

**AGNIESZKA WOLSKA<sup>1</sup>, DARIUSZ SAWICKI<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Centralny Instytut Ochrony Pracy - Państwowy Instytut Badawczy, Warszawa, ul. Czerniakowska 16

<sup>2</sup>Politechnika Warszawska, Instytut Elektrotechniki Teoretycznej i Systemów Informacyjno-Pomiarowych, Warszawa, ul. Koszykowa 75

e-mail: [agwol@ciop.pl](mailto:agwol@ciop.pl); [dasa@iem.pw.edu.pl](mailto:dasa@iem.pw.edu.pl)

**BLASKI I CIENIE ŚWIATŁA NIEBIESKIEGO**

*W widmie promieniowania widzialnego pasmo światła niebieskiego zawiera się w przedziale od ok. 440 nm do ok. 490 nm. Od ok. 2000 r. zaczęły pojawiać się doniesienia naukowe wykazujące na istotne znaczenie światła niebieskiego dla uprawy roślin, dla zdrowia człowieka i jego chronobiologii. Wykazano, że światło niebieskie może wpływać zarówno pozytywnie na stan zdrowia człowieka (leczenie zaburzeń snu i cyklu okołodobowego, poprawa sprawności psychofizycznej i czujności) jak i negatywnie (potencjalne uszkodzenie fotochemiczne siatkówki oka, rozwój nowotworów hormonozależnych). Artykuł przedstawia wybrane aspekty sposobu oddziaływania światła niebieskiego na organizm człowieka oraz skutków ekspozycji na to światło. Skutków zarówno pozytywnych jak i negatywnych.*

**Słowa kluczowe:** światło niebieskie, melatonina, oddziaływanie, człowiek

**I. WSTĘP**

Światło niebieskie zajmuje niewielki zakres ok. 50 nm w paśmie promieniowania widzialnego i rozciąga się od ok. 440 nm do ok. 490 nm. Pomimo, że zakres ten jest stosunkowo niewielki w paśmie promieniowania widzialnego, to jest on szczególnie istotny dla procesów fotobiologicznych zachodzących w organizmie człowieka, zwłaszcza w odniesieniu do oddziaływania tego światła za pośrednictwem oczu.

W oku człowieka występują dwa funkcjonalnie odmienne szlaki odbioru światła. Dawno odkryty szlak oparty na fotodetekcji receptorów: czopków i pręcików, który służy do tworzenia obrazów. Jest to fotodetekcja wzrokowa, która umożliwia człowiekowi widzenie otaczającego świata. Niedawno odkryty drugi szlak odbioru światła rejestruje zachodzące w czasie zmiany poziomu światła docierającego do siatkówki i uczestniczy w tzw. pozawzrokowych odpowiedziach organizmu na światło. W szlaku tym uczestniczą nowo odkryte receptory światła - światłoczułe komórki zwojowe ipRGC (ang. *Intrinsically Photosensitive Retinal Ganglion Cell*), które zawierają melanopsynę (białko z grupy opsyn wrażliwe na światło). U człowieka komórki zwojowe zawierające melanopsynę stanowią 0,2 – 0,8% całkowitej populacji [Zawilska i Czarnecka 2006], ale dzięki szerokiemu drzewu dendrytycznemu tworzą gęstą sieć obejmującą cały obszar siatkówki. Drzewo dendrytyczne pojedynczej ipRGC

pokrywa obszar ok. 500  $\mu\text{m}^2$ , podczas gdy czopka lub pręcika ok. 1  $\mu\text{m}^2$  [Zawilska i Czarnecka 2006]. Dwa różne szlaki odbioru światła powodują, że wpływ światła na organizm człowieka poprzez narząd wzroku staje się nie tylko zagadnieniem ciekawym poznawczo, ale także wskazuje na możliwość powstawania różnych konsekwencji tego oddziaływania.

Celem artykułu jest przedstawienie wybranych aspektów oddziaływania światła niebieskiego na organizm człowieka oraz pokazanie mechanizmów tego oddziaływania i konsekwencji ekspozycji na to światło. Zwrócono także uwagę na współczesne źródła światła które mogą emitować znaczące ilości światła niebieskiego.

