

Urszula J. BŁASZCZAK
POLITECHNIKA BIAŁOSTOCKA

Metoda pomiaru wskaźnika *UGR* z wykorzystaniem kamery z detektorem CCD

Dr inż. Urszula J. BŁASZCZAK

Autorka jest pracownikiem naukowo - dydaktycznym w Katedrze Promieniowania Optycznego na Wydziale Elektrycznym Politechniki Białostockiej. Jej zainteresowania naukowe skierowane są na zagadnienia związane z optoelektroniką i techniką świetlną, a w szczególności miernictwem promieniowania optycznego.



e-mail: urszula@we.pb.edu.pl

Streszczenie

W artykule opisano wyniki badań mających na celu opracowanie metody pomiaru oślnienia przykrego, wykorzystującej kamerę z matrycą CCD. Przedstawiono ogólne informacje na temat oślnienia i dotychczasowych prób jego oceny. Zaprezentowano oryginalną metodę pomiaru wielkości niezbędnych do wyznaczenia wskaźnika *UGR*, którą poparto wynikami badań eksperymentalnych. Dzięki temu wykazano możliwość pomiaru oślnienia przykrego za pomocą miernika w konfiguracji cyfrowej kamery otwornej.

Słowa kluczowe: oślnienie przykre, pomiar, matryca CCD.

The method for *UGR* index measurement with use of a camera with CCD matrix

Abstract

In the paper the results of investigations on elaboration of a discomfort glare measurement method are described. This method uses a camera with CCD matrix. In the introduction some general information about glare [1, 2, 3, 4, 5, 6] and attempts to measure it [7] are presented. Besides, the most reliable system of glare evaluation - called the unified glare rating system *UGR* [8, 9] - is introduced. It imposes the necessity of estimation of the following quantities: background luminance, luminance of glare sources, their angular size and spatial arrangement (Fig. 1). A novel method for measurement of these quantities and, as a result, of the *UGR* index is described in Paragraph 2. It uses a pinhole digital camera. In practice this method consists in taking a series of images of the analysed area in the investigated interior. These images are used to calculate the background luminance, the luminance of each source within the field of view, their Guth position indexes and solid angles [7, 8]. It is done on a basis of the brightness analysis and localization of each pixel on the image (Figs. 2 and 3). After including parameters of the imaging system these results give information about the searched quantities. In Paragraph 3 the structure and most important parameters [7, 10, 11] of the research stand (from the photometry point of view) are described. If the luminance distribution is included by the single image, the luminance distribution measurement uncertainty is 6,83%. The exemplary results of the *UGR* index measurements are presented in Paragraph 4. For the luminance distribution simulated in a laboratory and contained in the field of view of the imaging system the maximum error was 6,9%. In a real didactic room this error was about 28%. In conclusions the discussion of the presented results is carried out. The possible directions of later investigations are suggested.

Keywords: discomfort glare, measurement, CCD matrix.

1. Wstęp

Układ wzrokowy człowieka pracuje poprawnie przy określonych wartościach natężenia oświetlenia i luminancji obiektów w polu widzenia. Zasadniczą rolę w poprawianiu warunków pracy wzrokowej odgrywa oświetlenie elektryczne, dzięki któremu można wpływać na poziom natężenia oświetlenia w pomieszczeniu. Normy [1] określają zalecane wartości natężenia oświetlenia, przy których wykonywanie danej czynności (pracy) wydaje się

być komfortowe. Wartości te różnią się znacząco, zależnie od rodzaju czynności. Wytworzenie odpowiedniej ilości strumienia świetlnego, zwłaszcza przy dużych wartościach natężenia oświetlenia, oznacza konieczność zastosowania wielu źródeł światła. Pociąga to za sobą konieczność pracy wzrokowej w warunkach, gdy w polu widzenia są obszary o bardzo zróżnicowanej luminancji. Oko ludzkie jest oczywiście do tego przystosowane - może przetwarzać informacje w zakresie wartości luminancji różniących się aż o 15 rzędów wielkości. Jest to możliwe dzięki zdolności układu wzrokowego do analizowania warunków zewnętrznych i dostosowywania swojej wrażliwości na światło w procesie adaptacji. Zdolności adaptacyjne układu wzrokowego nie są jednak nieograniczone i nawet przy zachowaniu zalecanych do wykonywania danej pracy poziomów natężenia oświetlenia, mogą wystąpić zjawiska obniżające komfort pracy wzrokowej. Jednym z nich jest oślnienie.

