczony między innymi podniesieniem się poziomu motywacji do dalszej jazdy (powrót do domu) oraz regeneracją i nabraniem sił po dokonany postoj (spadek poziomu zmęczenia).

Podsumowanie

Szczegółowa analiza uzyskanych pomiarów zostanie przeprowadzona na dalszym etapie realizacji projektu i nie stanowi przedmiotu niniejszego opracowania. W oparciu o uzyskane wyniki można jednak stwierdzić, że opracowany system pomiarowy umożliwi wykrywanie zmian progowych częstotliwości postrzegania migotania i zlewania się światła w trakcie jazdy samochodem. Otrzymane rezultaty badań skłaniają do prowadzenia dalszych prac w tym zakresie. Elementami wymagającymi ulepszenia w opracowanym systemie pomiarowym są: sposób sterowania przebiegiem badania oraz mechanizm wnioskowania o stopniu zmęczenia badanych w oparciu o wyniki przeprowadzonych pomiarów. Przewiduje się rozwijanie adaptacyjnego systemu pomiarowego, dostosowującego przebieg badania (tj. głównie częstotliwość prezentowania światła, jego natężenie, a także czas trwania prezentacji) do danego użytkownika (biorąc pod uwagę jego cechy indywidualne, jak chociażby ostrość widzenia, a także aktualnie wyznaczony poziom zmęczenia).

Opracowane stanowisko badawcze pozwala wnioskować, że możliwe jest zbudowanie wiarygodnego i relatywnie taniego systemu, umożliwiającego pomiar poziomu zmęczenia, uznawanego za jedno z głównych zagrożeń dla bezpieczeństwa ruchu drogowego.

Według danych Instytutu Transportu Samochodowego i Stowarzyszenia Psychologów Transportu w Polsce, zmęczenie prowadzące do podjęcia przez kierowcę błędnej decyzji na drodze może być przyczyną nawet 10-25% spośród wszystkich wypadków. Szacuje się, że prawdopodobieństwo udziału w wypadku zmęczonego kierowcy jest nawet ośmiokrotnie większe niż wypoczętego. Stale rosnąca liczba wypadków na polskich drogach wyraźnie pokazuje, jak ważne jest podejmowanie działań profilaktycznych (na przykład możliwie jak najwcześniejsze wykrywanie pojawiających się symptomów zmęczenia u kierowcy w trakcie prowadzenia samochodu) na rzecz poprawy bezpieczeństwa w ruchu drogowym. Jednym z takich działań jest konstruowanie urządzeń, które umożliwiają ocenę aktualnej kondycji i stanu psychofizjologicznego badanego, a w konsekwencji przeciwdziałanie na przykład pojawianiu się senności czy znużenia w trakcie jazdy.

W niniejszym artykule wykorzystano wyniki prac realizowanych w ramach projektu nr UDA-POIG.01.03.01-10-085/09 „Zintegrowany system monitorowania stanu psychofizycznego kierujących pojazdami w celu minimalizacji zagrożeń w ruchu drogowym”, współfinansowanego przez Unię Europejską ze środków Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego w ramach programu Innowacyjna Gospodarka

(Priorytet 1 Badania i Rozwój Nowoczesnych Technologii, Działanie 1.3 Wsparcie Projektów B+R na rzecz przedsiębiorców realizowanych przez jednostki naukowe, Poddziałanie 1.3.1 Projekty rozwojowe).

Piśmiennictwo

1. Adini, Y., Sagi, D., Tsodyks, M. (2002). Context – enabled learning in the human visual system. *Nature*, 415, 790-793.
2. Clement, V.J. (2011). Fatigue of nervous system through Flicker Fusion thresholds after a maximum incremental cycling test. *Journal of Sport and Health Research*, 3 (1), 1-21.
3. Curran, S., Hindmarch, I. (1990). Critical flicker fusion in normal elderly subjects. A cross-sectional community study. *Current Psychology*, 9 (1), 25.
4. Dziuda, Ł., Lewandowski, J. (2011). Czujnik czynności oddechowej oraz pracy serca oparty na światłowodowych siatkach Bagga. [W]: Ł. Dziuda, F. Skibniewski, W. Torbic. *Bezkontaktowe metody monitorowania aktywności psychofizjologicznej*. Wybór prac własnych, Warszawa, Akademicka Oficyna Wydawnicza EXIT, 7-41.
5. Kandel, E.R., Schwartz, J.H., Jessell, T. M. (2000). *Principles of Neural Science*, 4th ed. New York: McGraw-Hill.
6. Küller, R., Laike, T. (1998). The impact of flicker from fluorescent lighting on well-being, performance and physiological arousal. *Ergonomics*, 41 (4), 433-447.
7. Materiały informacyjne projektu: Zintegrowany system monitorowania stanu psychofizycznego kierujących pojazdami w celu minimalizacji zagrożeń w ruchu drogowym, 2010-2013, dostępne na stronie: <http://projektue.wiml.waw.pl/poig2/>.
8. Mizokami, Y., Werner, S. (2006). Nonlinearities in color coding: compensating color appearance for the eye's spectral sensitivity. *Journal of Vision*, 6, 996-1007.
9. Reiko, S., Katsuya, K., Mitoko, A., Shigeaki, W. (2002). Sleep EEG patterns and fatigue of middle – aged and older female family caregivers providing routine nighttime care for elderly persons at home. *Perceptual and Motor Skills*, 95 (3), 815.
10. Rinalducci, E.J., MacArthur M. (1990). *Annotated bibliography on the effects of flicker on simulator sickness*. Florida (USA), Institute for Simulation and Training, University of Central Florida.
11. Schuhfried, G. (1999). Test FLIM. *Instrukcja obsługi Wiedeńskiego Systemu Testów*. Mödling, SCHUHFRIED GmbH.

12. Seitz, A.R., Nanez, J.E., Holloway, S.R., Watanabe, T. (2005). Visual experience can substantially alter critical flicker fusion thresholds. *Human Psychopharmacology: Clinical and Experimental*, 20, 55-60.
13. Veitch, J., McColl, S. (1995). Modulation of fluorescent light: flicker rate and light source effects on visual performance and visual comfort. *Lighting Research and Technology*, 27 (4), 243-256.

