

Karolina MICAŁ¹
Lúbobmir BEŇA²
Henryk WACHTA³

WPLÝW METOD OŚWIETLANIA WNĘTRZ NA POZIOM RÓWNOMIERNOŚCI OŚWIETLENIA PŁASZCZYZNY PRACY WZROKOWEJ

W artykule przedstawiono wyniki badań symulacyjnych przeprowadzonych w programie DIALux evo dotyczących wpływu metod oświetlenia wnętrza na poziom równomierności oświetlenia zdefiniowanej płaszczyzny pracy wzrokowej. Zrealizowano koncepcje oświetlenia bezpośredniego, pośredniego i mieszanego zamodelowanego w programie komputerowym pomieszczenia. W ramach każdej metody przeanalizowano dwa warianty oświetlenia, rozmieszczając oprawy równomiernie i nierównomiernie względem konturu pomieszczenia. W tabelach wyników przedstawiono uzyskane wartości równomierności oświetlenia na zdefiniowanych we wnętrzu płaszczyznach pracy wzrokowej i porównano je z wartościami zalecanymi przez normę oświetleniową. W przypadku każdej metody oświetlenia przeanalizowano skalę wpływu na rozkład natężenia na płaszczyźnie krzywych rozsyłu zastosowanych opraw, rozmieszczenia opraw oświetleniowych względem zdefiniowanego pola zadania wzrokowego oraz przeszkód występujących w pomieszczeniu. W wyniku przeprowadzonych badań ustalono iż w przypadku niewielkich pomieszczeń i zdefiniowanych w nich małych powierzchni obliczeniowych wybór metody oświetlenia nie ma istotnego wpływu na poziom równomierności. Każda z metod umożliwia uzyskiwanie zalecanych przez normę oświetleniową wartości równomierności niezależnie od sposobu rozmieszczenia opraw względem obrysu wnętrza. W przypadku małych gabarytowo pomieszczeń składowa odbiciowa ma istotne znaczenie w kształtowaniu rozkładu natężenia na zdefiniowanej powierzchni. Znaczący wpływ na otrzymywane wartości równomierności ma wielkość płaszczyzny pracy wzrokowej oraz jej kształt.

Słowa kluczowe: badania symulacyjne, projektowanie oświetlenia, oprawy oświetleniowe, rozsył strumienia świetlnego

¹ Karolina Micał, Politechnika Rzeszowska, absolwentka studiów I stopnia WEiI PRz, karolinamical@onet.eu.

² Lúbobmir Beňa, Politechnika Rzeszowska, Katedra Energoelektroniki i Elektroenergetyki, ul. W. Pola 2, 35-959 Rzeszów, 17 865 1977, lbena@prz.edu.pl.

³ Autor do korespondencji: Henryk Wachta, Politechnika Rzeszowska, Katedra Energoelektroniki i Elektroenergetyki, ul. W. Pola 2, 35-959 Rzeszów, 17 865 1977, hwachta@prz.edu.pl.

1. Wprowadzenie

Jedną z potrzeb ludzkich, jaką powinno zaspokajać oświetlenie elektryczne jest komfort widzenia. Występuje on wówczas, gdy obserwator posiada umiejętność rozróżniania szczegółów, nie odczuwa znużenia, niewygody, przykrości, a spostrzeżenie łączy się z przyjemnością i jest sprawne. Zapewnienie wygody widzenia jest związane ze stworzeniem pożądanego oświetlenia. Drugim co do znaczenia parametrem w ocenie jakości oświetlenia przed średnim natężeniem oświetlenia E_{sr} jest równomierność oświetlenia (d) definiowana jako iloraz minimalnego natężenia oświetlenia E_{min} i średniego natężenia oświetlenia E_{sr} [2,3].

$$d = \frac{E_{\text{min}}}{E_{\text{sr}}} \quad (1)$$

gdzie: E_{min} – minimalne natężenie oświetlenia,
 E_{sr} – średnie natężenie oświetlenia.

