

Wykorzystanie optotypów w badaniach uciążliwości migotania światła wybranych źródeł promieniowania optycznego

Streszczenie. W niniejszej pracy przedstawiono wyniki badań eksperymentalnych dotyczących zależności widzenia migotania światła od wahań napięcia. Badania przeprowadzono na zaprojektowanym stanowisku pomiarowym, składającym się z badanego źródła światła, generatora napięcia o modulowanej amplitudzie zasilającego źródła światła wraz z oprogramowaniem sterującym, oraz układu pozycjonowania obserwatora względem obserwowanej powierzchni. W publikacji zestawiono uzyskane wyniki badań, które pozwoliły na sformułowanie wniosków dotyczących określenia wpływu intensywności migotania światła na liczbę prawidłowo rozpoznanych optotypów dla wybranych źródeł światła.

Abstract. The results of laboratory research, concerning a dependence of light flickering on voltage fluctuations, were presented in the paper. The research was realized on a design measuring position which included the examined light source, a voltage generator with amplitude modulation supplying the light source with control software and a positioning system of the observer with respect to the observed surface. The research results, permitting us to formulate a conclusion concerning the description of the influence of flicker intensity for number of correctly recognized optotypes selected light sources, were described in the paper. (Using the optotypes in research of flicker severity of the selected sources of optical radiation).

Słowa kluczowe: wahania napięcia, źródło światła, migotanie światła, optotyp.

Keywords: voltage fluctuation, light source, flicker, optotype.

Wstęp

Wahania napięcia wpływają na stan pracy zasilanych odbiorników. Najbardziej podatne na wahania są różnego rodzaju źródła światła. Wskutek zmienności napięcia powstaje migotanie światła. Migotanie światła to zmienność strumienia świetlnego lub barwy światła. W zależności od zmienności i rodzaju źródła światła migotanie może być odczuwalne i widzialne. Odczuwanie przez człowieka efektów tego zjawiska zachodzi w łańcuchu: zmiany napięcia – źródło światła – oko – mózg [1]. Migotanie światła powstaje w źródle światła, ale na jego postrzeganie i odczuwanie wpływają wszystkie ogniwa łańcucha. Przy odpowiedniej intensywności migotanie może być przyczyną dyskomfortu. Obecnie do oświetlania pomieszczeń stosowane są źródła inkadescencyjne, wyładowcze (w tym tzw. energooszczędne) oraz coraz częściej matryce diod LED.

W dostępnych publikacjach występują opisy badań wyłącznie dla wybranego rodzaju źródła promieniowania optycznego, lub w stosunkowo ograniczonym zakresie częstotliwości zmian sygnału modulującego.

W pracy [2] przedstawiono wpływ modulacji sygnałem sinusoidalnym, wyłącznie dla 60 W tradycyjnej żarówki, na uciążliwość migotania światła, przy czym zakres modulacji ograniczono do częstotliwości 20 Hz. W pracy [3] zaprezentowano wyniki badań dotyczących lamp fluorescencyjnych różnych typów i mocy, dla przypadku modulacji sygnałem napięciowym zawierającym interharmoniczne różnych rzędów. W pracy [4] zamieszczono wyniki badań dotyczących zależności widzenia migotania światła od wahań napięcia zawierającego interharmoniczne dla przypadku lamp fluorescencyjnych kilku typów obciążanych różnego rodzaju odbiornikami.

W niniejszej pracy przedstawiono wyniki badań eksperymentalnych dotyczących zależności pomiędzy intensywnością widzenia migotania światła a liczbą prawidłowo zliczonych optotypów. Badania przeprowadzono na zaprojektowanym i skonstruowanym stanowisku pomiarowym, składającym się z badanego źródła światła, generatora napięcia o modulowanej amplitudzie sterowanego specjalnym oprogramowaniem oraz układu pozycjonowania obserwatora względem obserwowanej powierzchni. W badaniach wykorzystano następujące źródła światła: inkadescencyjne, halogenowe,

oraz tzw. energooszczędne świetlówki różnych producentów.