## II. ROLA MELANOPSYNY - CHRONOBIOLOGICZNEGO RECEPTORA ŚWIATŁA

Światło docierające do jakiegokolwiek części siatkówki powoduje, że komórki zwojowe zawierające melanopsynę wysyłają sygnały poprzez wypustki aksonu do ośrodków kontrolujących [Zawilska i Czarnecka 2006]:

- rytmy okołodobowe tj. jąder nadskrzyżowaniowych przedniej części podwzgórza (ang *superchiasmatic nuclei* – SCN),
- proces zwężania źrenicy tj. przedpokrywowego jądra oliwki.

Chronobiologiczny sygnał z SCN jest przesyłany szlakiem wieloneuronalnym do szyszynki, która zawiaduje wydzielaniem melatoniny do krwioobiegu. Im więcej światła dociera do komórek ipRGC tym silniejsze jest hamowanie wydzielania melatoniny przez szyszynkę. Natomiast brak światła powoduje zanik sygnału z SCN, a dla szyszynki jest informacją o porze nocnej i wtedy zaczyna się proces wydzielania melatoniny do krwioobiegu. W ten sposób melatonina informuje organizm o przeżywaniu procesów przypadających na porę nocną, jak np. sen czy obniżenie temperatury głębokiej ciała i spowolnienie rytmu serca [Wolska i Zużewicz 2015]. Podsumowując można stwierdzić, że komórki zwojowe zawierające melanopsynę odgrywają kluczową rolę w regulacji tzw. niewzrokowej odpowiedzi na światło jak hamowanie syntezy melatoniny, regulowanie okołodobowego rytmu aktywności ruchowej i zwężania źrenicy. W odróżnieniu od pręcików i czopków odpowiedź światłoczułych komórek zwojowych jest wolna tzn. pod wpływem ekspozycji na światło dochodzi w nich do opóźnionej, ale jednocześnie długo utrzymującej się depolaryzacji błony komórkowej i np. obniżenie poziomu melatoniny występuje dopiero po ok. 15-20 minutach.

Odkrycie nowych receptorów światła zapoczątkowało szereg badań poświęconych oświetleniu skutecznemu biologicznie [Brainard i in. 2001, Figueiro i in. 2015, Lucas i in. 2014, Sahin i Figueiro 2013, Thapan i in. 2001, Viola i in. 2008, West i in. 2011]. W ciągu ostatniej dekady dowiedziono, że światło o długościach fal z zakresu 425 nm – 560 nm jest efektywne w wywoływaniu pozawzrokowej odpowiedzi organizmu człowieka tj. w hamowaniu wydzielania melatoniny, przy czym maksimum skuteczności występuje dla światła niebieskiego w zakresie długości fal od 460 do 480 nm, w zależności od uzyskanych wyników badań i ich interpolacji [Brainard i in. 2001, Thapan i in. 2001, Aube i in. 2013]. Wyniki badań fizjologicznych wpływu poszczególnych długości fal na proces hamowania wydzielania melatoniny [Brainard i in. 2001, Thapan i in. 2001] są podstawą do wyznaczania krzywych skuteczności hamowania wydzielania melatoniny [Wolska i Zużewicz 2015]. Jednak dotychczas brak jest znormalizowanej krzywej skuteczności hamowania wydzielania melatoniny, wg której jednoznacznie oceniana byłaby ta skuteczność. Z drugiej strony coraz więcej pojawia się publikacji, które opisują wyniki parametrów wyznaczanych w oparciu o krzywą skuteczności hamowania wydzielania

melatoniny, bez podania źródła, które jednoznacznie wskazywałoby jaka krzywa została przyjęta [Piazena i in. 2010]. Takie postępowanie może prowadzić do błędnych ocen i wniosków [Wolska i in. 2016]. Analiza wyników badań różnych rozkładów widmowych sztucznych źródeł światła wykazała istotny wpływ zastosowanej krzywej skuteczności oraz rozkładu widmowego źródła na wyznaczaną wartość natężenia napromienienia skutecznego w hamowaniu wydzielania melatoniny. Przykładowo w zależności od przyjętej krzywej skuteczności natężenia napromienienia skutecznego w hamowaniu wydzielania melatoniny zmierzone w płaszczyźnie pionowej na wysokości oczu w pozycji siedzącej od:

