

## Barwa światła a poziom czujności człowieka

**Streszczenie.** Poziom czujności, podobnie jak większość procesów życiowych człowieka, podlega wahaniom okołodobowym sterowanym przez zegar biologiczny zlokalizowany w jądrach nadkrzyżowaniowych podwzgórza. W procesach regulacji okołodobowej bardzo ważną rolę odgrywają odrębne fotoreceptory ze światłoczułą melanopsyną w komórkach zwojowych siatkówki (ipRGCs) i wydzielanie melatoniny w szyszynce. Obniżenie poziomu czujności w nocy wynika z wysokiego poziomu melatoniny zwanej „hormonem ciemności”. Zwiększonemu poziomowi melatoniny towarzyszy wyższy poziom senności, gorsza koordynacja wzrokowo-ruchowa, czy wydłużony czas reakcji. W artykule przedstawiono przegląd badań ekspozycji na światło o różnej barwie, które powodowało podniesienie poziomu czujności.

**Abstract.** Level of vigilance, just like most vital functions of man, undergo fluctuations of circadian rhythm which are controlled by biological clock, which is localized in suprachiasmatic nucleus of hypothalamus. The distinct photoreceptor in the eye, melanopsin-containing intrinsically photosensitive retinal ganglion cells (ipRGCs) and melatonin secretion in pineal gland play very important role in the process of regulating circadian rhythm. Decreasing of vigilance level during the night is an effect of melatonin high level which is called “hormone of darkness”. Higher level of melatonin is accompanied by higher level of sleepiness, worse eye-hand coordination or longer reaction time. The article presents the review of studies on exposure to different color of light, which induced increase of vigilance level. (**color of light and vigilance level**).

**Słowa kluczowe:** czujność, melatonina, ekspozycja na światło o różnej barwie

**Keywords:** vigilance, melatonin, exposure to light of different color

### Wstęp

Światło słoneczne jest jednym z najważniejszych regulatorów funkcji fizjologicznych człowieka związanych z rytmem okołodobowym. Odgrywa ono ogromną rolę dla funkcji wzrokowych człowieka, ale również dla tzw. „pozawzrokowej odpowiedzi” organizmu, która decyduje o funkcjonowaniu psychofizjologicznym, zachowaniach i sprawności. Światło przyczynia się do zmiany rytmów okołodobowych, tj. zmiany pór czasowych w cyklach okołodobowych, co może skutkować przesuwaniem faz cykli fizjologicznych.

Dotychczas oświetlenie projektowane było pod kątem zapewnienia bezpieczeństwa i odpowiednich warunków do wykonywania pracy wzrokowej przy zachowaniu jak największej wygody widzenia i dobrego samopoczucia człowieka. Zazwyczaj nie uwzględniano się pozawzrokowych mechanizmów oddziaływania światła na organizm człowieka. Dopiero odkrycie w 2001 r. nowego typu receptora w ludzkim oku - ipRGC (ang. *Intrinsically Photosensitive Retinal Ganglion Cells*) [1, 2, 3], zapoczątkowało zmiany w tym podejściu i szereg badań jest poświęconych oddziaływaniu światła na hamowanie wydzielania melatoniny [4, 5, 6, 7, 8, 9]. Wydzielana przez szyszynkę do krwiobiegu melatonina informuje organizm o przeżywaniu procesów przypadających na porę nocną, jak np. sen czy obniżenie temperatury głębokiej ciała i spowolnienie rytmu serca. Oznacza to, że rytmy w organizmie człowieka takie jak cykl snu i czuwania, dzienne zmiany koncentracji, wydajności i nastroju (zmiany okołodobowe) oraz reakcje na zmiany sezonowe są uzależnione od określonych warunków świetlnych. Zatem i poziom czujności człowieka podlega wahaniom okołodobowym sterowanym przez zegar biologiczny. Najczęściej poziom czujności określany jest jako przeciwieństwo senności. Można też przyjąć, że jest to pewien stan człowieka charakteryzujący się: prawidłowym spostrzeganiem bodźców oraz szybkim i adekwatnym reagowaniem na nie, zwiększonym zaangażowaniem i pobudzeniem, które wpływają pozytywnie na sprawność i jakość wykonania zadań. Na poziom czujności człowieka wpływają takie czynniki jak: praca wymuszona w porze nocy, ograniczony dostęp światła dziennego i wiek. Zmienność dobową zdolności do pracy fizycznej i umysłowej opisuje fizjologiczna krzywa Lehmana [10]. Zgodnie z nią poziom czujności człowieka ulega obniżeniu

