

## Oświetlenie skuteczne biologicznie na stanowiskach pracy zmianowej

**Streszczenie.** Potencjalne ryzyko dla zdrowia rotacyjnego pracownika zmianowego można przypisać do dwóch głównych kategorii: związanej z zaburzeniami cyklu okołodobowego skutkującego nieregularnym cyklem snu i czuwania i związanej z ostrym hamowaniem wydzielania melatoniny po ekspozycji na światło niebieskie. Innym istotnym czynnikiem ryzyka pracowników zmianowych jest występujące u nich nadmierne zmęczenie i bezsenność, które w efekcie mogą prowadzić do ograniczenia wydajności pracy, popełniania błędów i wypadków przy pracy. Celem niniejszego artykułu jest przedstawienie aktualnej wiedzy dotyczącej zastosowania pozawzrokowego oddziaływania światła na organizm człowieka do celów projektowania oświetlenia skutecznego biologicznie na stanowiskach pracy zmianowe.

**Abstract.** Potential health risk for health of rotating shift worker could be related to two main categories: circadian rhythm disturbances, which affect irregular sleep-wake rhythm and acute melatonin suppression after exposure to blue light. The important risk factors of shift worker are: excessive fatigue and insomnia, which could lead to limited work performance, errors and occupational accidents. The aim of this article is to present the up-to-date knowledge concerning USAGE THE non-visual light effects on human body for designing the biologically effective lighting on shift workstations (**Biologically effective lighting on shift workstations**).

**Słowa kluczowe:** praca zmianowa, rytm okołodobowy, fotodetekcja wzrokowa, bodziec cyrkadialny

**Keywords:** shift work, circadian rhythm, visual photodetection, circadian stimulus,

### Wstęp

Pomimo dynamicznego rozwoju nowoczesnych technologii i zastępowania na wielu stanowiskach pracy człowieka przez roboty, wciąż znaczny odsetek pracowników zatrudnionych jest w trybie zmianowym. Zgodnie z badaniami przeprowadzonymi w Ameryce Północnej i Europie opublikowanymi w 2012 r. od 15% do 30% populacji pracowników zatrudnionych jest w systemie zmianowym, a 19% populacji Europejskiej deklarowało pracę nocną przez co najmniej 2 godziny między 22:00 a 5:00 [1-3].

W 2007 r. Międzynarodowa Agencja Badań nad Rakiem ( IARC ) ogłosiła, że praca zmianowa z udziałem zaburzeń rytmu okołodobowego jest prawdopodobnym czynnikiem kancerogennym. Dotychczas zgromadzone dane z badań epidemiologicznych z udziałem ludzi sugerują prawdopodobne powiązanie między pracą w systemie zmianowym przez 20-30 lat, a wzrostem ryzyka zachorowania na raka, w szczególności raka piersi i prostaty [4-6].

Potencjalne ryzyko dla zdrowia rotacyjnego pracownika zmianowego można rozpatrywać w dwóch głównych kategoriach: związanej z zaburzeniami cyklu okołodobowego skutkującego nieregularnym cyklem snu i czuwania i związanej z ostrym hamowaniem wydzielania melatoniny po ekspozycji na światło niebieskie. Badania na zwierzętach wykazały, że melatonina ogrywa antykancerogenną rolę w organizmie, powodując ograniczenie wzrostu nowotworów. Wynika to z faktu, że melatonina neutralizuje wolne rodniki i chroni DNA przed uszkodzeniami mogącymi skutkować nowotworem [7, 8]. Poza tym ma zdolność do hamowania namnażania się komórek nowotworowych, przyspieszania apoptozy (wymierania) komórek rakowych, zapobiega również przerzutom oraz bierze udział w różnicowaniu komórek rakowych (przekształcaniu w inne, mniej zdolne do podziałów) [9]. Wobec powyższego jest pomocna w profilaktyce i leczeniu nowotworów hormonozależnych (raka piersi zależnego od estrogenu i raka prostaty zależnego od testosteronu) [10].

Innym istotnym czynnikiem ryzyka pracowników zmianowych jest występujące u nich nadmierne zmęczenie i bezsenność, które w efekcie mogą prowadzić do

ograniczenia wydajności pracy, popełniania błędów i wypadków przy pracy [11].

Uwzględniając przedstawione powyżej ryzyko dla zdrowia pracowników zmianowych i dotychczasową wiedzę dotyczącą oddziaływania na organizm człowieka światła o różnej barwie (rozkładzie widmowym światła), intensywności (poziomie natężenia oświetlenia przy rogówce oka) oraz chronometrażu i czasie trwania ekspozycji na określone światło formułuje się nowe zasady projektowania oświetlenia skutecznego biologicznie, które jednocześnie uwzględnią tzw. bodziec cyrkadialny (ang. circadian stimulus). Dotyczy to zarówno oświetlenia w porze dziennej jak i nocnej.

