

dr KRYSZYNA ZUŻEWICZ  
 dr hab. inż. AGNIESZKA WOLSKA, prof. nadzw. CIOP-PIB  
 Centralny Instytut Ochrony Pracy  
 – Państwowy Instytut Badawczy  
 Kontakt: agwol@ciop.pl

# Wpływ charakterystyki widmowej światła sztucznego na aktywność dobową i poziom senności pracowników zmianowych

Fot. Nosnibor137/Bigstockphoto



Światło uczestniczy nie tylko w procesie widzenia, ale także w regulacji wydzielania hormonów snu, termoregulacji, a także wpływa na poziom czujności i funkcje poznawcze. Poza tymi skutkami oddziaływania światła na organizm człowieka, istnieje również pewne zagrożenie uszkodzenia fotochemicznego siatkówki oczu, zwłaszcza światłem z zakresu niebieskiego, które również najsilniej oddziałuje na wydzielanie melatoniny. Oświetlenie sztuczne o różnej charakterystyce widmowej może w odmienny sposób wpływać na psychofizjologię oraz zdrowie człowieka. Prowadzone są badania mające na celu opracowanie takich rozwiązań oświetlenia pomieszczeń pracy, które sprzyjałyby utrzymaniu odpowiedniego poziomu czujności i zapobiegałyby senności pracownika zwłaszcza w nocy czy w pomieszczeniach bez dostępu światła naturalnego. Dotychczas powszechnie stosowano oświetlenie o szerokim widnie światła białego. W nowych urządzeniach oświetleniowych próbuje się wprowadzać większy udział światła z zakresu barwy niebieskiej i zielonej, czyli o długościach stymulujących szlak siatkówkowo-podwzgórzowy ludzi. Praktycznie chodzi o ustalenie takiego rozkładu widmowego światła, z istotnym udziałem światła niebieskiego, które sprzyjając wykonywaniu pracy na wysokim poziomie czujności, nie miałoby negatywnego wpływu na zdrowie.

*Słowa kluczowe: oświetlenie pomieszczeń pracy, rozkład widmowy światła, czujność, senność*

## Impact of artificial light spectral characteristics on diurnal activity and sleepiness level of shift workers

Light is not only part of the vision process but it also controls the secretion of sleep and thermoregulation hormones. It also influences the level of vigilance and cognitive performance. In addition to that impact of light on the human body, there is also some risk of photochemical damage of the retina, especially by blue light, which has the strongest influence on melatonin secretion. Artificial lighting of different spectral distribution characteristics can affect human psychophysiology and health. Current research aims at developing such lighting solutions for work-room lighting that would allow workers to maintain an appropriate level of vigilance and, therefore, prevent sleepiness, especially at night or in places devoid of natural light. So far, white light with a broad spectrum was most common; however, the latest trend is to use blue and green light with bands stimulating retino-hypothalamic tracts. In practice, the point is to establish such a spectral distribution of light, with significant contribution of blue light, which would allow workers to work with high vigilance and, at the same time, would not to have a negative impact on their health.

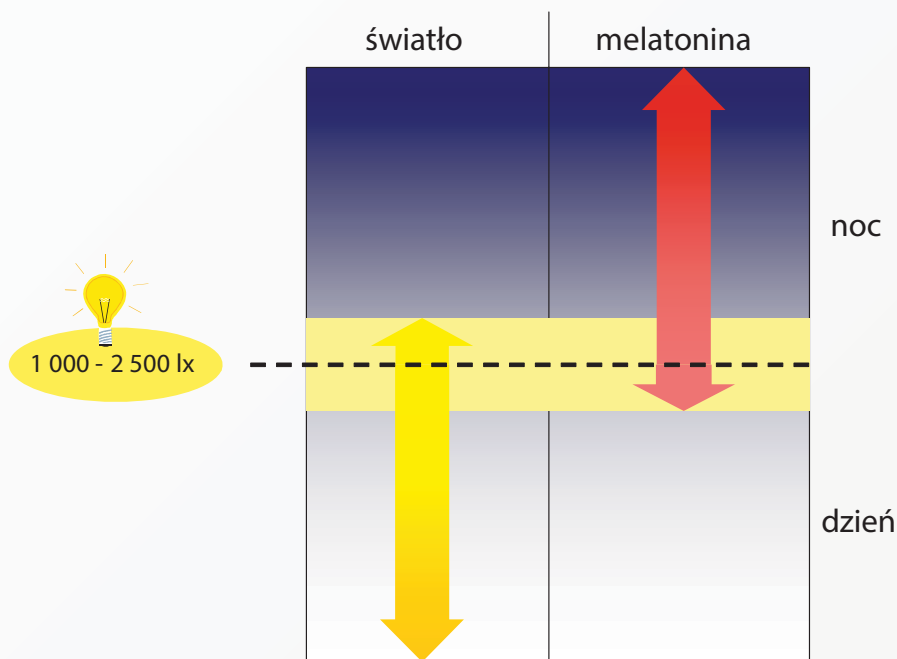
*Keywords: work-room lighting, spectral light distribution, vigilance, sleepiness*