Oślnienie jest definiowane jako warunki widzenia, przy których występuje odczucie niewygody lub zmniejszenie zdolności percepcyjnych [2, 3]. Niekiedy zjawiska te występują jednocześnie. Powyższe sformułowanie odnosi się nie do człowieka jako podmiotu narażonego na skutki oślnienia, lecz do źródła jego występowania czyli systemu oświetleniowego. W literaturze można również napotkać zupełnie inne definicje oślnienia. W [4, 5] jest ono definiowane jako „przebieg procesu widzenia”, podczas gdy w [6] czytamy o „doznaniu wywołanym jaskrawymi powierzchniami występującymi w polu widzenia”. Autorzy tych sformułowań nie traktują zatem oślnienia jako cechy przypisanej źródłom światła, lecz jako efekt psychofizjologiczny pewnego zespołu czynników oświetleniowych. Jednocześnie, pomimo różnic definicyjnych, wskazują na te same czynniki i zależności wpływające na nasilenie zjawiska.

Rozróżnia się trzy główne rodzaje oślnienia: przeszkadzające, przykre i oślepiające. Na stanowiskach pracy w pomieszczeniach największą rolę odgrywa ograniczenie oślnienia przykrego. Jest ono często określane mianem „psychologicznego”, ponieważ stanowi w pierwszej kolejności zagrożenie dla stanu psychicznego doświadczającej. Powoduje uczucie niewygody, przykrości, rozdrażnienia i dekoncentracji. Do chwili obecnej nie wyjaśniono ostatecznie etiologii powstawania tego zjawiska, jednak określono czynniki wpływające na jego intensywność. Ustalono, że nasilenie efektów oślnienia przykrego zależy od wzajemnych relacji luminancji w polu widzenia, a także parametrów geometrycznych uwarunkowanych rozmieszczeniem i wielkością źródeł światła względem oczu obserwatora i jego kierunku obserwacji. Opracowano szereg zależności, na podstawie których można wyliczyć wskaźniki informujące o przewidywanym nasileniu niewygody w danych warunkach oświetleniowych. Ponadto, zaobserwowano szereg niekorzystnych zjawisk będących skutkiem pracy w pomieszczeniach, w których wskaźniki te przekraczają wartości graniczne. Z tego powodu pomiar oślnienia jest postrzegany jako istotny z punktu widzenia techniki świetlnej, medycyny a także bezpieczeństwa i higieny pracy.

Dotychczasowe próby pomiaru oślnienia przykrego obejmowały różnorodne metody [7], co wynikało głównie z zakładanych przyczyn zjawiska, a tym samym przyjętej metodologii postępowania. I tak, oprócz subiektywnej oceny oślnienia przykrego, pojawiło się badanie stopnia zmęczenia wzroku oraz pomiary stanu czynnościowego narządu wzroku. W ich obrębie skupiono się na dwóch zagadnieniach: badaniu ruchów gałki ocznej oraz analizie zachowania źrenicy oka. Badania te ukierunkowane były na człowieka jako podmiot odczuwający skutki niewłaściwie wykonanego systemu oświetleniowego. Podejście takie wydawało się słuszne do czasu, gdy wypracowano metody ilościowego opisu zjawiska i jego związku z wielkościami fotometrycznymi (lumi-

nancja) oraz geometrycznymi (wielkość i położenie źródeł ośnienia). W chwili obecnej, za najbardziej wiarygodną metodę pozwalającą liczbowo określić nasilenie zjawiska ośnienia przykrego, wywołanego światłem elektrycznym, uznaje się ujednoliconą metodę oceny ośnienia przykrego [8, 9], w której dla danych warunków oświetleniowych wyznacza się wskaźnik według zależności

$$UGR = 8 \cdot \log \left(\frac{0,25}{L_t} \sum \frac{L^2 \cdot \omega}{p^2} \right), \quad (1)$$