- źródła LED białych (42x2 W,  $T_c=4000$  K) wynosiło od  $0,35 \text{ W/m}^2$  do  $0,53 \text{ W/m}^2$ ,
- źródła LED niebieskich ( $\lambda_{\text{max}} = 450 \text{ nm}$ , 42x2 W) od  $1,76 \text{ W/m}^2$  do  $2,48 \text{ W/m}^2$ ,
- typowego oświetlenia biurowego ze świetlówkami o barwie białej neutralnej  $T_c=4000$  K wynosiło od  $0,19 \text{ W/m}^2$  do  $0,31 \text{ W/m}^2$  [Wolska i in. 2016].

Oznacza to, że jednym z podstawowych czynników decydujących o ocenie skuteczności oświetlenia w podniesieniu czujności jest przyjęcie odpowiednich założeń w metodzie obliczeniowej. Brak znormalizowanej krzywej skuteczności może nie tylko utrudniać określanie skutecznych wartości dawek oświetlenia o określonym rozkładzie widmowym dla potrzeb projektowania oświetlenia skutecznego biologicznie ale także podważać wiarygodność metody wyznaczania tych dawek [Wolska i in. 2016].

### III. POZYTYWNE SKUTKI ODDZIAŁYWANIA

Światło sztuczne o odpowiednio dobranych parametrach może pomóc w szybszym uzyskaniu wyższego poziomu sprawności psychofizycznej w pracy, zarówno w ciągu dnia jak i w nocy [Lavoie i in. 2003, Lockley i in. 2006, Rahman i in. 2014, Sahin i Figueiro 2013, Viola i in. 2008]. Jednak nie ma standardu metodyki badań w zakresie stosowanej aparatury i mierzonych parametrów.

Zastosowanie światła niebieskiego lub białego z dużym udziałem światła niebieskiego do celów terapeutycznych (regulacja chronobiologicznych zaburzeń snu, zaburzeń cyklu okołodobowego, terapia depresji sezonowej) [Paul i in. 2007] jest istotne ze względu na zdrowie człowieka i jego bezpieczeństwo. Podniesienie czujności poprzez ekspozycję na światło o dużej składowej niebieskiej jest ważne szczególnie na stanowiskach pracy zmianowej oraz na stanowiskach, gdzie istotne jest utrzymywanie wysokiej sprawności psychomotorycznej, gdyż sprzyja to ograniczeniu potencjalnych wypadków przy pracy, spowodowanych spadkiem sprawności psychomotorycznej oraz pomaga zwiększyć wydajność pracy. Zmienność dobową zdolności do pracy fizycznej i umysłowej opisuje fizjologiczna krzywa Lehmann'a [Lehmann 1996], która powstała na długo przed tym, zanim odkryty został nowy receptor, ale odzwierciedla cykl okołodobowy czujności człowieka. Zgodnie z nią poziom czujności człowieka ulega nieznacznemu obniżeniu w okresie wczesno-popołudniowym (godz. 13-15) oraz znacznemu obniżeniu w okresie nocnym (24-5 rano). U ludzi pracujących na zmianie nocnej zwiększonemu poziomowi melatoniny towarzyszy wyższy poziom senności, gorsza koordynacja wzrokowo-ruchowa oraz wydłużony czas reakcji. Problem obniżonego poziomu czujności w ciągu dnia dotyczy głównie osób starszych, źle śpiących nocą, odczuwających potrzebę drzemki w ciągu dnia. Również ograniczony dostęp do światła, jak np. w pomieszczeniach hal magazynowych czy hal sprzedaży, sprzyja senności dziennej na skutek dodatkowego wydzielania melatoniny. W efekcie wzrasta ryzyko popełnienia błędu i wypadku. Istotnym jest zatem wykorzystanie znanych mechanizmów regulacji procesów fizjologicznych poprzez światło tak, aby w odpowiedni sposób oddziaływać na sprawność psychofizyczną człowieka bez stosowania środków farmakologicznych. Jednym ze sposobów hamowania wydzielania melatoniny jest ekspozycja na światło o różnej barwie i intensywności, a zwłaszcza