w okresie wczesno popołudniowym (godz. 13-15) oraz znacznemu obniżeniu w okresie nocnym (24-5 rano). Obniżenie poziomu czujności w nocy wynika z wysokiego poziomu melatoniny zwanej „hormonem ciemności”. U ludzi pracujących na zmianie nocnej zwiększonemu poziomowi melatoniny towarzyszy wyższy poziom senności, gorsza koordynacja wzrokowo-ruchowa, czy wydłużony czas reakcji. Zaobserwowano również wpływ wieku na wyniki poziomu melatoniny po ekspozycji na światło. Zmiany zachodzące z wiekiem w oku (spadek przepuszczalności soczewki, zwłaszcza w zakresie fal krótkich – światło niebieskie) wpływają istotnie na ilość światła docierającego do siatkówki, a tym samym na poziom wydzielanej melatoniny. Z tego względu występuje również przesunięcie fazowe w cyklu okołodobowym u osób starszych [11, 12]. Ma to również swoje odzwierciedlenie w określeniu minimalnych poziomów promieniowania docierającego do rogówki oka, które jest skuteczne w hamowaniu wydzielania melatoniny u osób młodych i starszych.

O ile problem obniżonego poziomu czujności w nocy jest silnie uzależniony od wieku, to obniżenie poziomu czujności w ciągu dnia dotyczy głównie osób starszych, źle śpiących nocą, odczuwających potrzebę drzemki w ciągu dnia lub osób pracujących w pomieszczeniach o ograniczonym dostępie światła dziennego. Również ograniczony dostęp do światła dziennego podczas pory dziennej sprzyja senności wczesno popołudniowej na skutek dodatkowego wydzielania melatoniny. Dotyczy to często takich pomieszczeń pracy jak hale magazynowe, przemysłowe, sklepowe itp. W efekcie obniżenia czujności wzrasta ryzyko popełnienia błędu i wypadku. Stąd w tym okresie wskazana jest ekspozycja na światło o odpowiednio dobranej barwie, które spowodowałoby podniesienie poziomu czujności. Zaleca się uwzględnienie tego aspektu przez producentów sprzętu oświetleniowego i w projektowaniu oświetlenia [3].

Celem artykułu jest przedstawienie przeglądu badań dotyczących wpływu różnej barwy światła na poziom czujności, ze szczególnym uwzględnieniem najnowszych doniesień. Badania prowadzone w ostatnich latach wskazują na konieczność zmiany podejścia do tego problemu.

## Metodyka badań poziomu czujności

Metodyka badań poziomu czujności opierała się najczęściej na badaniach poziomu melatoniny we krwi, moczu lub ślinie, a także na ocenie subiektywnej senności, zmęczenia oraz badaniach wydolności wzrokowej i psychomotorycznej [1, 2, 4]. W wielu badaniach, oprócz badania poziomu melatoniny we krwi, stosowano rejestracje sygnałów EEG [8, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20] i do określania poziomu czujności analizowano głównie fale alfa i theta. Wykonywane były również badania ruchów oczu, które wykazały, że przy podwyższonym poziomie czujności występuje zmniejszenie liczby wolnych ruchów oczu [21]. W badaniach stosowano też często łączną rejestrację ruchów oczu i sygnałów EEG [2, 8, 21]. Są doniesienia, w których stosowano obrazowanie mózgu z zastosowaniem funkcjonalnego rezonansu magnetycznego jako metodę badań wpływu barwy światła na funkcje poznawcze człowieka [22, 23]. W badaniach poświęconych badaniom poziomu czujności wykorzystuje się często tzw. test PVT (ang. *Psychomotor Vigilance Test*) do oceny sprawności psychomotorycznej, który mierzy czas reakcji dla serii prezentowanych na ekranie znaków [14, 16, 24]. Ponadto stosuje się powszechnie ankietę subiektywnej oceny senności [14, 17]. Dobre efekty dało wykorzystanie ankiety subiektywnej oceny senności za pomocą Karolinska Sleepiness Scale (KSS) [18, 19, 21, 25, 26], którego wyniki silnie korelują ze zmiennymi behawioralnymi EEG [25].