Celem niniejszego artykułu jest przedstawienie aktualnej wiedzy dotyczącej zastosowania wiedzy o pozawzrokowym oddziaływaniu światła na organizm człowieka do celów projektowania oświetlenia skutecznego biologicznie na stanowiskach pracy zmianowej.

### Rytm biologiczne

Rytm biologiczny jest to okresowe natężenie procesów biologicznych i funkcji życiowych istot żywych uzależnione od czynników zewnętrznych (np. związanych z porą roku, obrotem Ziemi dookoła własnej osi) oraz od czynników wewnętrznych [12]. Innymi słowy rytm biologiczny charakteryzuje się cyklicznymi zmianami procesów fizjologicznych w czasie. Nauka zajmująca się rytmiką procesów biologicznych nazywa się chronobiologią. Rytm biologiczne dzieli się na:

- egzogenne (zewnętrzne) - sterowane przez cyklicznie zmieniające się czynniki zewnętrzne (synchronizatory) takie jak np. zmiany oświetlenia, wilgotności czy temperatury zewnętrznej; zanikają po wyeliminowaniu synchronizatora;
- endogenne (wewnętrzne) – sterowane wewnętrznym „zegarem biologicznym”, wywołane działaniem bodźców samego organizmu jak np. rytm pracy serca, cykl miesięczkowy.

Reasumując, rytmy organizmu są rezultatem oddziaływania przyczyn wewnętrznych i zewnętrznych.

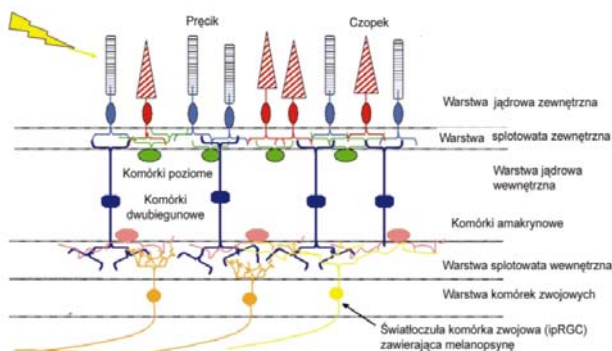
U człowieka można wyróżnić szereg rodzajów rytmów biologicznych jak np.: okołodobowy (cyrkadialny), okołomiesięczny, sezonowy, roczny, wieloletni. W przypadku oświetlenia skutecznego biologicznie główną

rolę ogrywa rytm okołodobowy. Jest rytmem endogennym i wytworzył wiele stałych mechanizmów fizjologicznych (np. senność pojawiająca się po zmroku czy budzenie się ze snu po wschodzie słońca) a jego okres trwa tyle czasu, ile zajmuje Ziemi obrót wokół własnej osi, czyli około 24 godziny (doba słoneczna). Rytm ten jest zsynchronizowany ze zmianami czynników zewnętrznych. Do podstawowych synchronizatorów cyklu okołodobowego należą: jasność-ciemność (dzień – noc), karmienie-głodzenie, dobowe wahania temperatury zewnętrznej, aktywność fizyczna i kontakty społeczne. Jego cechą charakterystyczną jest to, że nie zanika po odizolowaniu człowieka od cyklicznych zmian synchronizatora, ale jego pewne właściwości jak: okres, amplituda i faza rytmu mogą ulegać wtedy zmianie. Jednak należy podkreślić, że najważniejszym synchronizatorem funkcji fizjologicznych człowieka związanych z rytmem okołodobowym jest światło słoneczne, które steruje rytmem snu i czuwania. System cyrkadialny steruje dziennymi zmianami wydolności, zachowania, funkcjami wewnątrzwydzielniczymi i porą snu. Ekspozycja siatkówki oka na światło determinuje fazę rytmu okołodobowego. Przykładowo, ekspozycja na światło wczesnym wieczorem i w pierwszej połowie nocy opóźnia fazę rytmu, podczas gdy ekspozycja na światło w późniejszej części nocy i w godzinach porannych powoduje przyspieszenie pory stymulacji [13].

### Zawiadywanie rytmem okołodobowym – fotodetekcja pozawzrokowa

Mechanizmy zawiadujące rytmem okołodobowym zostały w pełni wyjaśnione dopiero na przełomie XX i XXI wieku, kiedy stwierdzono, że fotony światła są wychwytywane przez nowo odkryty barwnik wzrokowy z rodziny opsyn – melanopsynę, który znajduje się w części komórek zwojowych na siatkówce oka. Ten nowy fotoreceptor nazwano samoistnie światłoczułą komórką zwojową siatkówki, a w literaturze okreśłano go przez akronim ipRGC (od nazwy angielskiej: Intrinsically photosensitive Retinal Ganglion Cell) [14-17]. Receptory ipRGCs rejestrują zachodzące w czasie zmiany barwy i natężenia światła docierającego do siatkówki i odgrywają kluczową rolę w hamowaniu syntezy melatoniny, regulacji okołodobowego rytmu aktywności ruchowej i zwięźaniu żrenicy [18 -20].