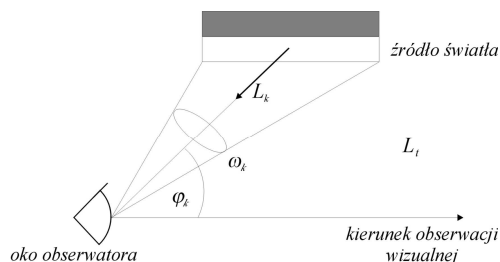
gdzie L_t to luminancja tła, L – luminancja świecących części każdej oprawy w kierunku oka obserwatora, ω – kąt bryłowy, w którym oko obserwatora widzi świecące części każdej oprawy, natomiast p jest wskaźnikiem położenia Guth'a każdej oprawy ośniewającej względem kierunku obserwacji.

2. Koncepcja realizacji pomiaru wskaźnika UGR w pomieszczeniach

Wybór systemu liczbowej oceny ośnienia przykrego jest konsekwencją analizy aktualnego stanu wiedzy na ten temat oraz norm z zakresu techniki świetlnej. Na tej podstawie autorka zaproponowała metodę pomiaru ośnienia przykrego wykorzystującego system ujednoliconej oceny ośnienia przykrego UGR (zgodny z zależnością 1). W praktyce metoda ta polega na wykonaniu w badanym pomieszczeniu szeregu zdjęć za pomocą kamery z detektorem matrycowym, przy określonych parametrach ekspozycji. Otrzymane obrazy poddawane są analizie i obliczeniom, których wynikiem jest wartość wskaźnika UGR.

Wyznaczenie wskaźnika ośnienia wymaga znajomości następujących wielkości (rys. 1):

- Luminancja tła L_t , która jest zdefiniowana jako uśredniona luminancja otoczenia widzianego okiem obserwatora, z wyłączeniem luminancji źródeł powodujących ośnienie;
- Luminancja L_k świecącej części każdej z opraw, wyznaczona w kierunku oka obserwatora, która wywołuje u niego zjawisko ośnienia ($k = 1, \dots, n$, n – ilość źródeł wywołujących ośnienie u osoby przebywającej w danym pomieszczeniu);
- Kąt przestrzenny ω_k , w którym zawierają się świecące części każdej z opraw ($k = 1, \dots, n$);
- Wskaźnik Guth'a p_k określający korelację pomiędzy położeniem każdego źródła ośniewającego a poziomem niewygody, jakie ono wywołuje. Wartości wskaźnika położenia zostały określone przez Luckiesh'a i Guth'a drogą eksperymentalną i podane są w formie graficznej lub tabelarycznej (np. w [8]).



Rys. 1. Ilustracja wielkości niezbędnych do wyznaczenia wskaźnika UGR: L_k – luminancja źródła w kierunku oka obserwatora, ω_k – kąt bryłowy, ϕ_k – odchylenie środka źródła ośnienia od kierunku obserwacji, L_t – luminancja tła.

Fig. 1. Illustration of the quantities necessary to evaluate the UGR index: L_k – the source luminance in the direction of the observer's eyes, ω_k – solid angle, ϕ_k – deviation of the source center from the line of sight, L_t – background luminance

Wyżej wymienionych danych dostarcza analiza obrazu uzyskanego w wyniku odwzorowania na detektorze matrycowym rozkładu luminancji z założonego obszaru (pokrywającego się w przybliżeniu z polem pracy wzrokowej człowieka), zapisanego w formie obrazu cyfrowego.

Zakładając, że elementarny obszar w polu pracy wzrokowej o luminancji L_{aij} (mierzonej z miejsca położenia oczu obserwatora) jest odwzorowywany na pojedynczym elemencie światłoczułym o powierzchni S_{ij} detektora matrycowego, natężenie oświetlenia powierzchni tego elementu wynosi [7]

$$E_{ij} = \frac{\tau \cdot \Phi_{ij}}{S_{ij}} \text{ [lx]}, \quad (2)$$

gdzie: Φ_{ij} – strumień świetlny padający na element detektora o współrzędnych (i, j) , τ – współczynnik przepuszczania układu odwzorowującego.