Badania zmian poziomu czujności prowadzone były z wykorzystaniem różnego rodzaju urządzeń do fotostymulacji. Były to bądź świetłówki o różnym rozkładzie widmowym (barwie światła) instalowane w standardowych oprawach oświetleniowych [8, 13, 26, 27] bądź źródła LED zainstalowane w czapkach z daszkiem lub na okularach [18, 28] lub wieże świetlne LED stosowane jako oprawy miejscowe na stole [29].

Większość prowadzonych badań dotyczących wpływu światła na poziom czujności przeprowadzanych było w porze nocnej, kiedy występuje największy spadek poziomu czujności [1, 2, 5, 7, 9, 14, 15, 17, 20, 26, 30, 31]. Znacznie mniej było badań wykonywanych w ciągu dnia [8, 18, 19, 22, 24, 29, 32] i dotyczyły one ekspozycji wielogodzinnej lub o różnym czasie trwania w porze porannej, południowej lub popołudniowej.

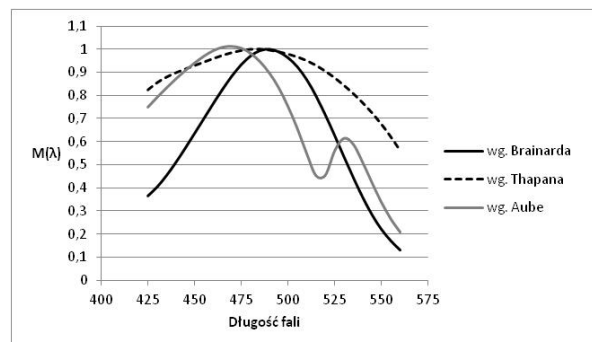
W badaniach nad ustaleniem czasu trwania ekspozycji na światło powodujące hamowanie wydzielania melatoniny u ludzi stwierdzono, że 10-minutowa ekspozycja na światło impulsowe nie jest tak skuteczna jak ekspozycja na światło ciągle przez okres 90 minut [33]. Inne badania wskazują, że 10 minutowa ekspozycja na światło niebieskie jest wystarczająca do wystąpienia efektu hamowania wydzielania melatoniny [1], ale badania te wykonywane były przy równomiernym oświetleniu siatkówki oka monochromatycznym światłem niebieskim. W badaniach prowadzonych nocą i podczas dnia czasy ekspozycji na światło były bardzo różne i w niektórych przypadkach były bardzo długie i wynosiły: 4 godziny [13], 5 godzin [16], 6,5 godziny [14], 8 godzin [8]. Ale i były krótsze, wynoszące 30 minut [2], 48 minut [18] czy 2 godziny [29].

Wyniki badań przy równomiernej ekspozycji siatkówki na światło białe wykazały, że natężenie napromienienia skuteczne w hamowaniu wydzielania melatoniny powinno być ok. dwukrotnie większe dla osób starszych i w przeprowadzonych badaniach wynosiło  $0,6 \text{ W/m}^2$  [34]. Inne wyniki badań [29] wskazują, że natężenie oświetlenia przy rogówce wynoszące 18 lx przy ekspozycji na światło niebieskie o długości fali 470 nm jest wystarczające do inicjacji procesu hamowania wydzielania melatoniny u osób zdrowych. W badaniach porównawczych przy naświetlaniu światłem niebieskim i czerwonym prowadzonych w porze

popołudniowej przy natężeniu oświetlenia przy rogówce wynoszącym 40 lx po 2 godzinach ekspozycji wystąpiło mieralne zahamowanie wydzielania melatoniny [35].