Zatem na siatkówce oka występują dwa anatomicznie i funkcjonalnie odmienne szlaki odbioru światła: fotodetekcja wzrokowa (oparta na detekcji pręcików i czopków) i fotodetekcja pozawzrokowa (oparta na detekcji samoistnie światłoczułych komórek zwojowych siatkówki) [18]. Prezentacja graficzna położenia fotoreceptorów na siatkówce oka przedstawiona jest na rys. 1.



Rys. 1. Schemat budowy siatkówki z zaznaczeniem położenia fotoreceptorów, na podstawie [18]

Fotoreceptory ipRGCs przekazują informacje do mózgu, w szczególności do [18]:

- jąder nadskrzyżowaniowych przedniej części podwzgórza (ang. suprachiasmatic nuclei, akronim : SCN), które uważa się za miejsce głównego zegara biologicznego,
- kompleksu ciała kolankowatego bocznego, które uczestniczy w modulacji rytmów okołodobowych,
- przedpokrywowego jądra oliwki – odpowiedzialnego za odruch zwięźania żrenicy.

Podstawowe różnice między receptorami fotodetekcji wzrokowej i pozawzrokowej zestawiono w tabeli 1.

Tabela 1. Podstawowe różnice między receptorami fotodetekcji wzrokowej i pozawzrokowej [na podstawie [18]]

cecha	pręciki i czopki	ipRGCs
Liczba receptorów w dojrzałej siatkówce	ok. 106 mln	ok. 3 tys.
Pojedyncze pole recepcyjne	Małe: ok 1 $\mu\text{m}^2$	Rozległe: ok 500 $\mu\text{m}^2$
Barwnik	Pręciki: rodopsyna Czopki: opsyny czopkowe	Melanopsyna
Odpowiedź na światło	Szybka	Wolna

Chronobiologiczny sygnał z SCN przesyłany jest szlakiem wieloneuronalnym do szyszynki, w której wydzielana jest melatonina. Im więcej światła dociera do siatkówki, tym w większym stopniu hamowana jest synteza melatoniny co powoduje spadek zawartości melatoniny w krwiobiegu. Dla organizmu jest to informacja, że jest to pora dzienna. Natomiast w przypadku braku lub małej ilości światła docierającego do siatkówki następuje wzrost syntezy melatoniny. Dla organizmu jest to informacja o przeżywaniu procesów przypadających na porę nocną, jak np. sen czy obniżenie temperatury głębokiej ciała i spowolnienie rytmu serca [21]. Dowodzi to, że rytmy w organizmie człowieka takie jak cykl snu i czuwania, dzienne zmiany koncentracji, wydajności i nastroju są uzależnione od określonych warunków świetlnych [22 - 26].

### Praca zmianowa i skutki zaburzeń rytmu okołodobowego

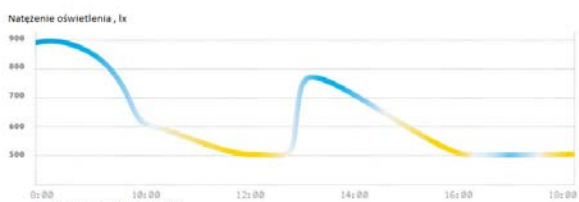
Z powyższych rozważań wynika, że zegar biologiczny umożliwia dostosowanie procesów życiowych organizmu do cyklicznie zmieniających się pór doby. Również zdolność człowieka do pracy podlega wahaniom okołodobowym sterowanym przez zegar biologiczny. Z rytmów biologicznych wynika, że praca powinna być wykonywana w porze dziennej, a wypoczynek i sen w porze nocnej. Zamiana pór czuwania i snu przez człowieka może zatem wpływać negatywnie na zdrowie człowieka. Taki przypadek występuje w przypadku wykonywania przez człowieka pracy w porze nocnej, co jest nieodłącznym elementem pracy zmianowej. Termin „praca zmianowa” odnosi się do jakiegokolwiek metody organizacji pracy w systemie zmianowym, kiedy to pracownicy zastępują siebie nawzajem na tych samych stanowiskach pracy według pewnego grafiku, łącznie z wzorem rotacyjnym. Praca zmianowa może być ciągła lub nie, wykonywana o różnych porach doby, przez pewną liczbę dni w tygodniu [27]. W przemyśle czy w służbach publicznych (policja, straż pożarna, opieka zdrowotna itp.) istnieje wiele regulacji pracy zmianowej. Różnią się one sposobem rotacji zmian i czasem ich trwania. Wyróżnia się m.in. 8 godzinne zmiany: ranne, popołudniowe i nocne lub 12 godzinne zmiany: dzienne i nocne. W odniesieniu do rytmu okołodobowego