Badania przeprowadzono dla wahań napięcia wytworzonych przez modulację amplitudową (AM) obwiedni przebiegu czasowego napięcia zasilającego.

Wahania napięcia

Pomiar i ocena zmienności napięcia w sieci elektroenergetycznej jest złożonym problemem pomiarowym. Wielkości tych zmian oraz ich charakter są najczęściej spowodowane zmianami obciążenia w sieciach elektroenergetycznych. Jedną z miar określającą zmiany napięcia są wahania napięcia.

Wahania napięcia to, zgodnie z dokumentem [5], seria zmian napięcia lub cykliczna zmiana obwiedni. W przypadku wahań napięcia można mówić o kształcie wahań napięcia, amplitudzie oraz częstotliwości zmian napięcia. W literaturze dostępnych jest szereg różnych wskaźników określających wahania napięcia. W praktyce najczęściej wykorzystuje się: maksymalne i minimalne wartości skuteczne napięć, wskaźniki krótkookresowego P_{st} i długookresowego P_{lt} migotania światła oraz amplitudę i częstość wahań. Wskaźnik długookresowego migotania światła P_{lt} obliczany jest na podstawie zestawu wartości P_{st} zgodnie z poniższą zależnością:

$$(1) \quad P_{lt} = \sqrt[3]{\frac{\sum_{i=1}^{12} P_{st_i}^3}{12}}$$

Powyższe wskaźniki są jednymi z ważniejszych parametrów określających jakość energii elektrycznej.

Wahania napięcia powstają u odbiorców energii elektrycznej wskutek pracy w sieciach elektroenergetycznych tzw. niespokojnych odbiorników energii elektrycznej. Przez odbiornik niespokojny należy rozumieć odbiornik elektryczny charakteryzujący się powtarzającymi się nagłymi zmianami obciążenia. Odbiorniki niespokojne wraz z odbiornikami nieliniowymi i niesymetrycznymi są zaliczane do odbiorników zakłócających [6]. Do odbiorników niespokojnych zaliczyć można między innymi takie urządzenia jak: piec łukowy, napędy elektryczne dużej mocy, spawarki elektryczne, pompy tłoczące, kompresory itp.

Migotanie światła

Wahania napięcia powodują szereg negatywnych oddziaływań na odbiorniki. Grupą odbiorników szczególnie wrażliwych na wahania napięcia są różnego rodzaju źródła światła. Migotanie światła, to wrażenie niestabilności postrzegania wzrokowego spowodowane przez strumień świetlny Φ , którego luminancja lub rozkład spektralny zmieniają się w czasie [7]. W zależności od zmienności napięcia i rodzaju źródła światła migotanie może być odczuwane i widzialne. Widzenie jest procesem złożonym, który składa się z trzech etapów: przyjęcia bodźca świetlnego, jego przewodzenia oraz zebrania i jego poznania. Padając na oko światło przechodzi, między innymi, przez źrenicę. Źrenica pod wpływem padającego światła rozszerza się i kurczy. Wahania napięcia a w konsekwencji migotanie światła powoduje ciągle zwężania i rozszerzanie źrenicy. Prowadzi to do zmęczenia człowieka, pogorszenia jego samopoczucia czy ograniczenia zdolności widzenia. Przy odpowiedniej intensywności migotanie może być przyczyną dyskomfortu. Intensywność, z jaką można zaobserwować migotanie światła jest zależne od typu źródła np. inkadescencyjne, lampy wyładowcze, oraz od ich parametrów konstrukcyjnych. Wyniki przeprowadzonych badań, które przedstawiono w dalszej części pracy, mają na celu określenie zależności pomiędzy migotaniem światła a liczbą błędów przy zliczaniu optotypów dla kilku wartości głębokości modulacji, różnych kolorów tablic testowych dla wybranych źródeł promieniowania optycznego.

Jak już wspomniano, migotanie światła może wywoływać u człowieka poczucie dyskomfortu. Wpływ migotania światła na obserwatora, w tym wywołanego wahaniami napięcia zasilającego źródło światła, jest złożonym procesem [8,9]. Zależy od cech osobniczych i stanu obserwatora, warunków środowiskowych, właściwości źródła światła i wahań napięcia [10].