## Wpływ światła niebieskiego i zielonego na poziom czujności

W ciągu ostatniej dekady dowiedziono, że światło o długościach fal z zakresu 425 nm - 560 nm jest najbardziej efektywne w wywoływaniu pozawzrokowej odpowiedzi organizmu człowieka i hamowaniu wydzielania melatoniny [1, 2, 4]. W celu określenia skuteczności wywoływania ww. efektu przez poszczególne długości fal badania przeprowadzono dla światła monochromatycznego niebieskiego o różnych długościach fali, najczęściej 420 nm, 460 nm, 470 nm i 480 nm, ale również dla światła o barwie zielonej 550 nm i 555 nm. Wyniki badań fizjologicznych wpływu poszczególnych długości fal na proces hamowania wydzielania melatoniny [1, 2] są podstawą do wyznaczania krzywych skuteczności hamowania wydzielania melatoniny w zakresie 425 – 560 nm. Uzyskuje się je na podstawie interpolacji matematycznych wartości względnych skuteczności uzyskanych dla kilku badanych długości fal [1, 2, 4, 17]. Jednak dotychczas brak znormalizowanej krzywej skuteczności hamowania wydzielania melatoniny. Wobec powyższego w różnych publikacjach do obliczeń przyjmuje się najczęściej trzy różne krzywe skuteczności tj.: Brainarda [1], Thapana [2] oraz Aube [4], będące wynikiem interpolacji najważniejszych, powszechnie cytowanych w aktualnej literaturze światowej wyników badań w tym zakresie [1, 2]. Na rysunku 1 przedstawiono graficznie interpolowane ww. krzywe skuteczności hamowania wydzielania melatoniny.



Rys. 1. Interpolowane krzywe skuteczności hamowania wydzielania melatoniny wg.: Brainarda [1], Thapana [2] i Aube [4]

Korzystając z wiedzy dotyczącej wpływu barwy światła na poziom melatoniny przeprowadzono wiele badań wykazujących wpływ światła niebieskiego na poziom czujności, senność i termoregulację [21, 36, 37], jak również i jaskrawego światła białego o dużej składowej światła niebieskiego tzw. światła białego wzbogaconego światłem niebieskim [5, 20, 24, 38, 39, 40]. W warunkach ekspozycji na światło niebieskie badacze wykazali m.in. wyższe wskaźniki pobudzenia fizjologicznego, niższy poziom senności, krótsze czasy reakcji i spadek liczby błędów [15] oraz wzrost aktywności struktur mózgowych zaangażowanych w analizę bodźców [22] w porównaniu z warunkami odniesienia. W badaniach obrazowania mózgu wykazano wpływ monochromatycznego światła niebieskiego 470 nm i zielonego 550 nm na wzrost funkcji poznawczych, które stanowią potwierdzenie wyższego poziomu czujności po ekspozycji na światło o tej barwie [22].

Stąd w wielu badaniach dotyczących podniesienia poziomu czujności, zwłaszcza wśród pracowników zmianowych pracujących na zmianie nocnej, stosowano ekspozycję na światło o barwie niebieskiej, zwłaszcza o

długości fali ok. 465 – 470 nm, które charakteryzuje się maksymalną skutecznością hamowania wydzielania melatoniny [1, 2, 4]. Interesujące były również badania, gdzie poddawano pracowników ekspozycji na światło białe o różnej temperaturze barwowej oraz na światło niebieskie, które wykazały większe hamowanie wydzielania melatoniny występuje przy ekspozycji na światło niebieskie, niż na światło białe o neutralnej barwie światła 4000K [31] oraz z dużym udziałem światła niebieskiego w widmie tj. o temperaturze barwowej 17 000K [8, 26]. Natomiast porównanie wydolności wzrokowej i czujności przy oświetleniu światłem białym o temperaturze 3000 K, 4000 K i 6500 K wykazały, że przy świetle o najwyższej temperaturze barwowej (największy udział światła niebieskiego w widmie) występuje istotne zwiększenie poziomu czujności i wydolności wzrokowej [27].