na szczególną uwagę zasługuje zmiana nocna. Zgodnie z Kodeksem pracy (rozdział VI, art. 1517, § 1,2,3) praca nocna obejmuje 8 godzin między godzinami 21:00 a 7:00. Jeśli natomiast rozkład czasu pracownika obejmuje w każdej dobie co najmniej 3 godziny pracy w porze nocnej lub, którego co najmniej ¼ czasu pracy w okresie rozliczeniowym przypada na porę nocną, jest uznawany za pracującego w nocy. Jednak czas pracy w nocy nie może przekraczać 8 godzin na dobę, jeśli wykonuje prace szczególnie niebezpieczne albo związane z dużym wysiłkiem fizycznym lub umysłowym [28].

Jednak taka regulacja prawna nie zapobiega negatywnym efektom pracy nocnej. Odwrócenie porządku rytmu okołodobowego jest przyczyną występowania objawów określanych jako zespół długu czasowego (ang. jet lag), który objawia się: rozdrażnieniem, zaburzeniami snu, obniżeniem siły mięśniowej, zaburzeniami perystaltyki jelitowej, zaburzeniami poczucia odległości i upływu czasu, pogorszeniem koordynacji wzrokowo-ruchowej [27]. Jednak jego objawy szybko mijają, gdy nie jest to powtarzane w sposób cykliczny. Natomiast w przypadku wieloletniej pracy w systemie zmianowym ze zmianą nocną mogą one przybierać charakter przewlekły i w konsekwencji prowadzić do zaburzeń snu, schorzeń układu pokarmowego i sercowo-naczyniowego, chronicznego zmęczenia i zaburzeń psychoneurotycznych [29-38]. Ponadto przewlekła praca w porze nocnej łączy się z występowaniem chorób nowotworowych [4, 39] i problemów związanych z prokreacją [40].

### Oświetlenie skuteczne biologicznie

Aktualny stan wiedzy o znaczącym wpływie światła o określonym rozkładzie widmowym na procesy fizjologiczne w organizmie człowieka jak np. cykl snu i czuwania, czy poziom czujności, powoduje że oświetlenie można wykorzystywać do projektowania oświetlenia skutecznego biologicznie [21]. W historycznym ujęciu pierwsze próby stosowania oświetlenia skutecznego biologicznie rozpoczęły się na początku lat 2000. Wprowadzono wówczas pojęcie oświetlenia dynamicznego, które charakteryzowało się płynnymi zmianami barwy światła i natężenia oświetlenia w czasie godzin pracy w porze dziennej. Oświetlenie to z założenia ma naśladować rytm zmian światła dziennego w ciągu dnia czyli zgodnie z rytmem okołodobowym człowieka. Przykład przyjętego przy projektowaniu oświetlenia dynamicznego rytmu zmian barwy i natężenia oświetlenia światła przedstawiono na rys. 2.

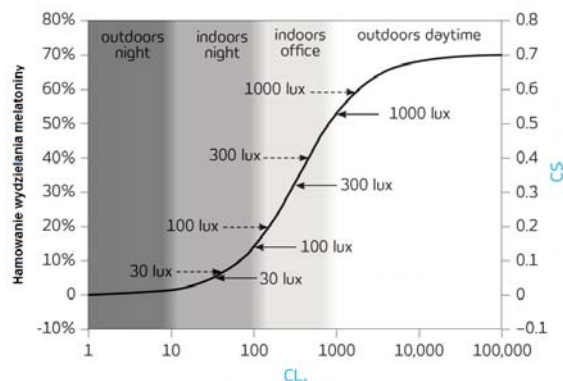


Rys. 2. Rytm zmian barwy światła i natężenia oświetlenia naśladowujący naturalny rytm zmian światła dziennego (opracowano na podst. [41])

Jednak szereg nowych wyników badań poświęconych negatywnemu i pozytywnemu wpływowi oświetlenia na rytm okołodobowy dało podstawy do nowego podejścia w projektowaniu oświetlenia dedykowanego systemowi cyrkadialnemu człowieka. To nowe podejście do projektowania oświetlenia opracowane zostało przez zespół naukowców z Lighting Research Center, Rensselaer Polytechnic Institute w Nowym Jorku (USA). Opiera się ono