na światło niebieskie. Wiele badań wykazało wpływ światła niebieskiego na poziom czujności, senność i termoregulację [Lockley i in. 2006], jak również i jaskrawego światła białego [Lavoie i in. 2003]. W warunkach ekspozycji na światło niebieskie badacze wykazali m.in. wyższe wskaźniki pobudzenia fizjologicznego, niższy poziom senności, krótsze czasy reakcji i spadek liczby błędów [Lockley i in. 2006] oraz wzrost aktywności struktur mózgowych zaangażowanych w analizę bodźców w porównaniu z warunkami odniesieniowymi. Wykazano, że ilość światła niezbędna do tłumienia produkcji melatoniny zależy od charakterystyki widmowej promieniowania oraz od wieku człowieka [Piazena i in. 2010]. Istotne jest, że ze względu na zmiany fizjologiczne zachodzące w oku wraz z wiekiem, osoby starsze wymagają znacznie większej ilości światła, nie tylko do zapewnienia właściwego widzenia, ale także prawidłowego przebiegu procesów fotobiologicznych. Wraz z wiekiem wzrasta ilość niezbędnego światła do tłumienia produkcji melatoniny, a w wieku około 50 lat potrzeba około dwukrotnej ilości światła padającego na rogówkę do zainicjowania procesu hamowania wydzielania melatoniny [Piazena i in. 2010].

Jednym z najszerzej badanych obszarów, gdzie wykorzystano właściwości ekspozycji na światło niebieskie, jest praca zmianowa. Nadal prowadzi się badania, których celem jest osiągnięcia dopasowania procesów fizjologicznych pracowników do warunków pracy i podniesienia poziomu czujności w różnych warunkach zadaniowych i dobowych okresach aktywności. Informacje dotyczące pozawzrokowych właściwości światła stosuje się także w rozwiązywaniu problemu dziennej senności, zespołu długu czasowego (ang. jet lag), polepszenia aktywności osób starszych. Przy ogromnym rozwoju technik oświetleniowych wiedza o wpływie światła na funkcjonowanie człowieka zaczyna nabierać jeszcze większego znaczenia.

W ostatnich latach monochromatyczne światło niebieskie i czerwone jest z powodzeniem stosowane również w uprawie roślin w ogrodnictwie. Doświetlanie roślin światłem niebieskim powoduje wzrost efektywności upraw wymagających naświetlania lub doświetlania, np. przy uprawie truskawek [Treder, i in. 2014].

#### **IV. NEGATYWNE SKUTKI ODDZIAŁYWANIA**

Z drugiej strony coraz więcej pojawia się doniesień mówiących o „ciemnej” stronie oddziaływania światła niebieskiego na organizm człowieka. Dotyczy to szkodliwych skutków dla zdrowia wynikających z zaburzeń cyklu okołodobowego jak i ekspozycji siatkówki oka na światło niebieskie. Stosowanie światła niebieskiego np. dla podniesienia poziomu czujności zwłaszcza podczas pracy na zmianie nocnej wiąże się również z pewnymi potencjalnymi negatywnymi skutkami jego oddziaływania na organizm człowieka. Właściwa dawka tego promieniowania ma tu istotne znaczenie dla zdrowia człowieka. Nadmierne hamowanie wydzielania melatoniny może wiązać się ze zbyt dużą wymuszoną ingerencją w układ hormonalny człowieka. Podniesienie czujności poprzez zmniejszenie zawartości melatoniny we krwi na skutek ekspozycji na światło niebieskie np. w porze nocnej zmiana stosowane w sposób cykliczny może przyczyniać się do rozwoju nowotworów hormonozależnych. Wynika to z faktu, że melatonina neutralizuje wolne rodniki i chroni DNA przed uszkodzeniami mogącymi skutkować nowotworem [Cippola-Neto i in. 2014]. Poza tym, ma zdolność do hamowania namnażania się komórek nowotworowych, przyspieszania apoptozy komórek rakowych, zapobiega również przerzutom oraz bierze udział w różnicowaniu komórek rakowych (przekształcaniu w inne, mniej zdolne do podziałów) [Srinivasan i in. 2005]. Wobec powyższego można stwierdzić, że melatonina jest pomocna w profilaktyce i leczeniu nowotworów hormonozależnych (raka piersi zależnego od estrogenu i raka prostaty zależnego od testosteronu) [Karasek