### **Wpływ światła czerwonego na poziom czujności**

W ostatnich latach zaczęto przeprowadzać badania wpływu światła o barwie czerwonej (630 nm i 700 nm) na wydzielanie melatoniny oraz poziom czujności [9, 18, 19, 29]. Wykazano, że hamowanie wydzielania melatoniny przy ekspozycji na światło czerwone jest istotnie mniejsze niż na światło niebieskie i białe. Jednak zaskakujące są wyniki badań poziomu czujności ocenianego na podstawie testów sprawnościowych oraz analizy sygnałów EEG, które wykazały, że promieniowanie o barwie czerwonej powoduje znacząco większe podniesienie poziomu czujności niż światło niebieskie [19] lub białe [19], pomimo, iż hamowanie wydzielania melatoniny jest mniejsze. Daje to zatem podstawy do sformułowania twierdzenia, że do podniesienia poziomu czujności człowieka nie jest potrzebne silne hamowanie wydzielania melatoniny, zwłaszcza jeśli dotyczy to pory południowej. Nie ma jednak jednoznacznej odpowiedzi na pytanie, jakie reakcje zachodzące w organizmie człowieka są tego przyczyną, choć pojawiły się już pierwsze próby wyjaśniania tego zjawiska. Twierdzi się, że to emocje wywoływane przez daną barwę światła mogą grać istotną rolę w podniesieniu czujności w porze dziennej [32].

### **Potencjalne negatywne skutki oddziaływania światła o różnej barwie na organizm człowieka**

Stosowanie światła niebieskiego dla podniesienia poziomu czujności wiąże się również z pewnymi potencjalnymi negatywnymi skutkami jego oddziaływania na organizm człowieka. Istnieją doniesienia mówiące o zwiększonym ryzyku raka piersi wśród kobiet pracujących nocą w systemie zmianowym [41]. Ponadto istnieje potencjalne zagrożenie dla siatkówki oka światłem niebieskim, gdyż promieniowanie z tego zakresu wykazuje się również największą skutecznością wywołania skutków szkodliwych [42].

W przypadku światła czerwonego praktycznie nie występuje zagrożenie fotochemiczne siatkówki, a mniejsze hamowanie wydzielania melatoniny nie powinno powodować istotnych zaburzeń hormonalnych w organizmie człowieka i przyczyniać się do potencjalnych chorób nowotworowych. Stąd stosowanie światła czerwonego do ekspozycji w celu podniesienia czujności wydaje się być bezpieczniejsze dla organizmu człowieka.

### **Podsumowanie**

Światło sztuczne o odpowiednio dobranych parametrach może pomóc w szybszym uzyskaniu wyższego poziomu sprawności psychofizycznej w pracy, zarówno w ciągu dnia jak i nocy. Jednak nie ma standardu metodyki badań zarówno w zakresie stosowanej aparatury i mierzonych parametrów jak i stosowanej barwy światła oraz warunków i

czasu ekspozycji niezbędnej do wywołania efektu podniesienia czujności. Z tego względu aktualnie nie ma standardu ani nawet kryterium wyboru barwy światła i jego intensywności do tego rodzaju zastosowań, lecz nowe badania wnoszą ciekawe wnioski, które powinno uwzględniać się zarówno w nowych badaniach jak i praktycznych zastosowaniach. Wiadomo jednak, że wybór barwy światła jak i jego intensywności powinien uwzględniać porę ekspozycji (noc / dzień) i wiek osób poddawanych ekspozycji. Z jednej strony należy zapewnić maksymalne oddziaływanie fotobiologiczne niezbędne do zapewnienia większej czujności, a z drugiej strony konieczne jest zapewnienie bezpieczeństwa fotobiologicznego ze względu na potencjalne skutki szkodliwe uszkodzenia fotochemicznego siatkówki oka.