na wynikach badań kilku gałęzi biofizyki, w tym dotyczącej neurofizjologii siatkówki, zostało zwalidowane w kilku badaniach eksperymentalnych w kontrolowanych warunkach i zostało z sukcesem zastosowane w kilku rzeczywistych obiektach. Wprowadzono dwie nowe miary oświetlenia – światło cyrkadialne (ang. circadian light), któremu nadano symbol  $CL_A$  oraz bodziec cyrkadialny (ang. circadian stimulus), któremu nadano symbol CS. Światło cyrkadialne  $CL_A$  opisywane jest złożonym wzorem matematycznym, który definiuje czułość systemu cyrkadialnego (okołodobowego) człowieka. Uwzględnia on następujące parametry: rozkład widmowy natężenia napromienienia (przy rogówce oka), czułość widmową czopków niebieskich, czułość widmową melanopsyny, fotopową oraz skotopową krzywą czułości oka ludzkiego, transmitancję widmową barwnika płamki żółtej i wybarwienie pręcików. [42]. W prostszym ujęciu  $CL_A$  jest to natężenie napromienienia przy rogówce oka ważone z uwzględnieniem czułości widmowej systemu cyrkadialnego człowieka określanego jako ostre hamowanie wydzielania melatoniny po godzinie ekspozycji [43]. Dzięki temu powstał nowy rozkład widmowej skuteczności świetlnej systemu cyrkadialnego. Opracowany model do wyznaczania ww. skuteczności świetlnej zmienia się wraz z poziomem wybarwienia pręcików: wyższe poziomy światła – pręciki bardziej wybarwione, co w rezultacie zmienia rozkład widmowej skuteczności świetlnej. Natomiast bodziec cyrkadialny CS wyznaczany jest matematycznie z uwzględnieniem  $CL_A$  i jest proporcjonalny do nocnego hamowania wydzielania melatoniny. Inaczej mówiąc CS jest skutecznością ważonego widmowo natężenia napromienienia przy rogówce oka z przedziału 0,1 do 0,7.

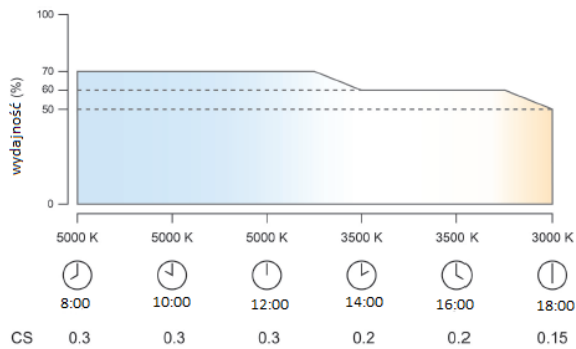
Obie nowe miary oświetlenia posłużyły do wyznaczenia bezwzględnej czułości systemu cyrkadialnego człowieka w oparciu o nocne hamowanie wydzielania melatoniny, co przedstawiono na rysunku 3. Można zauważyć, że wraz ze wzrostem wartości światła cyrkadialnego ( $CL_A > 10$ ) wzrasta wartość bodźca cyrkadialnego CS, którego wartość maksymalna wynosi 0,7 (przy  $CL_A > 10\ 000$  wartość CS wchodzi w nasycenie – stała wartość). Wysokie wartości  $CL_A$  odpowiadają oświetleniu dziennemu na zewnątrz, natomiast niskie wartości – oświetleniu sztucznemu (przy ok. 30 lx).



Rys. 3. Graficzna prezentacja modelu bezwzględnej czułości systemu cyrkadialnego (na podstawie [37, 44])

Oświetlenie dedykowane systemowi cyrkadialnemu to nie tylko rozkład widmowy światła o określonych wartościach nowych miar, ale również chronometraż ekspozycji (czas załączenia światła o określonej barwie i poziomie), czas trwania ekspozycji, a także wcześniejsza ekspozycja na światło (tzw. historia świetlna) [43]. W celu ułatwienia zrozumienia jak można zapewnić oświetlenie skuteczne biologicznie niepowodujące zaburzeń rytmu

okołodobowego autorzy nowych miar opracowali przykład zmian barwy i poziomu światła dla okresu między 8 a 18 [43, 45]. W godzinach rannych od 8 do 12 wyraźnie dominująca jest składowa niebieska w widmie światła, a zalecana temperatura barwowa wynosi 5000 K, następnie między 12 a 14 stopniowo barwa światła staje się coraz cieplejsza i ok. godz. 14 osiąga wartość 3500 K, która utrzymywana jest do ok. 16, a później znowu spada do 3000 K ok. godz. 18. Natomiast poziom oświetlenia obniżany jest o ok. 10% między godziną 13 a 14, a następnie między 17 a 18. Wartość CS zawiera się wówczas w przedziale 0,3 – 0,15.