Strumień Φ_{ij} jest zależny od luminancji L_{aij} obszaru w kierunku α_{ij} , którego obraz uzyskano na tym elemencie. Znając natężenie oświetlenia E_{ij} można wyznaczyć wartość luminancji L_{aij} , korzystając z zależności [7]

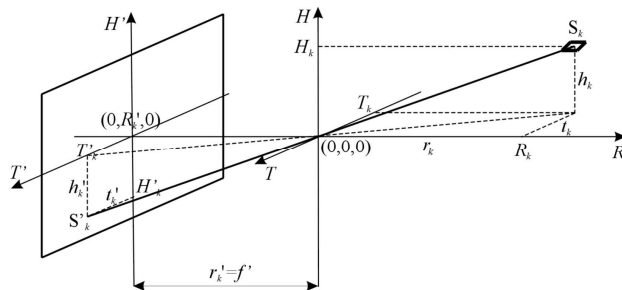
$$L_{aij} = \frac{E_{ij}}{\omega_{ij} \cdot \cos \alpha_{ij}} \text{ [cd/m}^2\text{]}, \quad (3)$$

gdzie: ω_{ij} – kąt bryłowy obejmujący elementarny obszar w polu widzenia, α_{ij} – kąt pomiędzy normalną do powierzchni świecącej a prostą łączącą elementarny obszar oprawy, odwzorowany na elemencie światłoczułym o współrzędnych (i, j) , ze środkiem tego elementu i przechodzącą przez środek źrenicy układu odwzorowującego.

Z równania (3) wynika, że cyfrowe wartości, reprezentujące natężenie oświetlenia na powierzchni poszczególnych elementów matrycy, stanowią odwzorowanie rozkładu luminancji w polu widzenia układu rejestrującego. Analiza numeryczna uzyskanej mapy dostarczyć zatem może danych na temat luminancji w polu widzenia układu rejestrującego obraz, które można wykorzystać do liczbowej oceny ośnienia przykrego.

W ocenie ośnienia przykrego rozmieszczenie źródeł w pomieszczeniu określane jest na podstawie przypisania każdemu z nich odpowiedniej wartości wskaźnika położenia p . Wskaźnik ten jest wyznaczany dla konkretnego punktu odniesienia, którym jest położenie oczu osoby wykonującej pracę wzrokową przy wybranym kierunku obserwacji. Wraz ze zmianą punktu odniesienia ulegają zmianie wartości wskaźników położenia wszystkich źródeł światła znajdujących się w pomieszczeniu.

Stosownie do zaleceń CIE [8], wskaźnik położenia Guth'a może być wyznaczony poprzez interpolację danych zawartych w tabeli wskaźników położenia. Można go określić znając tangens (H/R) kąta między kierunkiem obserwacji, a prostą łączącą punkt będący rzutem prostokątnym środka S_k k -tej oprawy na płaszczyznę pionową, w której zawarta jest oś optyczna wzroku oraz tangens (T/R) kąta między kierunkiem obserwacji a prostą łączącą punkt będący rzutem prostokątnym środka S_k k -tej oprawy na płaszczyznę poziomą, zawierającą oś optyczną wzroku (prostą wyznaczającą kierunek obserwacji wizualnej) (rys. 2).