2007]. Istnieją doniesienia mówiące o zwiększonym ryzyku raka piersi wśród kobiet pracujących nocą w systemie zmianowym [Richter i in. 2011, Blask i in. 2009].

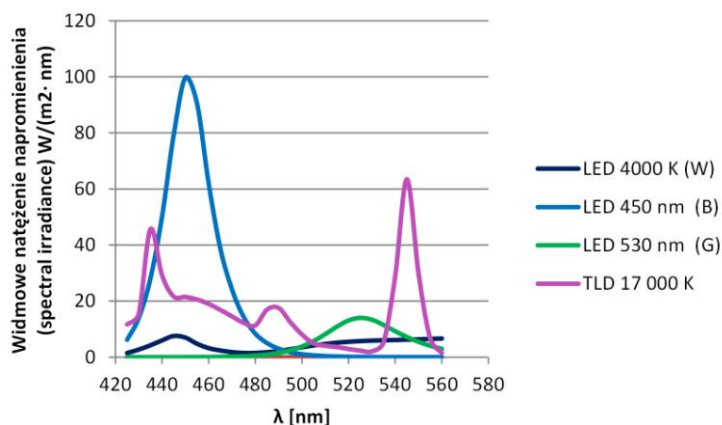
Od około 10 lat istnieją poparte wieloma badaniami znormalizowane wartości graniczne ekspozycji na światło niebieskie [Rozporządzenie MPiPS 2014] wskazujące bezpieczny dla siatkówki oka poziom padającego na nią promieniowania tak, aby nie doszło do jej uszkodzenie fotochemicznego. Opracowane zostały również znormalizowane metody pomiaru odpowiednich parametrów do oceny tego zagrożenia [PN-EN 14255-2:2010], a także do oceny źródeł światła ze względu na zagrożenie fotobiologiczne jakie one mogą powodować [PN-EN 62471:2010]. Badania oceny zagrożenia światłem niebieskim wykonuje się na stanowiskach pracy, gdzie występują silne źródła tego promieniowania. Jednocześnie w sytuacji, gdy występuje potencjalne zagrożenie dla zdrowia człowieka tym światłem, stosuje się odpowiednie środki ograniczające ryzyko do małego. Należy jednak mieć na uwadze fakt, że takie zagrożenie oceniane jest wtedy gdy źródła te występują bezpośrednio w polu widzenia człowieka, czyli na siatkówce oka powstaje obraz tego źródła. Jeśli źródło znajduje się np. nad głową, lub z tyłu za człowiekiem, to wówczas do oczu może docierać tylko promieniowanie odbite od otoczenia, którego nie bierze się pod uwagę przy tej ocenie zagrożenia. Jednak odbite promieniowanie niebieskie dociera do siatkówki i może powodować w niej reakcje fotochemiczne, które po wielu latach mogą skutkować np. degeneracją plamki żółtej i przyspieszeniem rozwoju AMD (ang. *Age related macular degeneration*). Skutek ten ostatnio przypisuje się światłu niebieskiemu, choć nie ma określonych wartości granicznych chronicznej ekspozycji siatkówki na światło niebieskie ze względu na ten skutek szkodliwy dla zdrowia. Dodatkowo, mimo toczącej się dyskusji, nie udowodniono związku między ekspozycją na światło słoneczne a rozwojem AMD [Behar-Cohen i in. 2011]. Stowarzyszenia okulistyczne [Digital eye strain report 2015] ostrzegają przed światłem niebieskim emitowanym przez oświetlenie elektryczne oraz ekrany monitorów LCD, iPadów, tabletów [Wood i in. 2013] i smartfonów.