Z technicznego punktu widzenia możliwy jest bezpośredni pomiar migotania światła – czujnikiem fotometrycznym w określonym punkcie powierzchni [11]. Jednakże taki sposób pomiaru posiada dwa podstawowe ograniczenia. Pozyskany w ten sposób wynik pomiaru opisuje migotanie światła w określonym punkcie oświetlanej powierzchni. Niewielka zmiana położenia czujnika może znacząco wpłynąć na wynik pomiaru. Dlatego dla uzyskania reprezentatywnego wyniku powinno się wykonać pomiary w kilku odpowiednio wybranych punktach. Ponadto mając takie reprezentatywne wyniki pomiarów ocena uciążliwości migotania światła nie jest jednoznaczna. Jest to spowodowane osobniczą wrażliwością poszczególnych osób na migotanie światła.

Badania laboratoryjne

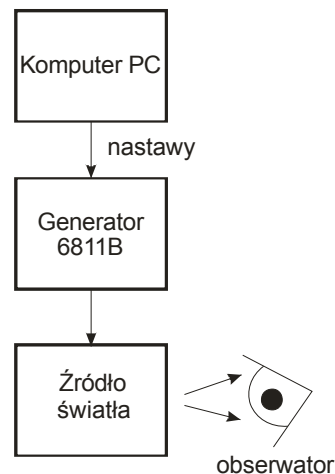
Badania przeprowadzono na zaprojektowanym i skonstruowanym stanowisku pomiarowym, składającym się z badanego źródła światła, generatora napięcia o modulowanej amplitudzie zasilającego źródło światła sterowanego specjalnym oprogramowaniem, oraz układu pozycjonowania obserwatora względem obserwowanej powierzchni oświetlanej badanym źródłem światła.

W omawianym układzie pomiarowym, jako źródło napięcia wykorzystano generator 6811B firmy Agilent, sterowany programem, AC-Source GUI. Generator ten umożliwia, między innymi, zadawanie kształtu przebiegu czasowego, wartości skutecznej i częstotliwości, modulację amplitudy AM i częstotliwości FM przebiegiem harmonicznym. Oceny uciążliwości migotania światła dokonano obserwując zastosowane optotypy – pierścienie Landolta umieszczone na powierzchni różnokolorowych, matowych kartek papieru oświetlanych przez badane źródła światła. W badaniach wykorzystano następujące źródła

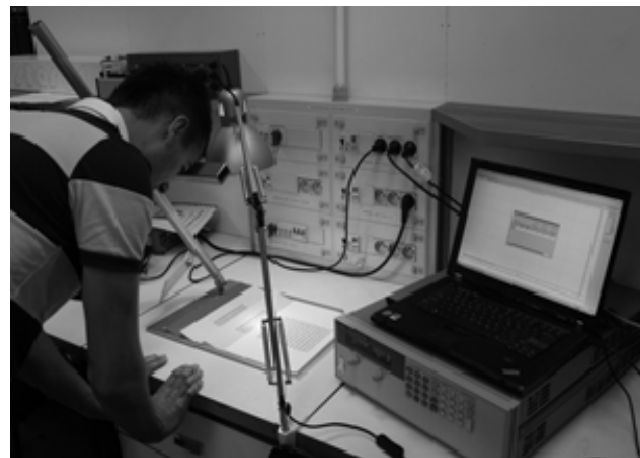
światła: inkadescencyjne o mocy 60 W, halogenowe ES firmy OSRAM o mocy 42 W, oraz tzw. energooszczędne firmy DULUXSTAR o mocy 11 W Mini Twist oraz Mini Ball.

Układ pozycjonowania zapewnia stałą i niezmienną odległość obserwatora względem obserwowanej powierzchni.

Schemat blokowy stanowiska pomiarowego przeznaczonego do określenia wpływu intensywności migotania światła na liczbę prawidłowo rozpoznanych optotypów dla wybranych źródeł światła przedstawiono na rysunku 1, natomiast na rysunku 2 zaprezentowano widok tego stanowiska.