## Wstęp

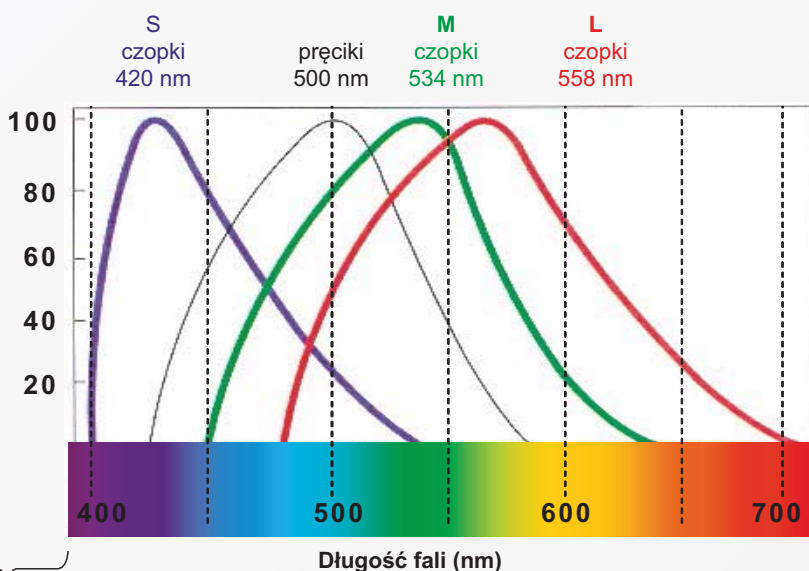
Żywe organizmy mają jedną cechę wspólną, jeżeli chodzi o zdolność do reagowania na bodźce świetlne: mediatorami wszystkich reakcji fotobiologicznych są cząsteczki organiczne, które wchłaniają kwanty światła i ulegają zmianom fizykochemicznym wywołującym w organizmie szeroki zakres reakcji fizjologicznych. Wyniki badań naukowych pokazują zaś, że światło uczestniczy nie tylko w procesie widzenia, ale także w regulacji wydzielania hormonów, snu, termoregulacji, a także wpływa na poziom czujności i funkcje poznawcze [1].

## Synchronizacja czasowa procesów życiowych z dobowym cyklem światło-ciemność

Strukturą odpowiedzialną za wewnętrzną czasową synchronizację procesów życiowych człowieka, dostosowaną do środowiskowych wyznaczników czasu, czyli doby astronomicznej, są dwa skupiska neuronów, zwane jądrami nadskrzyżowaniowymi (SCN – *suprachiasmatic nucleus*), znajdujące się u podstawy podwzgórza ludzkiego mózgu. Informacja o naprzemienności dnia i nocy dociera do SCN drogą wzrokową, za pośrednictwem komórek zwojowych siatkówki, zawierających wrażliwe na światło białko z grupy opsyn–melanopsynę. W odpowiedzi na światło zachodzi aktywacja melanopsyny i przekazanie informacji, dzięki której komórki SCN rozpoczynają „odmierzenie” kolejnej doby. Melanopsyna zaangażowana jest także w regulację szerokości źrenicy oka. Jej działanie nie ma bezpośredniego związku z procesem widzenia. Dla znajdującego się w podwzgórzu gruczołu dokrewnego



Rys. 1. Zależność między ekspozycją na światło i wydzielaniem melatoniny  
Fig. 1. The relationship between exposure to light and melatonin secretion



340-360 nm  
maksymalne  
wchłanianie in vitro  
dla melanopsyny  
(Melyani wsp. 2005)

Rys. 2. Względne skuteczności widmowe czułości trzech rodzajów czopków typu S, M i L na monochromatyczną stymulację  
(źródło: [http://pl.wikipedia.org/wiki/Widzenie\\_barwne](http://pl.wikipedia.org/wiki/Widzenie_barwne))

Fig. 2. Relative spectral sensitivity of three types of cones S, M & L to monochromatic stimulation

– szyszynki – brak światła, czyli ciemność jest sygnałem do produkcji hormonu: melatoniny. Wydzielana do krwiobiegu melatonina informuje organizm o przeżywaniu procesów przypadających na porę nocną, jak np. sen. Następuje wtedy obniżenie temperatury głębokiej ciała, spowolnienie rytmu serca czy przyspieszenie procesów regeneracyjnych

np. naskórka, dzięki intensyfikacji podziałów komórkowych (rys. 1).