Rys. 2. Układ współrzędnych do oceny rozmieszczenia źródeł światła

Fig. 2. Coordinate system for estimation of the light source localization

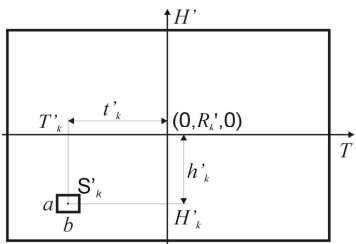
Przy założeniu, że promienie propagowane są prostoliniowo (również w obszarze układu odwzorowującego), środka k -tej oprawy można przedstawić jako [7]:

$$\begin{aligned} \frac{t_k}{r_k} &= \frac{i_k \cdot b}{f'} \\ \frac{h_k}{r_k} &= \frac{j_k \cdot a}{f'} \end{aligned} \quad (4)$$

gdzie: i_k, j_k – odległość danej komórki (piksela) od środka matrycy, wyrażona jako ilość wierszy i kolumn, a, b – wymiary elementu światłoczułego matrycy, f' – ogniskowa układu odwzorowującego, a pozostałe oznaczenia jak na rysunku 2.

Dla potrzeb analizy wymiarów obszaru odwzorowanego na powierzchni detektora matrycowego wybrany został fragment S_k oprawy oświetleniowej zarejestrowany na powierzchni elementarnego obszaru detektora matrycowego o współrzędnych (T'_k, H'_k) (rys. 3). Odległości rzutów środka tego elementu światłoczułego na osie T' i H' od środka układu współrzędnych (środku matrycy) wynoszą t'_k i h'_k . Ponieważ, zgodnie z przyjętym założeniem, propagacja światła w analizowanym układzie odbywa się prostoliniowo, można zapisać zależność [7]

$$\omega_k = \frac{a \cdot b \cdot f'}{\sqrt{a^2 j_k^2 + b^2 i_k^2 + f'^2} \cdot \sqrt{a^2 j_k^2 + b^2 i_k^2 + f'^2}} \quad (5)$$



Rys. 3. Współrzędne elementu światłoczułego matrycy
Fig. 3. Coordinates of the matrix photoelement

Znając parametry układu rejestracji obrazu (odległość źrenicy układu odwzorowującego od powierzchni detektora f' oraz wymiary pojedynczego elementu światłoczułego), na podstawie współrzędnych (i_k, j_k) położenia rozpatrywanego elementu światłoczułego, na powierzchni którego odwzorowany został fragment źródła światła, można wyznaczyć elementarny kąt bryłowy, z którego strumień świetlny pada na powierzchnię wybranego elementu światłoczułego.

3. Konfiguracja stanowiska badawczego

W celu weryfikacji zaproponowanej w tej pracy obiektywnej metody pomiaru ośnienia przykrego we wnętrzach, zbudowano stanowisko badawcze do rejestracji i analizy rozkładu luminancji. Składa się ono z układu rejestracji obrazu oraz komputera realizującego niezbędną procedurę obliczeniową. Typowy układ rejestracji obrazu to obiektyw odwzorowujący analizowany zakres przestrzeni przedmiotowej oraz detektor matrycowy.

Obiektywy szklane, jako elementy odwzorowujące przestrzeń przedmiotową na powierzchni detektora, w znaczącym stopniu ingerują w sposób propagacji światła w układzie. Ich wpływ przejawia się z jednej strony skupieniem światła, z drugiej zaś wystąpieniem zniekształceń geometrycznych i chromatycznych. O ile w przypadku pomiarów z użyciem detektorów całkujących zniekształcenia takie można uznać za pomijalne, o tyle użycie matrycy detektorów pociąga za sobą konsekwencje co do precyzji odwzorowania [10].

Matryce detektorów są powszechnie stosowane w technice pomiarowej – również w fotometrii [7], skutkiem czego możliwy stał się nie tylko pomiar określonych wielkości, ale co istotniejsze ich rozkład przestrzenny. W tym przypadku przestrzeń przedmiotowa jest dzielona na obszary elementarne, z których każdy jest rejestrowany przez osobny element detekcyjny matrycy. Zakłada się,

że taki elementarny obszar przestrzeni przedmiotowej jest ściśle określony, a jego wymiary wynikają wprost z konfiguracji układu, jednak w przypadku układów z obiektywem założenie takie należy traktować raczej jako przybliżenie.