Rys. 4. Przykład zalecanych zmian barwy światła i poziomu oświetlenia w oświetleniu skutecznym biologicznie z uwzględnieniem bodźca cyrkadialnego (na podst. [43])

Jak łatwo zauważyć na rysunkach 2 i 4, przykłady stosowania odpowiednich parametrów świetlnych obejmują zakres godzinowy dotyczący zmiany rannej i częściowo popołudniowej – do godziny 18. Problem właściwego oświetlenia na zmianie nocnej, aby z jednej strony zapewnić właściwe warunki pracy wzrokowej i odpowiedni poziom czujności (ze względu na bezpieczeństwo przy pracy jak i wydajność pracy), a jednocześnie nie zaburzać cyklu okołodobowego jest złożony. Z jednej strony światło w nocy powoduje ostry skutek podwyższania czujności, obniża senność i poprawia wydolność. Jednocześnie światło w nocy może powodować hamowanie wydzielania melatoniny i wywoływać zaburzenia rytmu okołodobowego, co w sumie prowadzi do wzrostu zagrożenia dla zdrowia.

Szereg badań eksperymentalnych wykazało, że ekspozycja zarówno na światło niebieskie jak i czerwone podnosi poziom czujności [46-49]. Przy czym przy ekspozycji na światło czerwone nie występuje hamowanie wydzielania melatoniny, tak jak ma to miejsce dla światła niebieskiego. Fakt ten wskazał na szansę zastosowania światła czerwonego do podnoszenia poziomu czujności w nocy bez efektu hamowania wydzielania melatoniny. Wykazano, że ekspozycja na światło czerwone w czasie nocnej zmiany może podnosić nie tylko poziom czujności, ale również wydolność pracowników [49]. Jednak stosowanie wyłącznie światła czerwonego do ekspozycji oczu i jednocześnie oświetlenia miejsca pracy jest w większości miejsc pracy zmianowej niemożliwe. O ile może być stosowane w niektórych pomieszczeniach w szpitalach, gdzie przebywa personel medyczny podczas zmiany nocnej, to tam, gdzie konieczny jest ciągły monitoring medyczny lub ostry dyżur, nie jest już to możliwe, gdyż światło białe musi być tam załączone do prawidłowego rozpoznawania szczegółów i barwy.

W badaniach eksperymentalnych stosowano przezroczyste okulary ochronne z zainstalowanymi czerwonymi diodami LED pokrytymi powierzchnią rozpraszającą światło na górnej części oprawki powyżej oczu tak, aby poziom natężenia oświetlenia przy rogówce

oka wynosił ok. 200 lx, i taki poziom był wystarczający do osiągnięcia podwyższonej czujności jak i wydolności [49]. Czy takie rozwiązanie mogłoby być stosowane w praktyce, jeszcze nie wiadomo, gdyż istotny jest odpowiedni chronometr ekspozycji (momenty czasowe w czasie zmiany roboczej) i ich czas trwania, które mogą zależeć od szeregu czynników osobniczych jak wiek, czy chronotyp.

## Podsumowanie

W artykule przedstawiono podstawowe informacje dotyczące cech charakterystycznych i rodzajów rytmów biologicznych człowieka, ze szczególnym uwzględnieniem rytmu okołodobowego (cyrkadialnego). Podkreślono istotną rolę światła jako synchronizatora tych rytmów oraz opisano mechanizm fotodetekcji pozawzrokowej, która zawiaduje rytmem okołodobowym. Przedstawione przykłady zaleceń zmian barwy światła i poziomu oświetlenia są kompromisem pozwalającym zapewnić odpowiedni poziom czujności i jednocześnie minimalizować negatywne skutki ograniczenia wydzielania melatoniny.

Rola melatoniny w organizmie człowieka oraz występujące skutki zdrowotne zaburzeń rytmu okołodobowego związanego z pracą zmianową wskazują na potrzebę prowadzenia dalszych prac dotyczących projektowania oświetlenia skutecznego biologicznie. Jakkolwiek szereg takich prac zostało przeprowadzonych i opracowano nowe podejście do projektowania oświetlenia z uwzględnieniem bodźca cyrkadialnego, to w zakresie oświetlania stanowisk pracy zmianowej podczas zmiany nocnej, nadal nie ma jednoznacznej odpowiedzi jak je oświetlać, aby nie zaburzać cyklu okołodobowego i jednocześnie zapewnić odpowiednie warunki pracy wzrokowej. Wskazanie ekspozycji na barwę czerwoną jako podnoszącej czujność i wydolność psychomotoryczną w czasie nocy jest bardzo istotne, ale nie jest możliwe całkowite wykluczenie światła białego, które nawet przy ciepłej barwie światła (ok 2600 K), powoduje hamowanie wydzielania melatoniny [49]

*Publikacja opracowana na podstawie wyników IV etapu programu wieloletniego pn. „Poprawa bezpieczeństwa i warunków pracy”, finansowanego w latach 2017-2019 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.*

**Autor:** dr hab. inż. Agnieszka Wolska prof. CIOP-PIB, Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy (CIOP-PIB), Zakład Techniki Bezpieczeństwa, Pracownia Promieniowania Optycznego ul. Czerniakowska 16, 00-701 Warszawa, e-mail: agwol@ciop.pl