Ilość światła wymagana do tłumienia produkcji melatoniny jest zróżnicowana osobniczo oraz zależy od intensywności i długości fali. Na tłumienie melatoniny wpływa także wcześniejsza ekspozycja na światło, zarówno krótko-, jak i długoczasowa [1,2].

## Wpływ światła na sprawność umysłową

Dla człowieka zakres długości fali światła widzialnego to 380-780 nm. Jednak najsilniejszą stymulację reakcji okołodobowych i neurohormonalnych wywiera światło z obszaru widma pomiędzy 450 i 550 nm [1]. Światło monochromatyczne wywołujące najsilniejsze lub najdłużej trwające reakcje pozawzrokowe u ludzi ma zakres długości fali pomiędzy 460-480 nm. Wrażliwość fotoreceptorów na to światło trwa krócej niż całkowita maksymalna drażliwość systemu fotopowego i nie ma związku z maksymalną drażliwością klasycznych fotoreceptorów (pręciki ok. 505 nm), czopki-S (niebieski) – 420-440 nm, czopki-M (zielony) – 534-555 nm, czopki-L (czerwony) – 564-580 nm, a efekt widoczny jest po upływie znacznie dłuższego czasu [3-7], (rys. 2.).

Odkryty w 2000 r. piąty fotoreceptor – melanopsyna, znajdujący się w komórkach zwojowych siatkówki [8], wykazuje drażliwość na światło o długości bardziej przesuniętej w kierunku ultrafioletu [1,9]. U człowieka rogówka, ciecz wodnista i ciało szkliste transmitują prawie 100% widzialnych i ultrafioletowych (do 300 nm) długości fali światła, z pewnymi ograniczeniami związanymi z wiekiem. Ponadto efektywność bodźca świetlnego w regulacji okołodobowej zależy także od:

- 1) parametrów fizycznych źródła światła,
- 2) świadomego i odruchowego zachowania się w stosunku do źródła światła,
- 3) transdukcji światła poprzez źrenicę i ośrodki wzroku do siatkówki,
- 4) drażliwości fotoreceptorów na długość fali,
- 5) rozmieszczenia fotoreceptorów,
- 6) zdolności nerwów do integracji bodźców w czasie i przestrzeni [1].

W 2007 r. przeprowadzono badania w celu ustalenia wpływu na funkcję mózgu człowieka krótkotrwałej 50 s ekspozycji na światło monochromatyczne – fioletowe (430 nm), niebieskie (473 nm) i zielone (527 nm) o tej samej gęstości strumienia fotonów (1013 ph/cm<sup>2</sup>/s). Podczas ekspozycji na światło uczestnicy wykonywali zadanie pamięciowe. Wykazano, że głównie światło niebieskie wywoływało reakcje w takich obszarach mózgu, jak pień i wzgórze, czyli w najważniejszych strukturach odpowiedzialnych za interakcje między czujnością i funkcją poznawczą u ludzi [7].

Kolejne badania miały na celu sprawdzenie, czy ekspozycja na światło niebieskie i zielone moduluje reakcje mózgu na słuchową stymulację emocjonalną. Przeprowadzono je z zastosowaniem funkcjonalnego rezonansu magnetycznego (fMRI) i stwierdzono, że krótka ekspozycja na światło niebieskie podczas przetwarzania emocjonalnych bodźców słuchowych wpływa bardziej na emocjonalne reakcje mózgu niż ekspozycja na światło zie-

lone. Ekspozycja na światło niebieskie wzmacniała funkcjonalną łączność między obszarem głosowym kory skroniowej mózgu, jądrem migdałowatym i podwzgórzem, co oznacza, że emocjonalne pobudzenie tych obszarów mózgu zależy zarówno od informacji przekazywanych z obszaru głosowego, jak i od charakterystyki widmowej światła w otoczeniu [4].

### Trendy w doborze oświetlenia stanowisk osób pracujących w nocy

W ostatnich latach były i są nadal prowadzone badania mające na celu znalezienie takich rozwiązań oświetlenia pomieszczeń pracy, które sprzyjałyby utrzymaniu odpowiedniego poziomu czujności i zapobiegałyby senności pracownika zwłaszcza, gdy wykonuje on pracę w porze nocy, czy w porze dnia w pomieszczeniach bez dostępu światła naturalnego. Dotychczas powszechnie stosowano oświetlenie o szerokim widmie światła białego. W nowych urządzeniach oświetleniowych próbuje się wprowadzać większy udział światła z zakresu barwy niebieskiej i zielonej, czyli światła o długościach stymulujących szlak siatkówkowo-podwzgórzowy ludzi. Praktycznie chodzi o ustalenie optymalnej mieszanki długości fal, czyli takiej, która sprzyjając wykonywaniu pracy na odpowiednio wysokim poziomie jakości, nie miałaby negatywnego wpływu na zdrowie pracownika.