Alternatywną metodą odwzorowania może być zastosowanie układu kamery otworkowej. Układ taki składa się wyłącznie z detektora oraz cienkiej przysłony, w której wykonano otwór o małej średnicy. Szczególnie istotną zaletą takiej konfiguracji jest brak aberracji charakterystycznych dla układów soczewkowych. Ponadto wyeliminowany jest problem niejednoznaczności położenia źrenicy, który występuje w typowych układach kamer (z obiektywem). Znacznie prostsze są też zależności fotometryczne. Nie występuje winietowanie geometryczne, jedynie naturalny spadek intensywności w obszarach pozaosiowych wskutek zjawiska winietowania naturalnego o prostej interpretacji geometrycznej [7]. Z racji prostoliniowej propagacji światła, konfiguracja taka jest wskazana do aplikacji przedstawionych metod pomiaru wskaźnika położenia Guth'a oraz kąta bryłowego.

Do realizacji prototypu stanowiska pomiarowego wybrano detektor ICX413AQ firmy Sony, na bazie którego zbudowano układ odwzorowujący w konfiguracji kamery otworkowej. W celu wykorzystania go do pomiarów wielkości świetlnych, konieczne jest określenie relacji pomiędzy sygnałem wyjściowym komórki detektora a światłem padającym na detektor. Przeprowadzona analiza budowy układu rejestrującego oraz zasady działania scalonych przetworników obrazu pozwalają wyodrębnić ich parametry wpływające na dokładność pomiarów luminancji. W celu zastosowania układu cyfrowej kamery otworkowej do tych pomiarów należy uwzględnić:

- szumy przetwornika,
- czułość widmową przetwornika,
- czas naświetlania detektora,
- liniowość charakterystyki przetwornika,
- wpływ winietowania naturalnego.

Przeprowadzona analiza szumów detektora wykazała, że wzrost czułości przetwornika powoduje zwiększanie się maksymalnej wartości szumów, jednak zmiany te nie przekraczają 6,5%. Również wartość średnia szumów wzrasta, jednak wzrost ten jest wolniejszy niż w przypadku szumów maksymalnych. Wartości minimalne szumów w przypadku kanału zielonego spadają o 3,5%, natomiast niebieskiego o 2,5%. Szumy minimalne w kanale czerwonym nieznacznie wzrastają przy zmianie czułości z wartości $ISO = 200$ do $ISO = 400$ i dalej utrzymują się praktycznie na stałym poziomie.

Powierzchniowe wahania poziomu szumów rosną wraz ze wzrostem czułości. Największe powierzchniowe wahania szumów występują w kanale czerwonym – sięgają 10% przy czułości przetwornika $ISO = 1600$ i są dwukrotnie wyższe niż przy czułości $ISO = 200$.

Jednym z najważniejszych wymagań, stawianych przyrządom fotometrycznym, jest dopasowanie charakterystyki czułości widmowej detektora do charakterystyki czułości widmowej oka ludzkiego V_λ . Błąd wynikający z niedopasowania tych dwóch krzywych określa tzw. błąd f_1' [11]. Możliwości korekcji charakterystyki widmowej detektorów CCD są związane z występującymi w ich strukturze filtrami barwnymi. W wybranej matrycy zastosowano filtr RGB typu Bayera, więc luminancję obszaru odwzorowanego na powierzchni „piksela” o współrzędnych (i, j) można zapisać jako [7]

$$L_{ij} = k_L \cdot (k_R V_{Rij} + k_G V_{Gij} + k_B V_{Bij}) \quad (6)$$

gdzie: L_{ij} – luminancja piksela o współrzędnych na matrycy (i, j) [cd/m^2], k_L – współczynnik kalibracji, V_{Rij} , V_{Gij} , V_{Bij} – wartość składowej czerwonej, zielonej i niebieskiej, k_R , k_G , k_B – współczynniki proporcjonalności dla poszczególnych składowych.

Po zbadaniu charakterystyki widmowej kamery tak dobrano wartości współczynników k_R , k_G i k_B , by zminimalizować wartość błędu f_1' . Otrzymano błąd 19,4%. Wartość ta byłaby bardzo wysoka w przypadku standardowego miernika luminancji o małym

polu widzenia. Ze względu na znacznie większe pole widzenia i po porównaniu otrzymanej wartości ze znanymi autorce przyrządami służącymi do pomiaru rozkładu luminancji, uzyskaną wartość uznano za satysfakcjonującą na aktualnym etapie badań.