Pomimo wielu przytoczonych publikacji nadal istnieje pole do dalszych badań fizjologicznych w celu znalezienia odpowiedzi na pytanie dotyczące roli barwy światła nie tylko w celu podniesienia czujności, ale również w innego rodzaju fototerapii, jak zaburzenia rytmu okołodobowego czy leczenia depresji sezonowej.

*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.*

### **LITERATURA**

- [1] Brainard G. C., Hanifin J. P., Greeson J.M., Byrne B., Glickman G., Gerner E., Rollag M.D.: Action spectrum for melatonin regulation in humans: Evidence for a novel circadian photoreceptors. *J. Neurosci* 2001, 21 (16): 6405-6412.
- [2] Thapan K., Arendt J., Skene D.: An action spectrum for melatonin suppression: Evidence for a novel non-rod, non-cone photoreceptor system in humans. *J. Physiol.* 2001, 535.1: 261-267.
- [3] Lucas R.J., Peirson S.N., Berson D.M., Brown T.M., Cooper H.M., Czeisler C.A., Figueiro M.G., Gamlin P.D., Lockley S.W., O'Hagan J.B., Price L.L., Provencio I., Skene D.J., Brainard G.C. Measuring and using light in the melanopsin age. *Trends Neurosci.* 2014 Jan;37(1):1-9.
- [4] Aube M., Roby J., Kocifaj M.: Evaluating potential spectra impacts of various artificial lights on melatonin suppression, photosynthesis, and star visibility. *PLOS ONE*, 2013, vol. 8(7): e67798, doi: 10.1371/journal.pone.0067798.
- [5] Badia P., Myers B., Boecker M., Culepepper J., Harsh JR: Bright light effects on body temperature, alertness, EEG and behavior. *Physiol Behav.*, 1991, 50(3), 583-588.
- [6] Beaven C.M, Ekström J. A comparison of blue light and caffeine effects on cognitive function and alertness in humans. *PLOS ONE*, 2013 8(10): e76707, doi: 10.1371/journal.pone.0076707.
- [7] Brainard G.C., Hanifin J.P. Photons, clocks, and consciousness. *J Biol Rhythms.* 2005;20(4):314-25.
- [8] Górnicka G. Lighting at work. Environmental study of direct effects of lighting level and spectrum on psychological variable, Technische Universiteit Eindhoven, Eindhoven, 2008.
- [9] Hanifin J.P, Stewart K.T., Smith P., Tanner R., Rollag M., Brainard G.C. High-intensity red light suppresses melatonin. *Chronobiol Int.* 2006; 23(1-2):251-68.
- [10] Lehmann G. Praktyczna fizjologia pracy, PZWŁ, Warszawa, 1966.
- [11] Turek FW, Penev P, Zhang Y, Van Reeth O, Takahashi JS, Zee P. Alterations in the circadian system in advanced age. *Ciba Found Symp.* 1995;183:212-26; discussion 226-34.
- [12] Turek FW, Penev P, Zhang Y, van Reeth O, Zee P. Effects of age on the circadian system. *Neurosci Biobehav Rev.* 1995 Spring;19(1):53-8.
- [13] Lavoie S., Paquet J., Selamoui B. Rufiange M., Dumont M.: Vigilance levels during and after bright light exposure in the