Uważa się, że zyskująca na popularności technologia LED pozwala na zastosowanie rozwiązań, które umożliwiłyby dostosowanie ekspozycji na światło do indywidualnych potrzeb pracownika. Idealne byłoby urządzenie małe, przenośne, wygodne do noszenia, zasilane z baterii, emitujące światło o intensywności niewywołującej dyskomfortu oczu [10]. Na świecie testowane są takie rozwiązania, jak np. LED-y umieszczone na daszku czapki pracownika, podświetlone okulary (nie optyczne), czy kolumna oświetleniowa odpowiednio ustawiona na stanowisku pracy. Stopień przydatności tych urządzeń oceniany jest na podstawie wyników badań naukowych prowadzonych najczęściej z udziałem pracowników zmianowych. Ich główny cel to przede wszystkim ocena wpływu światła na poziom czujności osób pracujących w nocy, a szczególnie między godzinami 24:00-05:00, kiedy to poziom sprawności umysłowej i fizycznej osiąga dobowe minimum [10,11]. Szczególną uwagę skupia się też na pracownikach starszych (powyżej 45 lat) ze względu na zwiększone ryzyko popełnienia przez nich błędów [12]. W grupie tej na naturalne wahania dobowe sprawności psychofizycznej nakłada się obniżony poziom czujności spowodowany narastającymi z wiekiem problemami ze snem czy problemami zdrowotnymi związanymi

Tabela 1. Urządzenia oświetleniowe wykorzystujące technologię LED zastosowane w badaniach [10] w celu oceny wpływu światła o różnej długości fali na senność (poziom melatoniny) i przesunięcie fazowe rytmu aktywności dobowej pracownika nocnego

Table 1. LED lighting devices used in research [10] to evaluate the impact of light waves of various length on sleepiness (level of melatonin) and the phase shift of a night worker's diurnal activity.

Umiejscowienie źródła światła	Charakterystyka źródła światła i pora ekspozycji
Lampa <i>lightbook</i>	światło niebieskie – maksimum emisji $\lambda_{max} = 465$ nm natężenie oświetlenia 1500 lx kilka rzędów diod LED uczestnicy siedzieli przed lampą tak, że ich oczy znajdowały się w odległości 60 cm od źródła światła. ekspozycja: 2 godziny 24:00-02:00
Okulary LED	światło zielono-niebieskie monochromatyczne 510 nm natężenie oświetlenia 1500 lx wyposażenie: okulary nieoptyczne z 2 diodami LED, umieszczonymi nad każdym okiem, w odległości 12 mm od oka ekspozycja: 2 godziny 24:00-02:00
Wieża świetlna ( <i>light tower</i> )	światło zielone – maksimum emisji $\lambda_{max} = 500$ nm natężenie oświetlenia 350 lx dwie wieże składające się z 2 świetlówek – po jednej na wieżę; wysokość każdej wieży – ok. 45 cm natężenie oświetlenia na poziomie oczu około 350 lx ekspozycja: 2 godziny od 24:00-02:00
Czapka z daszkiem świetlnym	światło zielone monochromatyczne 505 nm natężenie oświetlenia 8000 lx czapka ma trzy diody LED nad każdym okiem, znajdujące się w odległości około 10 cm od oczu ekspozycja: 2 godziny 24:00-02:00

z układem trawiennym, układem krążenia bądź zaburzeniami metabolizmu.

W tabeli 1. zestawiono przykłady urządzeń z emisją światła monochromatycznego o różnej długości fali, zastosowanych w badaniach naukowych pod kątem wpływu na poziom senności oraz przesunięcie fazowe rytmiki okołodobowej.

Wykazano, że wszystkie cztery urządzenia, mimo różnic w intensywności emitowanego światła oraz długości fali, wpływały korzystnie na poziom czujności i ograniczały senność, powodowały tłumienie produkcji melatoniny oraz opóźnienie fazowe rytmiki okołodobowej (rytmu aktywności, temperatury głębokiej), przy czym wieża świetlna oraz czapka z daszkiem świetlnym były bardziej skuteczne niż lampa *lightbook* oraz okulary LED.

Lampa *lightbook* oraz okulary LED były podobne pod względem intensywności emitowanego światła (1500 lx na poziomie oczu), lecz różniły się zakresem widmowym światła, które w przypadku lampy *lightbook* osiągało  $\lambda_{max} = 465$  nm, zaś okulary LED emitowały tylko światło monochromatyczne 510 nm. Wieża świetlna ( $\lambda_{max} = 500$  nm) oraz czapka z oświetleniem w daszku (505 nm) były zupełnie odmienne pod względem intensywności emitowanego światła (wieża świetlna – 350 lx, czapka z oświetleniem w daszku – 8000 lx), [10].

Efekt zmniejszenia senności czy poprawy czujności w odniesieniu do warunków kontrolnych bez ekspozycji uzyskano przy ekspozycji na światło emitowane ze źródeł umieszczonych w lampie *lightbook*, wieży świetlnej i w daszku czapki, lecz nie przy zastosowaniu okularów LED [10].