W ocenie komfortu widzenia ważne jest aby płaszczyzna pracy była oświetlona równomiernie ponieważ ludzki narząd wzroku odbiera wrażenia świetlne powierzchniowo a nie punktowo. Zbyt duże zmiany rozkładu natężenia w polu zadania wzrokowego mogą wywoływać uczucie niewygody. W tabeli 1 przedstawiono przykładowe zalecane przez normę *PN-EN 12464-1:2012 Światło i oświetlenie. Oświetlenie miejsc pracy. Część 1: Miejsca pracy we wnętrzach*, wartości minimalnych równomierności oświetlenia w wybranych wnętrzach.

Tabela 1. Zalecane wartości równomierności w przykładowych pomieszczeniach [6]

Table 1. Recommended values of uniformity in the sample areas [6]

Rodzaj wnętrza	Zalecana równomierność oświetlenia [-]
korytarz, stołówka, łazienka	0,4
zadaszony peron, hala dworcowa, kasa biletowa	0,5
pokój opieki medycznej, recepcja, kuchnia	0,6
pracownia rysunku technicznego, warsztat elektroniczny	0,7

Rozkład natężenia oświetlenia na powierzchni obliczeniowej uzależniony jest głównie od sposobu padania światła na płaszczyznę. Charakter oświetlenia zależy od podziału strumienia świetlnego wysyłanego w półprzestrzeń górną i dolną przez zastosowane oprawy oświetleniowe. Oświetlenie bezpośrednie realizowane jest za pomocą opraw wysyłających przynajmniej 90 % strumienia świetlnego bezpośrednio na płaszczyznę dlatego w przypadku tej metody oświetlenia istotne znaczenie w kształtowaniu rozkładu natężenia na płaszczyźnie ma składowa bezpośrednia. Wartości współczynników odbicia powierzchni pomieszczenia oraz wyposażenia nie mają znaczącego wpływu na stan oświetlenia,

ponieważ udział strumienia odbitego w całkowitym strumieniu emitowanym przez oprawę oświetleniową jest nieznaczący.

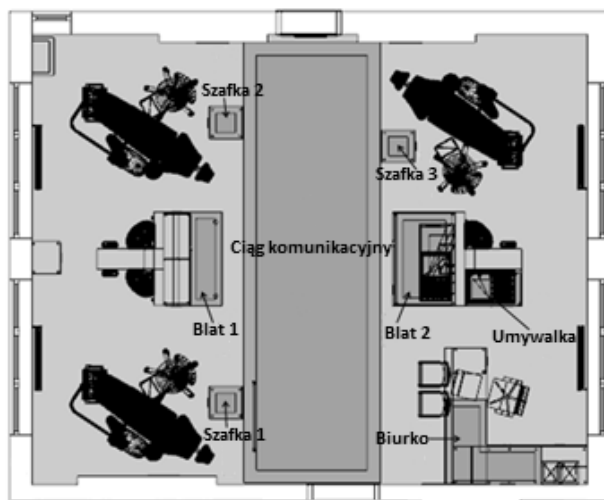
Oświetlenie pośrednie realizowane jest za pomocą opraw wysyłających przynajmniej 90 % strumienia świetlnego w półprzestrzeń górną. W przypadku tej metody oświetlenia istotny wpływ w kształtowaniu rozkładu natężenia na płaszczyźnie ma składowa pośrednia. Wytwarzane poziomy natężenia w znacznym stopniu zależą od współczynników odbicia powierzchni wnętrza (zwłaszcza sufitu) oraz elementów wyposażenia. Oświetlenie mieszane łączy cechy oświetlenia bezpośredniego i pośredniego [2].

W podjętej pracy zbadano skalę wpływu metod oświetlenia wnętrza na poziom równomierność oświetlenia płaszczyzny pracy wzrokowej [4,7].