## LITERATURA

- [1] Alterman T, Luckhaupt SE, Dahlhamer JM, Ward BW, Calvert GM, Prevalence rates of work organization characteristics among workers in the US. Data from the 2010 National Health Interview Survey. *Am J Ind Med* (2012).
- [2] Eurofound, Fifth European Working Conditions Survey. (2012) Luxembourg
- [3] Boudreau P., Dumont GA, Boivin D. Circadian adaptation to night shift work influences sleep, performance, mood and the autonomic modulation of the heart. *PLoS ONE*, 8(7) e70813 (2013), DOI: 10.1371/journal.pone.0070813.
- [4] Figueiro MG, Hunter CM, Understanding rotating shift workers' health risks. (2016). <https://oshonline.com/Articles/2016/11/01/Understanding->
- [5] Kelleher FC, Rao A, Maguire A. Circadian molecular clocks and cancer. *Cancer Lett* (2014), 342, 9-18.
- [6] 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.

- [7] Cipolla-Neto, J., Amaral, F.G., Afeche, S.C., Tan, D.X., Reiter, R.J. Melatonin, energy metabolism, and obesity: a review. *Journal of Pineal Research*, (2014) 56(4), 371-381.
- [8] Reiter R.J., Tan D.X., Fuentes-Broto L. Melatonin: a multitasking molecule. *Progress in Brain Research*, (2010). 181, 127-151.
- [9] Srinivasan, V., Maestroni, G.J., Cardinali, D.P., Esquifino, A.I., Pandi-Perumal, S.R., Miller, S.C. Melatonin, immune function and aging. *Immunity & Ageing*, (2005). 2(17).
- [10] Karasek, M. Znaczenie kliniczne melatoniny *Postępy Nauk Medycznych*, (2007). 10, 395-398.
- [11] Richter K., Acker J., Adam S., Niklewski G. Prevention of fatigue and insomnia in shift workers- a review of non-pharmacological measures. *EPMA J* (2016) 7(16), DOI: 10.1186/s13167-016-0064-4.
- [12] Słownik Języka Polskiego, (2006) Warszawa, Wydawnictwo Naukowe PWN.
- [13] Khalsa SB, Jewett ME, Cajochen C, Czeisler CA, A phase response curve to single bright light pulses in human subjects *J Physiol*. (2003) 15;549(Pt 3), 945-952.
- [14] Brainard G.C., Hanifin J.P., Photons, clocks, and consciousness. *J. Biol. Rhythms*. 20 (2005), n. 4, 314-25. DOI: 10.1177/0748730405278951
- [15] 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*. 23 (2008) n. 5, 379-86. DOI: 10.1177/0748730408323089.
- [16] Pickard G.E., Sollars P.J., Intrinsically Photosensitive Retinal Ganglion Cells. In: *Nilius B. et al (editors) Reviews of Physiology, Biochemistry and Pharmacology part 162*. Springer 2012.
- [17] 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* 21 (2001), 6405-6412.
- [18] Zawilska J., Czarnecka K, Melanopsyna - nowo odkryty chronobiologiczny receptor światła, *Postępy Biologii Komórkowej*, (2006), 33, n. 2, 229-246.
- [19] Berson DM. Strange vision: ganglion cells as circadian photoreceptors. *Trends Neurosci* (2003); 26, 314-320
- [20] Berson DM, Dunn FA, Takao M. Phototransduction by retinal ganglion cells that set the circadian clock. *Science* (2002); 295:1070-1073.
- [21] Wolska A. Zużewicz K., Barwa światła a poziom czujności człowieka, *Przegląd Elektrotechniczny*, 91 (2015), n. 7, 77-80. DOI:10.15199/48.2015.07.23
- [22] Figueiro MG, Bullough JD, Bierman A, Fay CR, Rea MS. On light as alerting stimulus at night. *Acta Neurobiol Exp* (2007), 67, 171-178.
- [23] Figueiro MG, Bierman A., Plitnick B., Rea MS. Preliminary evidence that both blue and red light can induce alertness at night. *BMC Neuroscience* 10 (2009). 10:105. DOI: 10.1186/1471-2202-10-105.
- [24] Figueiro MG, Steverson B, Heerwagen J., Kampschroer K., Hunter CM, Gonzales K. Plitnick B., Rea MS, The impact of daytime light exposure on sleep and mood in office workers. *Sleep Health* (2017), 3, 204-215
- [25] Boivin DB, James FO. Light treatment and circadian adaptation to shift work. *Industrial Health*, (2005), 43, 34-48.
- [26] Bonmati-Carrion MA, Arguelles -Prieto R., Martinez-Madrid MJ, Reiter R, Hardeland R, Rol MA, Madrid JA. Protecting the melatonin rhythm through circadian healthy light exposure. *Int J Mol Sci* (2014), 15, 23448-23500.