### Wpływ światła sztucznego na poziom czujności

W wyniku badań naukowych prowadzonych na świecie wykazano, że wieczorna ekspozycja na światło sztuczne, z ograniczoną barwą niebieską, może sprzyjać zwiększonej produkcji endogennej melatoniny w nocy, poprawiając tym samym jakość snu nocnego. Stanowi jednocześnie problem dla pracujących w porze nocy, u których wysokie stężenie melatoniny oznacza zwiększoną senność utrudniającą koncentrację na wykonywanej czynności. Zwiększonemu poziomowi melatoniny towarzyszy bowiem wyższy poziom senności, gorsza koordynacja wzrokowo-ruchowa, czy wydłużony czas reakcji, co w konsekwencji zwiększa ryzyko popełnienia błędów.

Zastosowanie nocnej ekspozycji na światło o natężeniu i barwie powodujących częściowe lub nawet całkowite zahamowanie wydzielania melatoniny wpływa wprawdzie na poprawę czujności, lecz jest uznane za jeden z czynników zwiększonego ryzyka chorób nowotworowych wśród pracujących w systemie zmianowym z nocą [13]. Zatem światło w zależności od posiadanej charakterystyki i pory ekspozycji może na pracujących w nocy wywierać efekt korzystny lub niekorzystny w aspekcie zdrowia i bezpieczeństwa pracy [14]. Poszukiwanie kompromisu polega między innymi na odpowiednim doborze parametrów oświetlenia stosowanego na stanowiskach pracy<sup>1</sup>.

<sup>1</sup> Mechanizmy działania kancerogennego pracy nocnej są nadal przedmiotem licznych badań, takich jak chociażby "Lighting for the Human Circadian Clock. Recent Research Indicates That Lighting Has Become a Public Health Issue" autorstwa S.M. Pauley, których celem jest pogłębiona analiza m. in. roli światła w nocy i melatoniny.

Tabela 2. Przykłady rodzajów światła zastosowanego w badaniach naukowych prowadzonych pod kątem wpływu światła sztucznego na aktywność dobową i poziom czujności (senność), a także zdrowie pracujących w porze nocnej  
 Table 2. Examples of types of light used in research conducted to evaluate the impact of light on diurnal activity as well as on the level of vigilance (sleepiness) and on night workers' health.

Autorzy	Rok badań	Krótki opis wyników badań
Wright i wsp. [20]	2001	Krótsze fale (470, 497 i 525 nm) lepiej tłumią produkcję melatoniny; najlepiej o długości 497 nm.
Wright i wsp. [21]	2004	Największe przyspieszenie fazy aktywności okołodobowej następuje przy ekspozycji na światło 470 nm.
Thapan i wsp. [22] Brainard i wsp. [1]	2001 2005	Maksymalne tłumienie produkcji melatoniny uzyskuje się przy około 460–470 nm.
Roberts [23]	2005	Nieodpowiednia ekspozycja na światło w nocy stwarza większe ryzyko 2 typów nowotworów zależnych od hormonów steroidowych (np. sutka i prostaty).
Revell i wsp. [18]	2007	Światło działające na czopki typu S wpływa na poziom nastroju/czujności, natomiast efekt przesunięcia fazowego jest zdominowany przez melanosynę.
Lack i wsp. [16]	2007	Ekspozycja na światło monochromatyczne niebieskie 470 nm osób z syndromem opóźnionej fazy snu, rano natychmiast po przebudzeniu. Badanie wykonano zimą przy poziomach światła porannego <100 lux w pomieszczeniach zamkniętych. Zastosowano przenośne źródło światła z LED-ami przymocowanymi do dolnej części oprawy okularów, skierowanymi w stronę oczu (odległość do powierzchni rogówki około 15 mm). Stwierdzono przyspieszenie początku snu przeciętnie o 70 min i prawie 2-godzinne skrócenie czasu snu całkowitego.
Sletten i wsp. [12]	2009	2-godzinna, przerywana ekspozycja starszych mężczyzn na monochromatyczne światło, w indywidualnie określonym czasie. Zastosowano światło niebieskie ( $\lambda_{\max} = 456$ nm) oraz zielone ( $\lambda_{\max} = 548$ nm) dla gęstości fotonu ( $6 \times 10^{13}$ fotonów/cm <sup>2</sup> /sek. Po ekspozycji na niebieskie światło subiektywny poziom czujności starszych mężczyzn był znacząco niższy niż młodszych. Ekspozycja na zielone światło wpływała w jednakowym stopniu na poziom senności i nastroju osób młodych i starszych wiekiem. Zarówno u młodych, jak i starszych stwierdzono większe przyspieszenie fazowe w reakcji na niebieskie światło niż na zielone.
Kakooei i wsp. [24]	2010	Ekspozycja pielęgniarek na nocnym dyżurze na światło białe (4500 lx) podczas dwóch przerw: 21:15 – 22:00 i 3:15 – 4:00 oraz na przyćmione światło (DIM) (300 lux) w pozostałych godzinach przez 4 kolejne tygodnie. Światło zamontowane było na suficie, użyto lamp fluorescencyjnych (temperatura barwowa: 5000 K). Lampy generowały światło średnio 4500 lux na poziomie oczu siedzącej osoby. Zastosowanie bardzo jasnego światła przez 45 minut przed północą (21:15–22:00), a następnie we wczesnych godzinach porannych (3:15–04:00) zwiększa czujność i temperaturę ciała pielęgniarek.

