



Agnieszka Wolska

**Dostosowanie oświetlenia  
miejsc pracy zmianowej  
z wykorzystaniem  
oprawy oświetleniowej  
umożliwiającej  
dynamiczną zmianę rozkładu  
widmowego światła  
w rytm cyklu dobowego  
z uwzględnieniem  
chronotypów człowieka**

MATERIAŁ INFORMACYJNY

Materiały informacyjne CIOP-PIB

Dostosowanie oświetlenia miejsc pracy zmianowej z wykorzystaniem oprawy oświetleniowej umożliwiającej dynamiczną zmianę rozkładu widmowego światła w rytm cyklu dobowego z uwzględnieniem chronotypów człowieka

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

*Projekt II.N.04A. Opracowanie metody dostosowania oświetlenia miejsc pracy zmianowej do chronotypu pracownika z uwzględnieniem dobowej zdolności do pracy*

Autor:

dr hab. inż. Agnieszka Wolska – Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy  
Zakład Techniki Bezpieczeństwa

Zdjęcie na okładce: CIOP-PIB

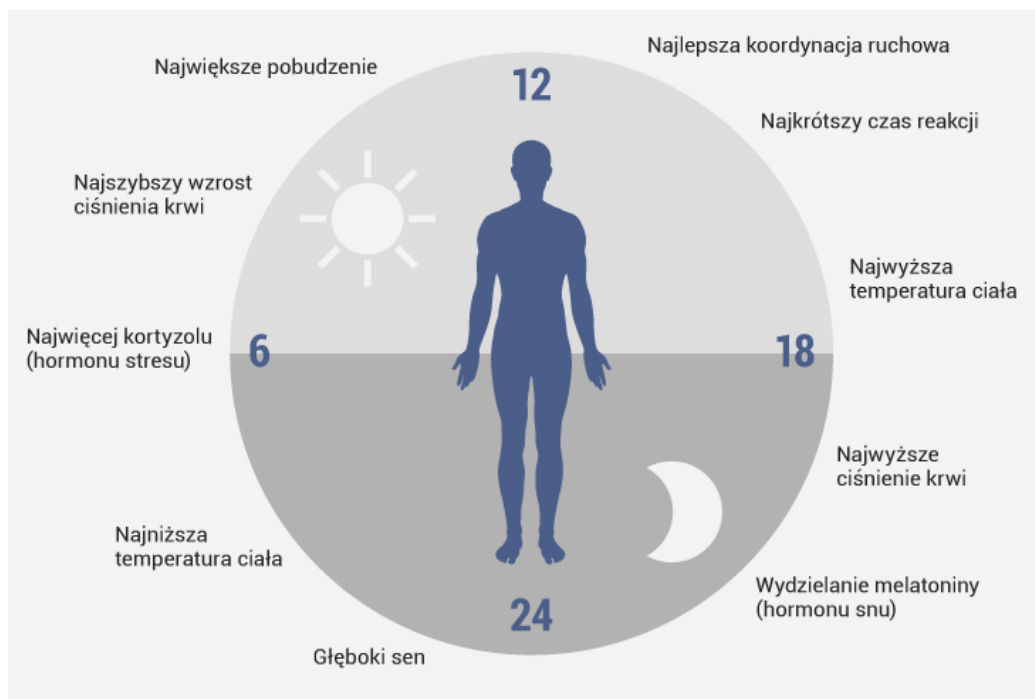
© Copyright by  
Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy  
Warszawa 2019

**CIOP**  **PIB**

Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy  
ul. Czerniakowska 16, 00-701 Warszawa  
tel. (48-22) 623 36 98, [www.ciop.pl](http://www.ciop.pl)

## Rytm cyklu dobowego (cykl okołodobowy)

Życie człowieka podlega rytmice okołodobowej, czego najprostszym przejawem jest naprzemienne występowanie okresów czuwania i snu. Zmianom okołodobowym podlega także metabolizm organizmu. Naturalny rytm dobowy człowieka przedstawiono na rysunku poniżej.



<https://zdrowie.pap.pl/srodowisko/nobel-z-medycyny-2017-pomysl-o-swoim-snie-i-czuwaniu>

Postęp techniczny, jaki nastąpił w ostatnim stuleciu, i możliwość korzystania ze sztucznego oświetlenia spowodowały odejście od naturalnego rytmu życia, związanego z rytmem dnia i nocy. Nieregularne pory aktywności i snu, ekspozycja na światło w godzinach wieczornych i nocnych, praca zmianowa oraz podróże lotnicze ze zmianą stref czasowych powodują, że wiele osób cierpi na zaburzenia rytmu okołodobowego.