Po przeprowadzeniu korekcy widmowej wykonano analizę liniowości reakcji matrycy oraz jej zmian w funkcji zmian parametrów ekspozycji. W żadnym przypadku odchyłki od liniowości nie przekraczały 3%. Następnie przeprowadzono kalibrację układu i oszacowano niepewność pomiaru. Dla obszaru mieszczącego się w obrębie jednego kadru wyniosła ona 6,83%.

4. Wyniki pomiarów

Weryfikację eksperymentalną opracowanej metody pomiaru przeprowadzono w dwóch etapach. Pierwszy z nich polegał na badaniu zasymulowanego w warunkach laboratoryjnych rozkładu luminancji z obszarem olśniewającym. W polu widzenia układu rejestrującego umieszczono rozpraszający ekran o rozkładzie przybliżeniu równomiernym rozkładzie luminancji, a następnie zwiększano luminancję fragmentów ekranu. Znana była wielkość i położenie środka tych obszarów względem układu rejestracji obrazu, a co za tym idzie ich wielkość kątowna i wskaźnik położenia Guth'a. Zasymulowano 3 takie obszary – ich luminancję zmierzono miernikiem luminancji Minolta LS-110. Dla każdego z nich wyliczono wartość wskaźnika UGR na podstawie. Następnie dokonano rejestracji obrazu ekranu za pomocą zbudowanej cyfrowej kamery otworkowej i po analizie obrazu wyznaczono wartość wskaźnika UGR . Wyniki obliczeń i pomiarów zestawiono w tabeli 1 [7].

Tab. 1. Porównanie obliczonej i zmierzonej wartości wskaźnika UGR
Tab. 1. Comparison of the calculated and measured UGR index values

| L.p. | UGR_{obl} | UGR_{zm} | $ \delta UGR $ | $\delta_{UGR} [\%]$ |
|------|-------------|------------|----------------|---------------------|
| 1 | 12,96 | 13,7 | 0,74 | 5,7 |
| 2 | 12,72 | 13,6 | 0,88 | 6,9 |
| 3 | 12,90 | 13,4 | 0,50 | 3,9 |

Następnie W celu sprawdzenia możliwości przeprowadzenia pomiaru w rzeczywistych warunkach, dokonano rejestracji obrazów w wybranym pomieszczeniu dydaktycznym. Do tego celu wybrano jedno z pomieszczeń w budynku Wydziału Elektrycznego Politechniki Białostockiej.

Do chwili obecnej nie istnieje przyrząd, który pozwoliłby dokonać pomiaru wskaźnika UGR , nie ma zatem możliwości porównania wyników otrzymanych na podstawie analizy mapy luminancji z wynikami pomiarów przeprowadzonych inną metodą. Z tego powodu zdecydowano się na przeprowadzenie obliczeń w programie DIALux i potraktowanie ich wyników za punkt odniesienia dla proponowanej metody. Obliczona wartość wskaźnika UGR wzniosła 15. W badanym pomieszczeniu dokonano rejestracji obrazów zgodnie z opracowaną procedurą, której wynikiem była seria obrazów jasnych oraz ciemnych. Następnie przeprowadzono obliczenia korekcyjne, dzięki czemu otrzymano obrazy stanowiące mapę rozkładu luminancji w polu widzenia człowieka. Na podstawie otrzymanego rozkładu wyznaczono luminancję tła, luminancję opraw widocznych w polu widzenia, kąt bryłowy i wskaźnik położenia każdej z nich, a także wskaźnik UGR dla danej pozycji obserwatora. Otrzymano wartość $UGR=19,2$.