Opisane wcześniej cztery urządzenia oświetleniowe powodowały tłumienie produkcji melatoniny. Wpływały też na korzystne dla pracownika nocnego opóźnienie fazowe rytmiki okołodobowej, choć oba te efekty nie były jednakowe, gdyż wieża świetlna oraz czapka z oświetleniem w daszku były bardziej skuteczne niż lampa lightbook oraz okulary LED. Ma to swoje uzasadnienie w tym, że urządzenia różniły się znacznie pod względem intensywności emitowanego światła oraz długości fali promieniowania. Lampa lightbook oraz okulary LED były podobne pod względem intensywności emitowanego światła (1500 lx na poziomie oczu). Maksymalna emisja lampy lightbook wynosiła 465 nm z szeroką końcową emisją w dłuższych falach, natomiast okulary LED emitowały jedynie monochromatyczne światło rzędu 510 nm. Bardzo zaskakujące zdaniem prowadzących badania okazał się fakt, że wieża świetlna spowodowała największe liczbowo opóźnienie fazowe pomimo tego, że emisja światła w tym urządzeniu była mniej intensywna niż w czapce z daszkiem.

Stwierdzono na tej podstawie, że ani tłumienie produkcji melatoniny, ani zmiany faz rytmów okołodobowych nie są funkcjami liniowymi intensywności światła nawet przy podobnych długościach fal [10].

Jedną z możliwych hipotez jest to, że światło o mniejszej jaskrawości wywołuje większe rozszerzenie źrenic, natomiast efektem ekspozycji na jasne światło jest zwężenie źrenic. Nie wyjaśnia to jednak, dlaczego światło o mniejszej intensywności ( $\lambda_{\max} = 500$  nm wieża świetlna, natężenie oświetlenia 350 lx) może być równie lub bardziej skuteczne w podnoszeniu poziomu czujności w porównaniu ze znacznie intensywniejszym światłem emitowanym przez diody LED zamontowanej w daszku czapki (505 nm, natężenie oświetlenia 8000 lx). Prawdopodobnym wytłumaczeniem może być subiektywnie odczuwany dyskomfort widzenia związany z ekspozycją na intensywne światło (czapki z daszkiem), wywołujący tendencje do zamykania oczu, unikanie patrzenia na światło i częstsze mrukanie powiekami, patrzenie w dół, poza źródło

światła. Negatywnym efektem ekspozycji na zbyt jaskrawe światło może być dyskomfort obserwowany po jej zakończeniu, polegający np. na problemach z widzeniem monitora czy czytaniem tekstu. Stąd uzasadniona sugestia, by w badaniach poziomu czujności po ekspozycji na światło o różnych charakterystykach oprócz zadań wzrokowych stosować zadania słuchowe.

## Wpływ światła na poziom czujności w zależności od wieku

Wraz z wiekiem postępuje proces starzenia się zmysłów człowieka, w tym narządu wzroku. Obniża się sprawność wykonywania zadań umysłowych i fizycznych. Nie są to zjawiska przebiegające równolegle, stąd różne osoby mogą być postrzegane przez otoczenie jako „młode” lub „stare” mimo takiego samego wieku metrykalnego. Całkiem odmienna może być subiektywna ocena „starości” przez osoby w tym samym wieku.

Uważa się, że ze względu na zmiany, jakie z wiekiem zachodzą w obrębie narządu wzroku człowieka ogromne znaczenie może mieć właściwy dobór oświetlenia na stanowiskach pracy osób starszych [15]. Światło sztuczne o odpowiednio dobranych parametrach może pomóc w uzyskaniu wyższego poziomu sprawności umysłowej, może korzystnie wpłynąć na poziom czujności i ograniczyć senność osób starszych, zwłaszcza źle śpiących nocą i pracujących z ograniczonym dostępem światła dziennego i w nocy [12, 16, 17].