## **V. WSPÓLCZESNE ŹRÓDŁA ŚWIATŁA A ŚWIATŁO NIEBIESKIE**

Do podstawowych źródeł światła, które powinny być rozważane ze względu na zagrożenie światłem niebieskim są obecnie źródła LED, lampy metalohalogenkowe i niektóre typy specjalistycznych żarówek halogenowych oraz świetlówek o wysokich temperaturach barwowych (powyżej 10 000 K). Źródła LED emitują znaczną ilość światła w zakresie niebieskim, gdyż zbudowane są na bazie diody niebieskiej z naniesionym odpowiednim luminoforem i stąd ich widmo zawsze posiada maksimum w obszarze niebieskim przy długości fali ok. 460 nm. Przykłady rozkładów widmowych w zakresie rozpatrywanym przy hamowaniu wydzielania melatoniny dla źródeł LED o barwie białej (LED 4000K), niebieskiej (LED 450 nm), zielonej (LED 530 nm) a także świetlówek o temperaturze barwowej 17 000 K (TLD 17 000 K) przedstawiono na ryc. 1. Można zauważyć, że widma LEDów o barwie białej i niebieskiej mają widoczny pik przy barwie długości fali ok. 460 nm natomiast LEDy o barwie zielonej i białej mają widoczny pik przy długości fali około 530 nm.

Im większy udział światła niebieskiego w widmie promieniowania danego źródła tym bardziej jest ono efektywne w hamowaniu wydzielania melatoniny i jest efektywne biologicznie ale również tym bardziej wzrasta potencjalne zagrożenie światłem niebieskim. Oświetlenie ogólne z wykorzystaniem świetlówek o temperaturze barwowej 4000 K oraz światło białe lub zielone źródeł LED powoduje bardzo nieznaczne hamowanie wydzielania melatoniny. Natomiast największe hamowanie wydzielania melatoniny występuje przy dodaniu do oświetlenia białego dodatkowo: światła od LEDów niebieskich

i zielonych, niebieskich i białych lub niebieskich, białych i zielonych lub świetlówek o temperaturze barwowej 17 000 K.



Rycina opracowana przez autorów na podstawie badań własnych / A figure drawn by the authors on the basis of own research

**Ryc. 1.** Rozkłady widmowe natężenia napromienienia przy oku obserwatora w zakresie 420 nm – 560 nm dla światła emitowanego przez LEDy niebieskie, białe, zielone oraz świetlówki 17 000 K

**Fig. 1.** Spectral distribution of irradiance at the observer's eye in the range 420 nm – 560 nm emitted by blue, white and green LEDs and fluorescent tubes of 17 000 K

## VI. PODSUMOWANIE

Jak pokazują opisane przykłady badań zagranicznych i polskich, krótkofalowe światło z jednej strony polepsza funkcje poznawcze, poziom nastroju i może być stosowane w leczeniu depresji czy zaburzeń snu. Pozytywnie oddziałuje też na poziom czujności człowieka. Jednak nie ma dotychczas znormalizowanych wartości parametrów ekspozycji, jak i geometrii położenia źródła, które dawałyby się zastosować w praktyce na stanowiskach pracy, ani w odniesieniu do osób młodych, ani starszych. Nie wyznaczono warunków oświetlenia, które pozwoliłyby na poprawę czujności bez negatywnych skutków przy chronicznej ekspozycji. Można stwierdzić, że światło niebieskie jest nam potrzebne do prawidłowego funkcjonowania. Czy jednak ostatnie obawy co do wpływu światła niebieskiego na degenerację plamki żółtej na siatkówce oka nawet emitowanego przez tablety nie jest zbyt przesadzone? Czy nadmierna gorliwość polegająca na zalecaniu noszenia okularów ochronnych wycinających światło niebieskie, zwłaszcza przebywając w ciągu dnia na wolnym powietrzu, a tym samym pozbawianie nas widzenia barwy niebieskiej otaczającego barwnego świata nie odbije się niekorzystnie również na naszym organizmie? Czy świat bez niebieskiego nieba, morza i kwiatów na pewno będzie dla nas zdrowszy? Tego jeszcze nie udowodniono, ale można przyjąć, że na pewno będzie wyglądał dziwnie i sztucznie.