Rys. 1. Schemat blokowy stanowiska pomiarowego do badań uciążliwości migotania światła

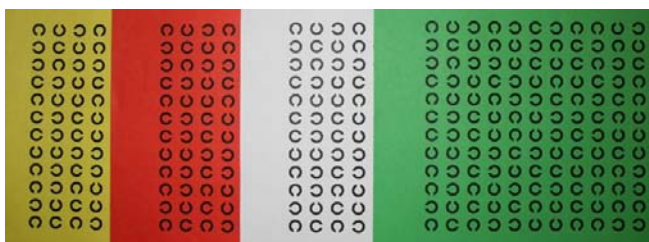


Rys. 2. Widok stanowiska pomiarowego wraz z badaną osobą

Pomiary przeprowadzono w pomieszczeniu o częściowym zaciemnieniu, co zapewniało niezmienną warunków w trakcie przeprowadzania badań. Badania przeprowadzono na grupie 5 mężczyzn w wieku 25 lat. Łączny czas badań z udziałem jednego obserwatora wynosił ok. 50 minut. Pomimo, że wytypowana grupa osób nie tworzy bardzo licznej grupy, jednakże, zdaniem autorów, uzyskane wyniki pomiarów dla takiej grupy badanych osób pozwalają na sformułowanie wstępnych wniosków. Wyniki wielu prac np. [12,13], dotyczących badania wpływu migotania światła na obserwatora dowodzą, że na charakterystyce $\Delta U/U = f(f_m)$, gdzie $\Delta U/U$ oznacza głębokość modulacji natomiast f_m częstotliwość modulacji widoczne są trzy główne lokalne minima, a supremum dla wartości $f_m = 8,8$ Hz. Z tego powodu zdecydowano, że pomiary będą przeprowadzane dla

sygnału sinusoidalnego o wartości skutecznej 230 V modulowanego amplitudowo sygnałem sinusoidalnym o częstotliwości 8,8 Hz. Badania przeprowadzono dla trzech stałych wartości skutecznych sinusoidalnego sygnału modulującego ΔU równych 0,5 V, 4 V i 10 V. Celem badań było znalezienie zależności pomiędzy intensywnością migotania światła, spowodowanego wahaniami napięcia zasilającego źródła światła, a ilością popełnianych błędów podczas zliczania ilości znaków umieszczonych na tablicach optotypów o różnych kolorach. Pod pojęciem optotypów rozumieć należy tablicę z ciągami znaków służącą do badania ostrości wzroku. W badaniach wykorzystano optotypy w postaci tzw. pierścieni Landolta. Tego typu optotypy wykorzystuje się najczęściej w diagnostyce medycznej oraz badaniach sprawności widzenia dla kierowców w kontekście bezpieczeństwa na drodze [14].

Na rysunku 3 przedstawiono przykładowe tablice testowe z optotypami wykorzystywanymi w pomiarach.



Rys. 3. Fragmenty tablic testowych wykorzystywanych w badaniach

Skonstruowane tablice, przedstawione na powyższym rysunku, zawierają 156 pierścieni Landolta rozmieszczonych w równych odstępach w jednakowym rozmiarze. Układ pierścieni zaprojektowano losowo co było podyktowane zwiększeniem wiarygodności badań – badana osoba nie mogła zapamiętać ilości pierścieni podczas kolejnego badania.

Badania przebiegały w sposób cykliczny, tj. po pierwszej serii pomiarowej np. badane źródło inkadescencyjne, głębokość modulacji $\Delta U/U = 4$ V, zliczany pierścień w pozycji \odot , kartka biała, osoba badana udawała się na odpoczynek, podczas gdy kolejna osoba rozpoczynała badania. Taki sposób przeprowadzenia badań miał za zadanie eliminację niepożądanego efektu zmęczenia osoby badanej. W tabeli 1 przedstawiono prawidłową ilość pierścieni dla wszystkich badanych tablic testowych.