W badaniach laboratoryjnych z udziałem młodych (ok. 23 lata) i starszych (ok. 65 lat) zdrowych mężczyzn oceniano skuteczność niebieskiego światła w poprawie czujności i nastroju oraz jego wpływ na przesunięcie fazowe zegara okołodobowego. Przypuszczano, że u osób starszych wiekiem jest ono mniejsze niż u młodych. W obu grupach oceniano wpływ światła niebieskiego o krótkiej długości fali ( $\lambda_{\max} = 456$  nm) i zielonego o średniej długości fali ( $\lambda_{\max} = 548$  nm) na poziom czujności i nastroju. Zastosowano 2-godzinną przerywaną ekspozycję na monochromatyczne światło, po kilku godzinach przebywania w pomieszczeniu o przyćmionym świetle, czyli po rozpoczęciu wydzielania melatoniny. Porównanie wyników poziomu subiektywnej czujności, senności oraz nastroju ocenianych przed, w trakcie i po ok. 5 godzinach od ekspozycji na światło pozwoliły wywnioskować, że po ekspozycji na niebieskie światło poziom subiektywnej czujności starszych mężczyzn jest istotnie niższy niż młodych. Ekspozycja na niebieskie światło powoduje znaczną poprawę subiektywnego nastroju w porównaniu z tym, jaki odczuwany jest przed zastosowaniem światła. Zwiększony poziom czujności może utrzymywać się jeszcze po 5 godzinach



Maciej Mytnik – Konkurs na plakat bezpieczeństwa pracy 2010. CIOP-PIB

od ekspozycji na światło. W obu grupach wieku, przyspieszenie fazowe rytmiki okołodobowej jest nieznacznie większe w reakcji na niebieskie światło niż w reakcji na światło zielone [12].

Wiele zespołów badawczych na podstawie zmian subiektywnie odczuwanego poziomu czujności oraz senność po ekspozycji na światło stwierdziło, że osoby młode cechuje większa wrażliwość na światło niebieskie niż starsze. U młodych ludzi subiektywnie oceniana poprawa czujności po ekspozycji na niebieskie światło obserwowana jest po upływie 15-30 minut [5,6,18,19] – chociaż, jak napisano wcześniej, już w kilka sekund po krótkotrwałej ekspozycji na światło niebieskie występują w mózgu zmiany wykrywane z użyciem fMRI [7].

Przykładowe wyniki badań dotyczących wykorzystania światła dla poprawy samopoczucia sprawności i poziomu czujności osób pracujących w nocy zestawiono w tabeli 2.

## Podsumowanie

Pozostaje mieć nadzieję, że w przyszłości uda się stworzyć tanie, wygodne do noszenia i energooszczędne urządzenie, dostosowane do indywidualnych potrzeb, lub inny sposób oświetlenia pomieszczeń światłem o określonej barwie i intensywności, które pozwoli zwiększyć jakość i wydajność pracy osób pracujących w nocy oraz osób wykonujących prace w dzień w pomieszczeniach bez dostępu światła naturalnego.

Skuteczność światła w podnoszeniu poziomu czujności musi iść w parze z zachowaniem bezpieczeństwa fotobiologicznego w odniesieniu do siatkówki ludzkiego oka. Nowe urządzenia oświetleniowe muszą spełniać warunki bezpiecznej ekspozycji człowieka zarówno na szerokie widmo, jak i na wąskie pasmo światła (zgodnie z American National Standards Institute and Illuminating Engineering Society of North America, 1996; Commission Internationale de l'Eclairage, 1998). Nie wystarczą tu wytyczne dotyczące fotopowych parametrów światła. Nowe wytyczne powinny powstać na bazie zrozumienia fizjologii okołodobowej fotorecepcji i jej specyficznej czułości widmowej. Muszą je uzupełniać informacje o wpływie światła na regulację rytmiki okołodobowej procesów fizjologicznych, modulację wydzielania melatoniny i jej konsekwencje zdrowotne. Osiągnięcie celu będzie możliwe dzięki współpracy naukowców z dziedziny chronofizjologii i fizjologii widzenia oraz producentów oświetlenia.

Dzięki takim rozwiązaniom możliwe będzie wypracowanie odpowiedniej charakterystyki widmowej światła sztucznego, która pozwoli pracownikom ze zmian nocnych (przede wszystkim, aczkolwiek odnosi się to również do obniżenia poziomu czujności w godzinach popołudniowych, tj. między 13 a 15) na utrzymanie odpowiedniego poziomu czujności w pracy i to niezależnie od wieku. A przez odpowiednią charakterystykę należy rozumieć taką, która sprawi, że ekspozycja na światło sztuczne nie będzie powodować negatywnych konsekwencji dla zdrowia człowieka.