- first half of the night. *Chronobiology International*, 2003; 20(6): 1019-1038.
- [14] Chang A.M, Scheer F.A.J, Czeisler C.A, Aeschbach D. Direct effects of light on alertness, vigilance, and the waking electroencephalogram in humans depend on prior light history. *Sleep*. Aug 1, 2013; 36(8): 1239–1246.
- [15] Lockley S.W., Evans E.E., Scheer F.A., Brainard G.C., Czeisler C.A., Aeschbach D.: Short-wavelength sensitivity for the direct effects of light on alertness, vigilance, and the waking electroencephalogram in humans. *Sleep*, 2006; 29(2):161-168.
- [16] Phipps-Nelson J., Redman J.R., Schlangen L.J., Rajaratnam S.M. Blue light exposure reduces objective measures of sleepiness during prolonged nighttime performance testing. *Chronobiol Int*. 2009 Jul;26(5):891-912.
- [17] Rahman S.A, Flynn-Evans E.E, Aeschbach D., Brainard G.C., Czeisler C.A, Lockley S.W. Diurnal spectral sensitivity of the acute alerting effects of light. *Sleep*. 2014 Feb 1;37(2):271-81.
- [18] Sahin L, Figueiro M.G. Alerting effects of short-wavelengths (blue) and long – wavelengths (red) lights in the afternoon. *Physiology & Behaviour*, 2013, 116-117(5):1-7
- [19] Sahin L, Wood B.M, Plitnick B., Figueiro MG. Daytime light exposure : effects on biomarkers, measure of alertness and performance. *Behavioural Brain Research*, 2014, 274: 176-185.
- [20] Yokoi M., Aoki K., Shimomura Y., Iwanaga K., Katsuura T.: Effect of bright light on EEG activities and subjective sleepiness to mental task during nocturnal sleep deprivation *J Physiol Anthropol Appl Human Sci*. 2003 Nov;22(6):257-63.
- [21] Cajochen C, Zitzer J.M, Czeisler CA, Dijk DJ.: Dose response relationship for light intensity and ocular and electroencephalographic correlates of human alertness. *Behavioural Brain Research*, 2000, 115: 75-83.
- [22] Vandewalle G. Schwartz S. Grandjean D. Vuillaume C., Baeteau E., Degueldre C., Schabus M., Phillips C., Luxen A., Dijk, D. J., Maquet P.: Spectral quality of light modulates emotional brain responses in humans. *Proc Natl Acad Sci U S A*. 2010 Nov 9;107(45):19549-54, <http://www.pnas.org/content/suppl/2010/10/14/1010180107.DC Supplemental> (8.10.2015).
- [23] Vandewalle G., Gais S., Schabus M., Baeteau E., Carrier J., Darsaud A., Sterpenish V., Albouy G., Dijk D.J., Maquet P.: Wavelength – dependent modulation of brain responses to a working memory task by daytime light exposure. *Cerebral Cortex*, 2007, 17(12), 2788-2795. doi:10.1093/cercor/bhm007.
- [24] Phipps-Nelson J., Redman J.R., Dijk D.J., Rajaratnam S.M. Daytime exposure to bright light, as compared to dim light, decreases sleepiness and improves psychomotor vigilance performance. *Sleep*. 2003;26(6):695-700.
- [25] Shahid A, Wilkinson K. Marcu K., Shapiro C. Karolinska Sleepiness Scale (KSS). In: STOP, THAT and One Hundred Other Sleep Scales, Springer 2012, pp 209-210.
- [26] Viola AU, James LM, Schlangen LJ, Dijk DJ. Blue-enriched white light in the workplace improves self-reported alertness, performance and sleep quality. *Scand J Work Environ Health*. 2008 Aug;34(4):297-306.
- [27] Shamsul B.M.T, Sia C.C., Ng Y.G., Karmegan K. : Effects of light colour temperatures on visual comfort level , task performances and alertness among students. *Am J. of Public Health Research*, 2013, vol 1, no 7: 159-163.
- [28] Paul M.P., Miller J.C., Gray G., Buick F., Blazeski S. & Arendt J.: Circadian phase delay induced by phototherapeutic. *Aviat. Space Environ. Med* 2007, 78(7):645-652.