2. Badania symulacyjne

2.1. Charakterystyka oświetlanego wnętrza

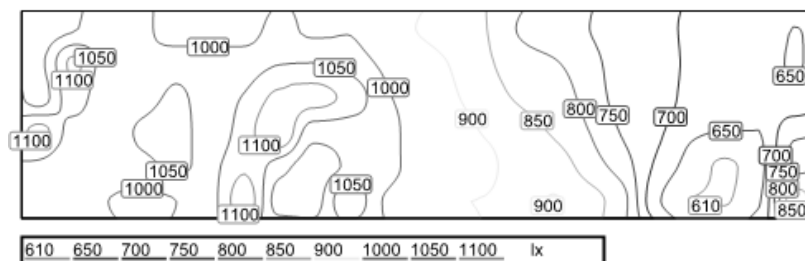
Badania przeprowadzono dla pomieszczenia o dużych wymaganiach oświetleniowych. Jest nim gabinet stomatologiczny. W opracowanym w programie DIALux evo wnętrzu wyodrębniono strefy o różnym przeznaczeniu, które powinny być oświetlone stosownie do wykonywanych w ich obszarze czynności. Dla każdego pola zdefiniowano płaszczyznę pracy wzrokowej, czyli miejsce wykonywania zadania wzrokowego. Wyznaczono osiem powierzchni obliczeniowych, które różnią się kształtem, wielkością oraz lokalizacją względem poziomu podłoża (rys. 1).



Rys. 1. Rzut poziomy pomieszczenia ze zdefiniowanymi płaszczyznami pracy wzrokowej [8]

Fig. 1. The plan of the room with the defined visual plane [8]

W programie komputerowym istnieje możliwość wizualizowania rozkładu natężenia na każdej zdefiniowanej płaszczyźnie. Na rysunku 2 przedstawiono przykładowy wykres izolinii jednej z analizowanych płaszczyzn pracy wzrokowej, czyli krzywych łączących punkty o tej samej wartości natężenia oświetlenia.



Rys. 2. Przykładowy wykres izolinii na płaszczyźnie roboczej [8]


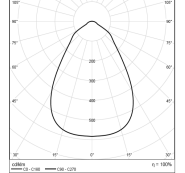
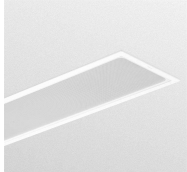
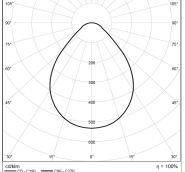
Fig. 2. Example of isoline graph on the calculating area [8]

2.2. Zastosowanie oświetlenia bezpośredniego

Zrealizowano dwa warianty oświetlenia bezpośredniego wykorzystując oprawy oświetleniowe, kierujące strumień świetlny w półprzestrzeń dolną, o krzywych rozsyłu światłości przedstawionych w tabeli 2. W pierwszej koncepcji oświetlenia rozmieszczono równomiernie względem obrysu wnętrza trzyczęści oprawy typu A1. Wykonując drugi wariant oświetlenia wykorzystano siedem opraw typu A1 oraz dziewięć opraw typu A2.

Tabela 2. Dane opraw oświetleniowych wykorzystanych przy realizacji wariantów oświetlenia bezpośredniego gabinetu stomatologicznego [9,10,11]

Table 2. The luminaires used for the implementation of direct lighting options in a dental surgery [9,10,11]

Typ	Nazwa	Moc oprawy	Zdjęcie oprawy	Krzywa światłości oprawy
A1	BBS494 1xLED-4000 C +ZBS490 SG-HR-FR	28 W		
A2	RC480B W30L120 PCV 1xLED42S/840 AC-MLO	45 W		

Po wykonaniu obliczeń programowych dla każdej zdefiniowanej płaszczyzny pracy wzrokowej uzyskano wartość średniego natężenia i równomierności oświetlenia. Otrzymane wyniki przedstawiono w tabeli 3. Niezależenie od sposobu rozmieszczenia opraw oświetleniowych względem konturu wnętrza na wyznaczonych powierzchniach obliczeniowych uzyskano zalecane przez normę oświetleniową [6] wartości średniego natężenia i równomierności oświetlenia.