- [27] Zużewicz K. Biologiczne skutki pracy zmianowej, <http://www.ciop.pl/>
- [28] Kodeks pracy
- [29] Thorpy M. Understanding and diagnosing shift work disorder. *Postgrad Med* (2011), 123(5), 96-105.
- [30] Koller M, Health risks related to shift work. An example of time-contingent effects of long-term stress. *Int Arch Occup Environ Health*, (1983), 53, 59-75.
- [31] Knutss A. Hallquist J, Reuterwall C, Theorell T, Akerstedt T. Shiftwork and myocardial infarction: a case-control study. *Occup Environ Med*, (1999) 56, 46-50.
- [32] Nagaya T, Yoshida H, Takahashi H, Kawai M, Markers of insulin resistance in day and shift workers aged 30-59 years. *Int Arch Occup Environ Health* (2002) 75, 562-568.
- [33] Romon M, Nuttens MC, Fievet C, Pot P, Bard JM, Furon D, Fruchart JC, Increased triglyceride levels in shift workers. *Am J Med*, (1992), 93, 259-261
- [34] Roodbandi AJ, Choobineh A, Daneshvar S. Relationship between circadian rhythm amplitude and stability with sleep quality and sleepiness among shift nurses and health care workers. *JOSE* (2015), 12(3), 312-317.
- [35] Gumenyuk V, Roth T, Drake CL. Circadian phase, sleepiness, and light exposure assessment in night workers with and without shift work disorder, *Chronobiol Int*, (2012), 29(7), 928-936.
- [36] Rea MS, Bierman A, Figueiro MG, Bullough JD. A new approach to understanding the impact of circadian disruption on human health, *Journal of Circadian Rhythms* (2008), 6(7), 1-14.
- [37] Figueiro MG Disruption of circadian rhythms by light during day and night, *Curr Sleep Medicine Rep.*, (2017) Springer International Publishing AG.
- [38] Zużewicz K, Zużewicz M.A. Chronobiologiczne aspekty ryzyka zawodowego u pracowników zmianowych nocnych. *Bezpieczeństwo Pracy*, (2016) 4, 12-17.
- [39] Hansen J. Increased breast cancer risk among women who work predominantly at night. *Epidemiology* (2001), 12, 74-77.
- [40] Nurminen T, Shift work and reproductive health. *Scand J Work Environ Health*, (1998), 24, 28-34
- [41] Justen H., Dynamic Lighting and human performance. Philips Lighting, [https://static.aminer.org/pdf/PDF/000/240/462/effects\\_of\\_lighting\\_on\\_human\\_performance\\_in\\_training.pdf](https://static.aminer.org/pdf/PDF/000/240/462/effects_of_lighting_on_human_performance_in_training.pdf)
- [42] Rea M., Figueiro M, Light as a Circadian Stimulus for Architectural Lighting, *Lighting Research & Technology*, (2016).1-14.
- [43] Figueiro MG, Gonzales K, Pedler D. Designing with circadian stimulus, *LD+A*, (2016) October, 30-34.
- [44] Figueiro MG, Rea M. Quantifying Circadian Light and its impact, *Architectural Lighting* (2017) [http://www.archlighting.com/technology/quantifying-circadian-light-and-its-impact\\_o](http://www.archlighting.com/technology/quantifying-circadian-light-and-its-impact_o)
- [45] Rea M., Figueiro M, Office Lighting and Personal Light Exposures in Two Seasons: Impact on Sleep and Mood, *Lighting Research & Technology*, (2016), 48, 352-364.
- [46] Sawicki D., Wolska A., Rosłon P., Ordysiński S. New EEG Measure of the Alertness Analyzed by Emotiv EPOC in a Real Working Environment. In: *Proc. of the 4th International Congress on Neurotechnology, Electronics and Informatics, NEUROTECHNIX 2016*, Porto, Portugal, 7-8 Nov. 2016, 35-42. DOI: 10.5220/0006041200350042
- [47] Sahin L, Figueiro M.G., Alerting effects of short-wavelengths (blue) and long-wavelengths (red) lights in the afternoon. *Physiology & Behavior*, 116-117 (2013), 1-7. DOI:10.1016/j.physbeh.2013.03.014.
- [48] Figueiro M.G., Bierman A, Plitnick B, Rea M.S., Preliminary evidence that both blue and red light can induce alertness at night. *MC Neuroscience*, 10 (2009). 10:105. DOI: 10.1186/1471-2202-10-105
- [49] Figueiro MG, Sahin L, Wood B, Plitnick B Light at night and measures of alertness and performance: implications for shift workers. *Biological Research for Nursing* 18(1), (2016), 90-100.