Publikacja opracowana na podstawie wyników uzyskanych w ramach III etapu programu wieloletniego pn. „Poprawa bezpieczeństwa i warunków pracy”, dofinansowywanego w latach 2014-2016 w zakresie w zakresie badań naukowych i prac rozwojowych ze środków Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego Narodowego Centrum Badań i Rozwoju.  
Główny koordynator: Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy

## BIBLIOGRAFIA

1. Aube M., Roby J., Kocifaj M. 2013. Evaluating potential spectra impacts of various artificial lights on melatonin suppression, photosynthesis, and star visibility. *PLOS ONE*. 8(7). 67798.
2. Behar-Cohen F., Martinsons C., Vienot F., Zissis G., Barlier-Salsi A., Cesarini J.P. 2011. Light emitting diodes (LED) for domestic lighting: Any risks for the eye? *Progress in Retinal and Eye Research*. 30. 239-257.
3. Blask D.E., Dauchy R.T., Brainard G.C., Hanifin J.P. 2009. Circadian stage-dependent inhibition of human breast cancer metabolism and growth by the nocturnal melatonin signal: consequences of its disruption by light at night in rats and women. *Integr. Cancer Ther.* 8(4). 347-53.
4. Brainard G.C., Hanifin J.P., Greeson J.M., Byrne B., Glickman G., Gerner E. 2001. Action spectrum for melatonin regulation in humans: Evidence for a novel circadian photoreceptors. *J. Neurosci.* 21(16). 6405-6412.
5. Cipolla-Neto J., Amaral F.G., Afeche S.C., Tan D.X., Reiter R.J. 2014. Melatonin, energy metabolism, and obesity: a review. *Journal of Pineal Research*. 56(4). 371-381.
6. Digital eye strain report. 2015. Hindsight is 20/20/20: Protect your eyes from digital devices. The Vision Council. Alexandria, USA.
7. Figueiro M.G., Bullough J.D., Rea M.S. 2015. Spectra sensitivity of the circadian system. Lighting Research Center. [dok. elektr.: [www.lrc.rpi.edu/programs/lightHealth/pdf/spectralSensitivity.pdf](http://www.lrc.rpi.edu/programs/lightHealth/pdf/spectralSensitivity.pdf). data wejścia 8.10.2016]
8. Karasek M. 2007. Znaczenie kliniczne melatoniny. *Postępy Nauk Medycznych*. 10. 395-398.
9. Lavoie S., Paquet J., Selamoui B., Rufiange M., Dumont M. 2003. Vigilance levels during and after bright light exposure in the first half of the night. *Chronobiology International*. 20(6). 1019-1038.
10. Lehmann G. 1996. *Praktyczna fizjologia pracy*. PZWL. Warszawa.
11. Lockley S.W., Evans E.E., Scheer F.A., Brainard G.C., Czeisler C.A., Aeschbach D. 2006. Short-wavelength sensitivity for the direct effects of light on alertness, vigilance, and the waking electroencephalogram in humans. *Sleep*. 29(2). 161-168.
12. Lucas R.J., Peirson S.N., Berson D.M., Brown T.M., Cooper H.M., Czeisler C.A. i in. 2014. Measuring and using light in the melanopsin age. *Trends Neurosci.* 37(1). 1-9.
13. Paul M.P., Miller J.C., Gray G., Buick F., Blazeski S., Arendt J. 2007. Circadian phase delay induced by phototherapeutic. *Aviat. Space Environ. Med.* 78(7). 645-652.
14. Piazena H.F., Franke L., Uebelhack R., Kockott D., Volker S. 2010. Light-controlled melatonin suppression considering person's age. Abstract Booklet of CIE Conference Light Quality & Energy Efficiency. March 14-17. 2010. Vienna. Austria. OP31.
15. Rahman S.A., Flynn-Evans E.E., Aeschbach D., Brainard G.C., Czeisler C.A., Lockley S.W. 2014. Diurnal spectral sensitivity of the acute alerting effects of light. *Sleep*. 1. 37(2). 271-81.
16. Richter K., Acker J., Kamcev N., Bajraktarov S., Piehl A., Niklewski G. 2011. Recommendations for the prevention of breast cancer in shift Workers. *EPMA Journal*. 2(4). 351-356.
17. Sahin L., Figueiro M.G. 2013. Alerting effects of short-wavelengths (blue) and long – wavelengths (red) lights in the afternoon. *Physiology&Behaviour*. 116-117(5). 1-7.
18. Srinivasan V., Maestroni G.J., Cardinali D.P., Esquifino A.I., Pandi-Perumal S.R., Miller S.C. 2005. Melatonin, immune function and aging. *Immunity & Ageing*. 2(17).