Tabela 3. Wartości średniego natężenia i równomierności oświetlenia uzyskane na płaszczyznach pracy zdefiniowanych w gabinecie stomatologicznym przy zastosowaniu oświetlenia bezpośredniego [5]

Table 3. Mean value of intensity and uniformity ratio of illuminance levels of work defined in the dental surgery with the use of direct lighting [5]

Nazwa płaszczyzny	Wartości zalecane przez normę		Równomierne rozmieszczenie opraw jednego typu		Nierównomierne rozmieszczenie opraw różnego typu	
	E_{sr} [lx]	d [-]	E_{sr} [lx]	d [-]	E_{sr} [lx]	d [-]
Umywalka	500	0,6	789	0,900	501	0,924
Błat 1	500	0,6	1235	0,971	872	0,878
Błat 2	500	0,6	585	0,750	549	0,734
Szafka 1	1000	0,7	1118	0,897	1129	0,969
Szafka 2	1000	0,7	1318	0,992	1146	0,981
Szafka 3	1000	0,7	1265	0,991	1057	0,972
Ciąg komunikacyjny	500	0,4	1208	0,753	823	0,530
Biurko	500	0,6	961	0,777	501	0,810

Przy realizacji pierwszej koncepcji oświetlenia na każdej płaszczyźnie otrzymano wartość równomierności oświetlenia większą od 0,7. Jest to wynikiem zastosowania dużej ilości opraw oświetleniowych o średniej skali rozproszenia światłości, umieszczonych w małych odstępach od siebie. Prowadzi to do uzyskania małych różnic między minimalnym a średnim natężeniem oświetlenia na powierzchniach obliczeniowych.

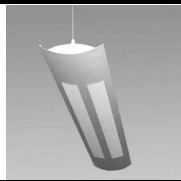
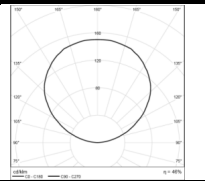

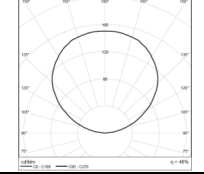
W przypadku drugiego wariantu oświetlenia także zastosowano oprawy oświetleniowe o średnim rozproszeniu światłości. Odpowiednie ich rozmieszczenie względem płaszczyzn pracy wzrokowej pozwoliło uzyskać wymagane wartości równomierności. Na ciągu komunikacyjnym osiągnięto jednak równomierność oświetlenia mniejszą niż na innych powierzchniach obliczeniowych. Jest to przypuszczalnie spowodowane występowaniem przeszkody (element wyposażenia wnętrza) w pobliżu płaszczyzny pracy wzrokowej, która pochłania dużą część promieniowania emitowanego przez jedną z zastosowanych opraw oświetleniowych. Można przyjąć, że im większe wymiary powierzchni obliczeniowej tym trudniej jest uzyskać na niej równomierny rozkład natężenia oświetlenia.

2.3. Zastosowanie oświetlenia pośredniego

Realizując koncepcje oświetlenia pośredniego zastosowano oprawy oświetleniowe emitujące promieniowanie świetlne w półprzestrzeń górną. Ich rozsył strumienia świetlnego w przestrzeni opisują krzywe światłości przedstawione w tabeli 4. W ramach pierwszego wariantu oświetlenia rozmieszczono równomiernie względem konturu pomieszczenia szesnaście opraw typu B1. Realizując drugą koncepcję zastosowano dziewięć opraw typu B1 i pięć opraw typu B2.

Tabela 4. Dane opraw wykorzystanych przy realizacji wariantów oświetlenia pośredniego gabinetu stomatologicznego [9,10,11]

Table 4. The luminaires used for the implementation of indirect lighting options in a dental surgery [9,10,11]

Typ	Nazwa	Moc oprawy	Zdjęcie oprawy	Krzywa światłości oprawy
B1	6595001 BERSO 254 1xT16 54/840, 1xT16 54/840	114 W		
B2	96 209 408 LINE XS CIRC 4X42W TCT HFI WH PF/BL L840 [STD]	188 W		

Obliczone w programie wartości średniego natężenia i równomierności dla każdej płaszczyzny pracy wzrokowej uzyskane przy realizacji dwóch wariantów oświetlenia przedstawiono w tabeli 5.