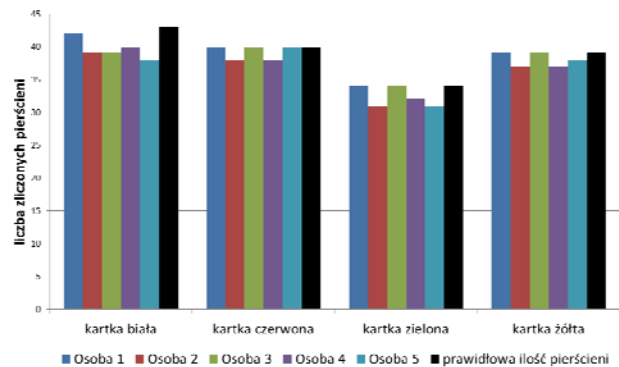
Tabela 1. Prawidłowa ilość badanych pierścieni

Rodzaj pierścienia	Ilość
	43
	40
	34
	39

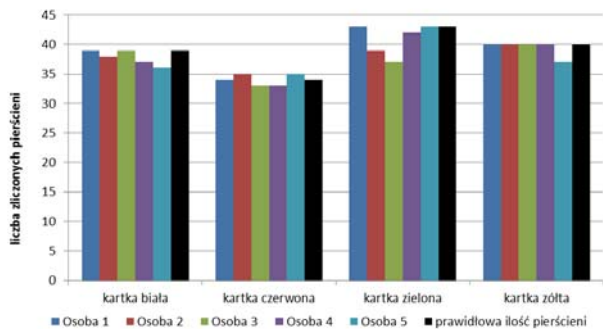
Badania dotyczące określania liczby popełnianych przez obserwatorów błędów przeprowadzono dla wszystkich badanych źródeł promieniowania optycznego.

Przykładowo na rysunkach 4-6 przedstawiono wyniki pomiarów dla źródła inkadescencyjnego, o mocy 60 W, natomiast na rysunkach 7-9 dla źródła energooszczędnego DULUXSTAR o mocy 11 W Mini Ball, dla wszystkich badanych osób, dla różnych kolorów kart oraz określonych wartości skutecznych sygnału modulującego.

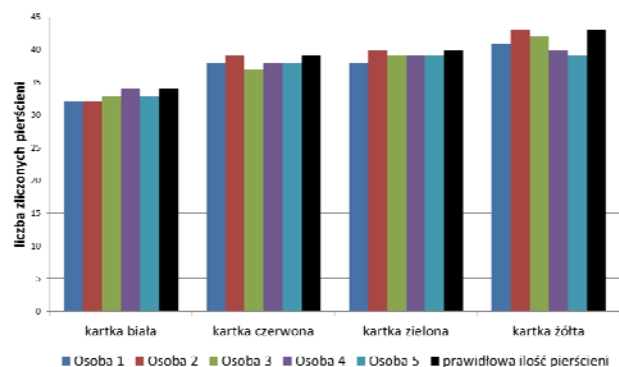
Analogiczne badania przeprowadzono dla pozostałych źródeł promieniowania optycznego.



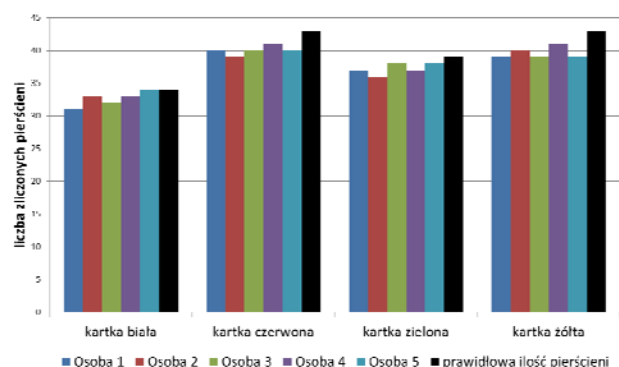
Rys. 4. Zestawienie liczby zliczonych pierścieni dla $\Delta U = 0,5$ V, źródło inkadescencyjne



Rys. 5. Zestawienie liczby zliczonych pierścieni dla $\Delta U = 4$ V, źródło inkadescencyjne