## BIBLIOGRAFIA

- [1] Brainard G. C., Hanifin J. P. *Photons, clocks, and consciousness*. "Journal of Biological Rhythms" 2005,20,4:314-325
- [2] Herbert M.S.K., Lee M.C., Eastman C.I. *The effects of prior light history on the suppression melatonin by light in humans*. "J. Pineal Res." 2002, 33:198-203
- [3] 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" 2001,21:6405-6412
- [4] Vandeville G., Schwartz S., Gandjean D., Wuillaume C., Baiteau E., Degueldre C., Schabus M., Phillips C., Luxen A., Dijk D.J., Maguet P. *Spectra quality of light modulates emotional brain response in humans*. PNAS, 2010, 107,45:19549-19554. doi: 10.1073/pnas.1010180107/-/DCSupplemental.
- [5] Cajochen C., Munch M., Kobiaka S., Krauchi K., Steinem R., Oelhafen P., Borgul S., Wirz-Justice A. *High sensitivity of human melatonin alertness, thermoregulation and heart rate to short wavelength light*. "J. Clin. Endocrinol. Metab." 2005,90:1311-1316
- [6] 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" 2006,29:161-168
- [7] Vandewalle G., Schmidt C., Alboury G., Sterpenich V., Darsaud A., Rauchs G., Berken P.Y., Baiteau E., Degueldre C., Luxen A. *Brain responses to violet, blue and green*

*monochromatic light exposure in humans: Prominent role of blue light and the brainstem*. "PLOS ONE" 2007,2:e1247

- [8] Provencio I., Rodriguez IR, Jiang G., Hayes WP, Moreira EF, Rollag M. *A novel human opsin in the inner retina*. "J. Neuroscience" 2000,20: 600-605
- [9] Provencio I., Rollag M.D., Castrucci A.M. *Photoreceptive net in the mammalian retina*. "Nature" 2002,415:493
- [10] Paul M.P., Miller J.C., Gray G., Buick F., Blazeski S. & Arendt J. *Circadian phase delay induced by phototherapeutic devices*. "Aviat. Space Environ. Med." 2007,78(7):645-652
- [11] Ruger M., Gordijn M.C.M., Beersma D.G.M., de Vries B., Daan S. *Time of day-dependent effects of bright light exposure on human psychophysiology: comparison of daytime and nighttime exposure*. "Am. J. Physiol. Regul. Integr. Comp. Physiol." 2006,290:R1413-R1420. DOI:10.1152/ajpregu.00121.2005
- [12] Sletten T. L., Revell V.L., Middleton B., Lederle K. A., Skene D.J. *Age-Related Changes in Acute and Phase-Advancing Responses to Monochromatic Light*. "Journal of Biological Rhythms" 2009,24(1):73-84
- [13] 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,Vol. 2 (4): 351-356
- [14] Alpert M., Carome E., Kubulins V., Hansler R. (2009). *Nighttime use of special spectacles or light bulbs that block blue light may reduce the risk of cancer: Medical Hypotheses*. 73:324 – 325 Wright H.R., Lack L.C. *Effect of light wavelength on suppression and phase delay of the melatonin rhythm*. "Chronobiol. Int". 2001,18: 801-808
- [15] Ilmarinen J. *Ageing workers in the European Union*. Helsinki 1999
- [16] Lack, L.C., Bramwell, T., Wright, H.R., Kemp, K.L. *Morning blue light can advance the melatonin rhythm in mild delayed sleep phase syndrome*. "Sleep and Biological Rhythms" 2007, 5 (1): 78-80
- [17] Viola A.U., James L.M., Schlangen L.I., Dijk D.J. *Blue-enriched white light in the workplace improves self-reported alertness, performance and sleep quality*. "Scan. J. Work Environ. Health" 2008,34:297-306
- [18] Revell V.L., Skene D.J. *Light-induced melatonin suppression in humans with polychromatic and monochromatic light*. "Chronobiol. Int". 2007, 24:1125-1137
- [19] Revell V.L. & Eastman Ch. I. *How to trick mother nature into letting you fly around or stay up all night* "Journal of Biological Rhythms" 2005,20 (4): 353-365
- [20] Wright H.R., Lack L.C. *Effect of light wavelength on suppression and phase delay of the melatonin rhythm*. "Chronobiol. Int." 2001,18:801-808
- [21] Wright H.R., Lack L.C., Kennaway D.J. *Differential effects of light wavelength in phase advancing the melatonin rhythm*. "J. Pineal Res." 2004,36:1-5
- [22] Thapan K.J., Arendt J., Skene D.J. *An action spectrum for melatonin suppression: evidence for a novel non-rod, non-cone photo receptor system in humans*. "J. Physiol." (Lond) 2001,535:261-267
- [23] Roberts J.E. *Update on the positive effects of light in humans*. "Photochemistry and Photobiology" 2005,81:490-492
- [24] Kakooei H., Ardakani Z.Z., Ayattollahi M.T. *The Effect of Bright Light on Physiological Circadian Rhythms and Subjective Alertness of Shift Work Nurses in Iran*. "JOSE" 2010,16 (4): 477-485

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