5. Wnioski

Otrzymana wartość wskaźnika UGR różni się od wartości, otrzymanej na podstawie obliczeń w programie do projektowania oświetlenia, o 4,2 jednostki, co stanowi około 28% wartości obliczonej. Takie błędy pomiarowe są niekiedy akceptowane w technice świetlnej, więc wynik ten nie dyskwalifikuje przedstawione-

go rozwiązania problemu pomiaru olśnienia przykrego. Zaistniała różnica może być spowodowana kilkoma przyczynami. Pierwszą niedokładność nich jest niedokładność pomiaru luminancji, przez ci zarówno luminancja tła, jak i średnia luminancja każdego ze źródeł olśnienia, które posłużyły do obliczenia wskaźnika UGR , różnią się od wartości rzeczywistych.

Zgodnie z wynikami badań przedstawionymi w rozdziale 3, błąd pomiaru luminancji w centrum kadru został określony na 6,83%. Wyniki przeprowadzonych eksperymentów wskazują, że wartość ta jest większa, jeśli przedmiot zostanie odwzorowany poza centralnym obszarem kadru. Błąd ten można zmniejszyć wprowadzając korekcję wpływu położenia piksela, względem środka matrycy, na pomiar luminancji obszaru odwzorowanego na elemencie światłoczułym związanym z tym pikselem.

Istotnym źródłem rozbieżności otrzymanych wyników jest fakt, że charakterystyka widmowa źródeł znajdujących się w pomieszczeniu różniła się od charakterystyki widmowej źródła użytego do wyznaczenia i korekcy charakterystyki widmowej. Wskutek tego wyniki pomiaru ich luminancji mogą również odbiegać od wartości zmierzonych miernikiem luminancji o mniejszej wartości błędów f_i .

Innymi przyczynami rozbieżności wyników przeprowadzonych pomiarów mogą być błędy w budowie układu rejestracji obrazu (np. niecentryczność otworu przysłony), określona dokładność pomiaru parametrów kamery (np. ogniskowej ekwiwalentnej). Ponadto należy zwrócić uwagę, iż rejestrowane za pomocą kamery otworkowej obrazy charakteryzują się rozmytymi granicami pomiędzy obszarami o różnych jasnościach. Wyznaczenie granicy obszaru źródła i tła może być zatem utrudnione i wymagać wprowadzenia złożonych algorytmów wykrywania granicy w oprogramowaniu analizującym.

Pomimo powyższych rozbieżności można stwierdzić, iż uzyskane wyniki wskazują, że możliwa jest praktyczna realizacja metody pomiaru olśnienia przykrego w pomieszczeniu, opartej na analizie cyfrowego obrazu tego pomieszczenia. Upowszechnienie użytkowe tej metody wymaga jednak dalszych badań nad udoskonaleniem stanowiska pomiarowego.

Artykuł zrealizowany w ramach pracy badawczej S/WE/2/08 prowadzonej na Politechnice Białostockiej.

6. Literatura

- [1] PN-EN 12464, 2003.
- [2] PN-90/E-01005 Technika świetlna – terminologia.
- [3] "International Lighting Vocabulary" CIE17.4, 1987.
- [4] PN-EN 12665:2008, „Światło i oświetlenie - Podstawowe terminy oraz kryteria określania wymagań dotyczących oświetlenia”, 2008.
- [5] Bąk J.: „Komentarz do normy PN-EN-12464-1”, Centralny Ośrodek Szkolenia i Wydawnictw SEP, Warszawa, 2006.
- [6] PN-EN 12464-1:2004 „Światło i oświetlenie. Oświetlenie miejsc pracy. Część 1: Miejsca pracy we wnętrzach”, 2004.
- [7] Błaszczak U.: „Metoda pomiaru olśnienia przykrego we wnętrzach” rozprawa doktorska, Białystok 2009.
- [8] „Technical Report: Discomfort Glare in Interior Lighting”, CIE 117, 1995.
- [9] „CIE Collection on Glare” CIE 146, 147:2002.
- [10] Błaszczak U.: „Application of pinhole digital camera in size and spatial arrangement of glare sources measurements in an exemplary didactic room”, Przegląd Elektrotechniczny, R.84, nr 8 (2008), s.122-124
- [11] Dybczyński W.: „Miernictwo promieniowania optycznego”, Wydawnictwa Politechniki Białostockiej, Białystok, 1996.