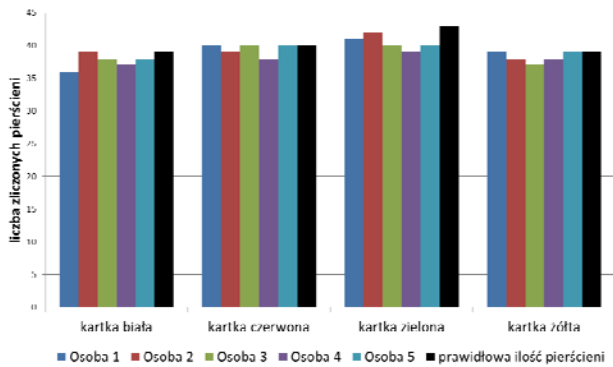
Rys. 6. Zestawienie liczby zliczonych pierścieni dla $\Delta U = 10$ V, źródło inkadescencyjne



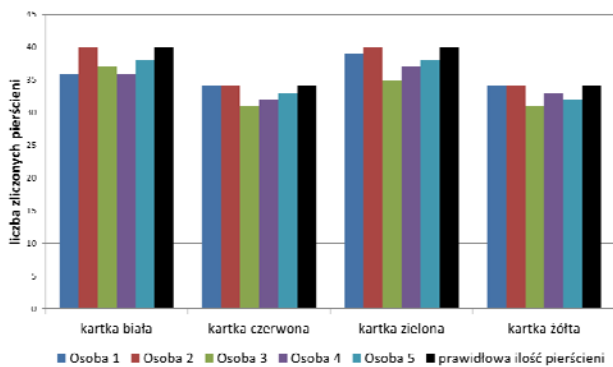
Rys. 7. Zestawienie liczby zliczonych pierścieni dla $\Delta U = 0,5$ V, źródło Mini Ball

Przedstawione na rysunkach 4-9 wyniki badań pozwalają na ocenę wpływu głębokości modulacji oraz koloru kartki na ilość prawidłowo zliczonych optotypów przez osoby biorące udział w badaniach. Dla wszystkich osób biorących udział wyznaczono wartości błędów

względnych i bezwzględnych pomiędzy wartościami zliczonymi w trakcie badań a prawidłową liczbą optotypów.



Rys. 8. Zestawienie liczby zliczonych pierścieni dla $\Delta U = 4 V$, źródło Mini Ball



Rys. 9. Zestawienie liczby zliczonych pierścieni dla $\Delta U = 10 V$, źródło Mini Ball

Z wyników badań, dla wybranych źródeł światła, przedstawionych na rysunkach 4 – 9 wynika, że kolor oświetlanej powierzchni oraz wartość skuteczna napięcia modulacji nie mają istotnego wpływu na ilość popełnianych błędów, przy zliczaniu optotypów, przez badane osoby. Uzyskane rezultaty nie pozwalają jednoznacznie określić zależności pomiędzy kolorem oświetlanej powierzchni, wartością skuteczną sygnału modulującego a ilością popełnianych błędów przez obserwatorów. Wartości błędów względnych, wyznaczonych dla badanych osób, dla wszystkich źródeł światła, są rzędu pojedynczych procentów. Wynika stąd wniosek że ilość popełnianych błędów ma charakter losowy i może zależeć od stanu psychofizycznego badanej osoby.

Posumowanie

W pracy zaprezentowano wyniki badań laboratoryjnych dotyczących badania uciążliwości migotania światła wybranych źródeł promieniowania optycznego. W eksperymencie wykorzystano odmienny sposób badania postrzegania intensywności widzenia migotania światła polegający na zliczaniu ilości wybranych optotypów – pierścieni Landolta. Badania przeprowadzono dla częstotliwości modulacji równej 8,8 Hz, przy której migotanie światła, co potwierdziły wieloletnie badania, jest szczególnie uciążliwe dla człowieka. Uzyskane rezultaty pozwoliły na sformułowanie konkluzji, że kolor oświetlanej powierzchni jak również wartość skuteczna sygnału modulującego nie mają istotnego wpływu na ilość błędów popełnianych podczas badań przez obserwatorów. Z charakterystyk przedstawionych na rysunkach 4 – 9 wynika, że błędy popełniane przez obserwatorów mają charakter losowy a ich wartość nie przekracza kilku procent. Istotnym skutkiem zmiany wartości skutecznej sygnału modulującego

w trakcie eksperymentu był stan psychofizyczny badanych osób. Przy większych wartościach głębokość modulacji $\Delta U/U$ obserwatorzy mieli problemy ze skupieniem oraz szybciej odczuwali zmęczenie.