Na wszystkich płaszczyznach pracy wzrokowej otrzymano zalecane przez normę oświetleniową [6] wartości średniego natężenia oświetlenia. Zastosowanie pośredniej metody oświetlania pozwoliło uzyskać na zdefiniowanych powierzchniach obliczeniowych wymagane równomierności oświetlenia przy realizacji obu wariantów oświetlenia. Można wyprowadzić wniosek, iż w analizowanym środowisku oświetleniowym sposób rozmieszczenia opraw nie miał istotnego wpływu na poziom równomierności oświetlenia. Zdefiniowanie małych powierzchni, zastosowanie opraw o szerokim rozproszeniu światłości oraz pokrycie porowatego sufitu materiałem o dużym współczynniku odbicia (86%) wpływa na uzyskane wartości równomierności oświetlenia.

Tabela 5. Wartości średniego natężenia i równomierności oświetlenia uzyskane na płaszczyznach pracy zdefiniowanych w gabinecie stomatologicznym przy zastosowaniu oświetlenia pośredniego [5]

Table 5. Mean value of intensity and uniformity ratio of illuminance levels of work defined in the dental surgery with the use of indirect lighting [5]

Nazwa płaszczyzny	Wartości zalecane przez normę		Równomierne rozmieszczenie opraw jednego typu		Nierównomierne rozmieszczenie opraw różnego typu	
	E_{sr} [lx]	d [-]	E_{sr} [lx]	d [-]	E_{sr} [lx]	d [-]
Umywalka	500	0,6	884	0,890	502	0,932
Blat 1	500	0,6	1149	0,922	893	0,918
Blat 2	500	0,6	706	0,813	526	0,808
Szafka 1	1000	0,7	1132	0,973	1012	0,978
Szafka 2	1000	0,7	1357	0,999	1201	0,990
Szafka 3	1000	0,7	1306	0,999	1186	0,982
Ciąg komunikacyjny	500	0,4	1206	0,802	894	0,677
Biurko	500	0,6	1090	0,850	564	0,789

Można przypuszczać, iż w przypadku oświetlenia pośredniego przeszkody występujące w pomieszczeniu nie mają znaczącego wpływu na rozkład natężenia na płaszczyźnie pracy wzrokowej.

2.4. Zastosowanie oświetlenia mieszanego

Do realizacji koncepcji oświetlenia mieszanego wykorzystano oprawy oświetleniowe kierujące strumień świetlny w półprzestrzeń dolną i górną o krzywych rozsyłu światłości przedstawionych w tabeli 6. W pierwszym wariantcie oświetlenia rozmieszczono równomiernie względem obrysu wnętrza osiemnaście opraw typu C1. Wykonując drugą koncepcję oświetlenia wykorzystano trzynaście opraw typu C1 oraz jedną oprawę typu C2.

Na podstawie przeprowadzonych w programie obliczeń wyznaczono dla zdefiniowanych płaszczyzn pracy wzrokowej wartości średniego natężenia i równomierności oświetlenia (tab. 7). Dla każdej powierzchni obliczeniowej uzyskano zalecane przez normę oświetleniową [6] wartości średniego natężenia i równomierności oświetlenia. Można zauważyć, że przy zastosowaniu opraw o odpowiednio szerokim rozproszeniu światłości można osiągać zalecane wartości równomierności na płaszczyznach pracy zarówno przy równomiernym jak i nierównomiernym ich rozmieszczeniu względem konturu pomieszczenia.

Największą równomierność oświetlenia (w przybliżeniu równą 1), podobnie jak w przypadku bezpośredniej i pośredniej metody oświetlenia, uzyskano na powierzchniach obliczeniowych o nazwie Szafka. Wynika to z bardzo małych wymiarów tych płaszczyzn.