- [29] Figueiro M.G., Bullough J.D, Rea M.S: Spectra sensitivity of the circadian system. Lighting Research Center. (8.10.2015). [www.lrc.rpi.edu/programs/lightHealth/pdf/spectralSensitivity.pdf](http://www.lrc.rpi.edu/programs/lightHealth/pdf/spectralSensitivity.pdf)
- [30] Brainard GC, Sliney D, Hanifin JP, Glickman G, Byrne B, Greeson JM, Jasser S, Gerner E, Rollag MD. Sensitivity of the human circadian system to short-wavelength (420-nm) light. *J Biol Rhythms*. 2008;23(5):379-86
- [31] West KE, Jablonski MR, Warfield B, Cecil KS, James M, Ayers MA, Maida J, Bowen C, Sliney DH, Rollag MD, Hanifin J.P, Brainard GC. Blue light from light-emitting diodes elicits a dose-dependent suppression of melatonin in humans. *J Appl Physiol* (1985). 2011; 110(3):619-26
- [32] Rautkyla E., Puolakka M., Halonen L. Alerting effects of daytime light exposure- a proposed link between light exposure and brain mechanizm. *Lighting Res. Technol*, 2012, 44(2): 238-252.
- [33] Brainard G.C., Rollag M.D., Hanifin J.P.: Photic regulation of melatonin in humans: Ocular and neural signal transduction. *J. Biol. Rhythms* 1997, 12(6): 537-546
- [34] Piazena H.F, Franke L., Uebelhack R., Kockott D., Volker S. Light-controlled melatonin suppression considering person's age. Abstract Booklet of CIE Conference Light Quality & Energy Efficiency, March 14-17, 2010, Vienna, Austria, OP31.
- [35] Wood B., Rea M.S., Plitnick B., Figueiro M.G.: Light level and duration of exposure determine the impact of self-luminous tablets on melatonin suppression. *Aplied Ergonomis*, 2013; 44(2): 237-240.
- [36] Lockley S.W. Brainard G.C, Czeisler C.A: High sensitivity of the human circadian melatonin rhythm to resetting by short wavelength light. *J. Clin Endocrinol Metab*. 2003, 88(9): 4502-4505.
- [37] Rürger M., Gordijn M.C., Beersma D.G., de Vries B., Daan S. Nasal versus temporal illumination of the human retina: effects on core body temperature, melatonin, and circadian phase. *J Biol Rhythms*. 2005 Feb;20(1):60-70.
- [38] Golonka K., Ważna A. Negatywny wpływ światła niebieskiego na stan emocjonalny kobiet. XXXV Zjazd Naukowy Polskiego Towarzystwa Psychologicznego pt. Psychologia w zmieniającym się świecie, Bydgoszcz, 18-21 września 2014
- [39] Ważna A., Iskra–Golec I. Pozytywny wpływ światła niebieskiego na stan afektywny u mężczyzn. XXXV Zjazd Naukowy Polskiego Towarzystwa Psychologicznego pt. Psychologia w zmieniającym się świecie, Bydgoszcz, 18-21 września 2014.
- [40] Wątroba J., Golonka K. Światło białe i światło niebieskie w ocenie pracownic biura – eksperyment terenowy. XXXV Zjazd Naukowy Polskiego Towarzystwa Psychologicznego pt. Psychologia w zmieniającym się świecie, Bydgoszcz, 18-21 września 2014.
- [41] Richter K., Acker J., Kamcev N., Bajraktarov S., Piehl A., Niklewski G.: Recommendations for the prevention of breast cancer in shift workers *EPMA Journal*, 2011; 2 (4): 351-356.
- [42] Rozporządzeniem Ministra Pracy i Polityki Socjalnej z 27 maja 2010 r. w sprawie bezpieczeństwa i higieny pracy przy pracach związanych z ekspozycją na promieniowanie optyczne (tekst jednolity DzU z 2013 poz. 1619).

**Autorzy:** dr hab. inż. Agnieszka Wolska, dr Krystyna Zużewicz  
*Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy (CIOP-PIB), ul. Czerniakowska 16, 00-701 Warszawa, e-mail: agwol@ciop.pl,*