Powyższe wnioski sformułowano na podstawie badań czterech źródeł promieniowania optycznego dla pięciu obserwatorów. Dlatego zasadne jest, zdaniem autorów, rozszerzenie zakresu badań eksperymentalnych dla liczniejszej populacji obserwatorów oraz innych typów źródeł światła, które pozwolą na sformułowanie bardziej obiektywnych wniosków.

Autorzy: dr. inż. Przemysław Otomański, Politechnika Poznańska, Instytut Elektrotechniki i Elektroniki Przemysłowej, ul. Piotrowo 3a, 60-965 Poznań, E-mail: przemyslaw.otomanski@put.poznan.pl; mgr inż. Michał Salicki, MAN Bus Sp. z o.o., ul. Poznańska 4 Sady, 62-080 Tarnowo Podgórne, E-mail: michal.salicki@gmail.com.

LITERATURA

- [1] Peretto L., Pivell E., Tinarelli R., Emanuel A.E., Theoretical analysis of the physiologic mechanism of luminous variation in eye-brain system, *IEEE Transaction on Instrumentation and Measurement*, 56 (2007), n.1, 164-170
- [2] Braun J., Perera V., Gosbell V., Design of light chamber for the characterization of flicker behavior of lamps, in *Proceedings of the Australian Universities Power Engineering Conference*, (2005), Hobart, Australia, 1-6
- [3] Chen S., Heah M.Y., Then A.B., Foo M.K., Automatic evaluation of flickering sensitivity of fluorescent lamps caused by interharmonic voltages, *Proceedings of the XIII International Conference on Harmonics and Quality of Power*, (2008), Wollongong, Australia, 1-6
- [4] Drapela J., Kratky M., Weidinger L., Zavodny M., Light Flicker of Fluorescent Lamps with Different Types of Ballasts Caused by Interharmonics, in *Proceedings of IEEE Power Techn. Conference*, (2005), St. Petersburg, Russia, 1-7
- [5] IEV number 161-08-05, Voltage fluctuations, (2016), <http://www.electropedia.org/>
- [6] Kowalski Z., Jakość energii elektrycznej, Monografie Politechniki Łódzkiej, 2007
- [7] IEV number 845-02-49, Flicker, (2016), <http://www.electropedia.org/>
- [8] Emanuel A.E., Peretto L., A simple Lamp-Eye-Brain model for flicker observations, *IEEE Transaction on Power Delivery*, 19 (2004), n.3, 1308-1313
- [9] Peretto L., Pivello E., Tinarelli R., Emanuel A.E., Theoretical Analysis of the Physiologic Mechanism of Luminous Variation in Eye-Brain System, *IEEE Transaction on Instrumentation and Measurement*, 56 (2007), n. 1, 164-170
- [10] Peretto L., Riva C.E., Rovati L., Salvatori G., Tinarelli R., Analysis of the effects of flicker on the blood-flow variation in the human eye, *IEEE Transaction on Instrumentation and Measurement*, 58 (2009), n. 9, 2916-2922
- [11] Gallo D., Landi C., Pasquino N., An instrument for objective measurement of light flicker, *Measurement*, 41 (2008), 334-340
- [12] Wiczyński G., Sectional approximation of the flickermeter transformation characteristic for a sinusoidal modulating signal, *IEEE Transaction on Instrumentation and Measurement*, 57 (2008), n. 10, 2355-2363
- [13] Otomański P., Wpływ wahań napięcia na wybrane źródła promieniowania optycznego, *Pomiary Automatyka Kontrola*, 9 (2010), 1077-1080
- [14] Dobrzyńska M., Ucińska M., Znaczenie sprawności widzenia dla bezpiecznego prowadzenia pojazdu, *Transport Samochodowy*, 2 (2014), 23-43