Tabela 6. Dane opraw wykorzystanych przy realizacji wariantów oświetlenia mieszanego gabinetu stomatologicznego [9,10,11]

Table 6. The luminaires used for the implementation of mixed lighting options in a dental surgery [9,10,11]


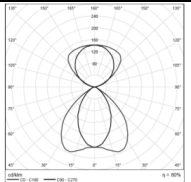

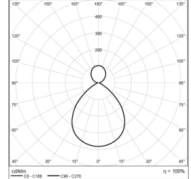
Typ	Nazwa	Moc oprawy	Zdjęcie oprawy	Krzywa światłości oprawy
C1	96 547 739 LINE XS TECH 2X28W LG3 WHI PF/BLU L840 [STD]	61,2 W		
C2	SP522P 2xLED20S/840	38 W		

Tabela 7. Wartości średniego natężenia i równomierności oświetlenia uzyskane na płaszczyznach pracy zdefiniowanych w gabinecie stomatologicznym przy zastosowaniu oświetlenia mieszanego [5]

Table 7. Mean value of intensity and uniformity ratio of illuminance levels of work defined in the dental surgery with the use of mixed lighting [5]

Nazwa płaszczyzny	Wartości zalecane przez normę		Równomierne rozmieszczenie opraw jednego typu		Nierównomierne rozmieszczenie opraw różnego typu	
	E_{gr} [lx]	d [-]	E_{gr} [lx]	d [-]	E_{gr} [lx]	d [-]
Umywalka	500	0,6	624	0,960	539	0,833
Blat 1	500	0,6	819	0,968	767	0,809
Blat 2	500	0,6	511	0,785	518	0,637
Szafka 1	1000	0,7	906	0,940	1057	0,957
Szafka 2	1000	0,7	1223	0,991	1095	0,970
Szafka 3	1000	0,7	1088	0,972	1036	0,961
Ciąg komunikacyjny	500	0,4	975	0,855	735	0,528
Biurko	500	0,6	856	0,701	598	0,667

Przy realizacji koncepcji oświetlenia za pomocą opraw rozmieszczonych nierównomiernie względem konturu wnętrza najmniejszą równomierność oświetlenia osiągnięto na płaszczyznach Blat 1 i Ciąg komunikacyjny. Jest to najprawdopodobniej spowodowane występowaniem przeszkód (elementów wyposażenia wnętrza) w pobliżu tych powierzchni obliczeniowych.

3. Podsumowanie

W niniejszym artykule przeanalizowano wpływ metod oświetlenia wewnątrz na poziom równomierności oświetlenia płaszczyzny pracy wzrokowej. Z przeprowadzonych badań wynika, że w analizowanym środowisku wybór metody oświetlenia nie ma istotnego wpływu na poziom równomierności oświetlenia. Każda z metod oświetlenia pozwala na uzyskiwanie zalecanych wartości równomierności na zdefiniowanych płaszczyznach, niezależnie od sposobu rozmieszczenia opraw względem obrysu pomieszczenia. Trudniej jest uzyskać równomierny rozkład natężenia oświetlenia na płaszczyznach o dużych wymiarach oraz na powierzchniach o nieregularny kształcie.

W przypadku metody bezpośredniej (rys. 3) równomierność oświetlenia na płaszczyźnie pracy w istotny sposób zależy od bryły fotometrycznej zastosowanych opraw. Im wyższy poziom rozproszenia rozsyłu światłości tym łatwiej uzyskać wymaganą równomierność. Przy odpowiednim doborze opraw można osiągać wymagane równomierności na płaszczyznach pracy zarówno przy równomiernym jak i nierównomiernym ich rozmieszczeniu na suficie. Duży wpływ na kształtowanie rozkładu natężenia na płaszczyźnie pracy wzrokowej mają przeszkody występujące w pomieszczeniach.



Rys. 3. Wizualizacja oświetlenia bezpośredniego gabinetu stomatologicznego [1]

Fig. 3. Direct lighting visualization of dental surgery [1]

Zastosowanie opraw świecących w górną półprzestrzeń (rys. 4) również umożliwia uzyskiwanie wymaganych równomierności oświetlenia na płaszczy-

znach pracy wzrokowej. Sposób rozmieszczenia opraw nie wpływa w istotny sposób na wartości równomierności. Stosując oświetlenie pośrednie przeszkody występujące w pomieszczeniach nie mają dużego wpływu na osiągnięte równomierności.