19. Thapan K., Arendt J., Skene D. 2001. An action spectrum for melatonin suppression: Evidence for a novel non-rod, non-cone photoreceptor system in humans. *J. Physiol.* 535. 1. 261-267.
20. Treder J., Sowik I., Borkowska A., Klamkowski K., Treder W. 2014. Aklimatyzacja mikrosadzek truskawki z zastosowaniem doświetlenia lampami LED. Materiały VI Konferencji Promieniowanie Optyczne, Oddziaływanie, Metrologia, Technologie POOMT. Baranów Sandomierski. 28-30 maja 2014. 299-305.
21. Viola A.U., James L.M., Schlagen L.J., Dijk D.J. 2008. Blue-enriched white light in the workplace improves self-reported alertness, performance and sleep quality. *Scand J. Work Environ. Health.* 34(4). 297-306.
22. West K.E., Jablonski M.R., Warfield B., Cecil K.S., James M., Ayers M.A. 2011. Blue light from light-emitting diodes elicits a dose-dependent suppression of melatonin in humans. *J. Appl. Physiol.* (1985). 110(3). 619-26.
23. Wolska A., Sawicki D., Tomczuk K., Mazurek P. 2016. Rozkład widmowy światła sztucznego a skuteczność hamowania wydzielania melatoniny. *Przegląd Elektrotechniczny.* 92(9). 186-190.
24. Wolska A., Zużewicz K. 2015. Barwa światła a poziom czujności człowieka. *Przegląd Elektrotechniczny.* 91(7). 77-80.
25. Wood B., Rea M.S., Plitnick B., Figueiro M.G. 2013. Light level and duration of exposure determine the impact of self-luminous tablets on melatonin suppression. *Applied Ergonomics.* 44(2). 237-240.
26. Zawilska J.B., Czarnecka K. 2006. Melanopsyna – nowo odkryty chronobiologiczny receptor światła. *Postępy Biologii Komórki.* 33(2). 229-246.
27. Rozporządzenie Ministra Pracy i Polityki Socjalnej z dnia z 6 czerwca 2014 r. w sprawie najwyższych dopuszczalnych stężeń i natężeń czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy. (DzU z 2014 poz. 817).
28. PN-EN 14255-2:2010. Pomiar i ocena ekspozycji osób na niespójne promieniowanie optyczne. Część 2: Promieniowanie widzialne i podczerwone emitowane przez źródła sztuczne na stanowisku pracy.
29. PN-EN 62471:2010. Bezpieczeństwo fotobiologiczne lamp i systemów lampowych.

## THE BRIGHT AND DARK SIDES OF BLUE LIGHT

### Summary

*In the spectrum of visual radiation the blue light covers the range from about 440 nm to about 490 nm. The scientific reports about significant importance of blue light in human chronobiology, photosynthesis of plants and human health have been published since about 2000. It was demonstrated that blue light could influence human health both positively (sleep and circadian rhythm disorders treatment, enhancement of psychophysical performance and vigilance) and negatively (potential photochemical retinal injury, hormone dependent cancers development). The article presents selected aspects of blue light effects on human body as well as positive and negative results of exposure to that light.*

**Keywords:** blue light, melatonin, the impact of blue light on the human