Rys. 4. Wizualizacja oświetlenia pośredniego gabinetu stomatologicznego [1]

Fig. 4. Indirect lighting visualization of dental surgery [1]



Rys. 5. Wizualizacja oświetlenia mieszanego gabinetu stomatologicznego [1]

Fig. 5. Mixed lighting visualization of dental surgery [1]

W metodzie pośredniej światło pada na płaszczyznę po odbiciu od ścian i sufitu, dlatego znaczący wpływ na równomierność ma ich współczynnik odbicia oraz chropowatość materiału. Pewne znaczenie w formowaniu wiązki odbitej może mieć forma geometryczna zarówno ścian jak i sufitu (np. dekoracyjne fragmenty sufitów podwieszanych).

W przypadku metody mieszanej (rys.5), łączącej cechy metody pośredniej i bezpośredniej, występuje kumulacja wszystkich cech tych dwóch metod. Odpowiednio do warunków szczegółowych możliwe są wzmocnienia cech warunków świetlnych bądź metody pośredniej bądź bezpośredniej.

Literatura

- [1] Autorskie wizualizacje oświetlonego wnętrza opracowane w programie DIALux evo
- [2] Bąk J., Pabjańczyk W.: Podstawy techniki świetlnej, Wydawnictwo Politechniki Łódzkiej, Łódź 1994
- [3] Bąk J.: Technika oświetlenia, Państwowe Wydawnictwo Naukowe, Warszawa 1981
- [4] Dybczyński W., Oleszyński T., Skonieczna M.: Projektowanie opraw oświetleniowych, Wydawnictwo Politechniki Białostockiej, Białystok 1996
- [5] Micał K.: Wpływ metod oświetlenia wnętrz na poziom równomierności oświetlenia płaszczyzny pracy wzrokowej, praca dyplomowa, Politechnika Rzeszowska, Rzeszów 2015
- [6] PN-EN 12464-1, Światło i oświetlenie. Oświetlenie miejsc pracy. Część 1: Miejsca pracy we wnętrzach. Polski Komitet Normalizacyjny, grudzień 2012
- [7] Pracki P.: Projektowanie oświetlenia wnętrz, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2011
- [8] www.dial.de (program DIALux evo 3.3)
- [9] www.essystem.pl (aktualizacja 12 luty 2015)
- [10] www.philips.pl (aktualizacja 12 luty 2015)
- [11] www.thornlighting.pl (aktualizacja 12 luty 2015)

THE INFLUENCE OF THE INTERIOR LIGHTING METHODS ON THE UNIFORMITY RATIO OF ILLUMINANCE ON THE WORK PLANE

Summary

The article presents the results of simulation studies carried out in DIALux evo software related to the effects of interior lighting methods on the level of uniformity ratio of illuminance on the defined work plane. Concepts of direct, indirect and mixed lighting of a room designed in a computer program were realized. Within each method two variants of lighting were analyzed, arranging them evenly and unequally with respect to the contour of the room. The tables show the results obtained for the uniformity ratio of illuminance values defined in the interior surfaces of work plane and compared with the values recommended by the standards of lighting. For each method of lighting the scale of the impact of the intensity distribution at the level of distribution curves of used fixtures, luminaire location of a defined work plane and barriers located in the room were analyzed. As a result of the study it has been

determined that in case of small room and defined in them small calculation fields the choice of the lighting method has no significant effect on the level of uniformity ratio. Each of these methods makes it possible to obtain the lighting standard recommended value, regardless of the luminaires location relative to the outline of the room. In the case of small dimensions of the room reflection component is important in shaping the intensity distribution of a defined area. A significant impact on the value of uniformity ratio also has the size of the work plane and its shape.

Keywords: simulation studies, lighting design, luminarie, light distribution

DOI: 10.7862/re.2015.5

Tekst złożono w redakcji: luty 2015

Przyjęto do druku: marzec 2015