Zaburzenia rytmu okołodobowego polegają na różnicy między charakterystyką rytmu dobowego danej osoby a pożądanym schematem snu i czuwania. Może dochodzić do trudności z zasypianiem (gdy człowiek chce się udać na spoczynek w porze nieskorelowanej z wewnętrznym zegarem biologicznym) oraz do nadmiernej senności (gdy istnieje konieczność pozostawania w stanie czuwania, jak np. na nocnej zmianie w pracy).

**Zaburzenia cyklu okołodobowego mogą mieć poważne konsekwencje dla samopoczucia, wydajności pracy oraz bezpieczeństwa pracy.**

**Jeśli znacząco obniżona jest sprawność psychomotoryczna pracownika (zwłaszcza podczas zmiany nocnej) to większe prawdopodobieństwo wystąpienia wypadku przy pracy**

## Zagrożenia dla zdrowia – praca zmianowa

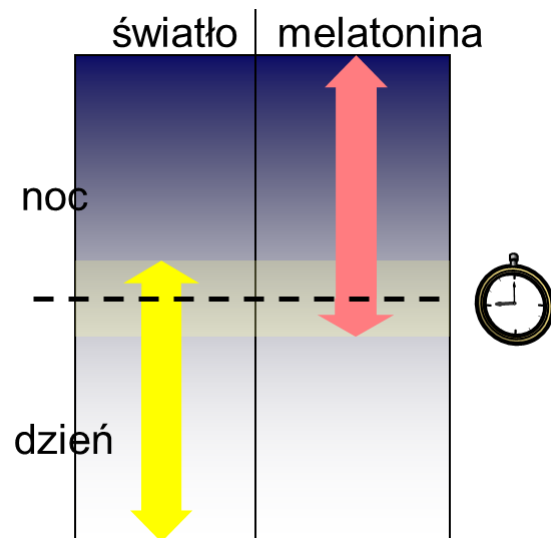
- **15% do 30%** populacji Europejskiej wykonuje pracę w trybie zmianowym
- wieloletnia praca w systemie zmianowym prowadzi do zaburzeń snu, schorzeń układu pokarmowego i sercowo-naczyniowego, chronicznego zmęczenia i zaburzeń psychoneurotycznych.
- Badania epidemiologiczne wskazują na powiązanie między pracą w systemie zmianowym przez 20-30 lat, a wzrostem ryzyka zachorowania na raka, w szczególności raka piersi i prostaty.
- W 2007 r. Międzynarodowa Agencja Badań nad Rakiem (IARC) ogłosiła, że praca zmianowa z udziałem zaburzeń rytmu okołodobowego jest prawdopodobnym czynnikiem kancerogennym.
- 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.

## Światło a rytm okołodobowy i czujność człowieka

Światło słoneczne jest jednym z najważniejszych regulatorów funkcji fizjologicznych człowieka związanych z rytmem okołodobowym. O poranku światło jest zimne (chłodnobiałe), gdyż w jego widmie występuje znaczny udział barwy niebieskiej. Natomiast popołudniu przed zachodem słońca, światło jest ciepłe, a w jego widmie występuje znaczny udział barwy czerwonej. Barwa światła

w ciągu dnia stopniowo zmienia swoją barwę od chłodnej do ciepłej i tym samym decyduje o naszym funkcjonowaniu

Jak wykazały badania to barwa niebieska docierająca do siatkówki oka powoduje najsilniejsze hamowanie wydzielania melatoniny w ludzkim organizmie, a tym samym obniża poczucie senności. Melatonina nazywana jest hormonem ciemności. Im mniej światła, tym więcej melatoniny we krwi i jesteśmy bardziej senni, a im więcej światła, tym mniej melatoniny we krwi i jesteśmy bardziej czujni, co schematycznie przedstawia poniższy rysunek.



Zatem odpowiedzialnym za rytm okołodobowy hormonem jest melatonina, a jej ilość w naszym organizmie można regulować poprzez światło o odpowiednim składzie widmowym. Zastosowanie światła w celu regulacji poziomu melatoniny we krwi wymaga wiedzy, gdyż skład widmowy, czas ekspozycji i pora dnia, kiedy stosowana jest ekspozycja, może spowodować regulację procesów fizjologicznych z przesunięciem lub bez przesunięcia faz rytmów okołodobowych, co przedstawiono na rys. poniżej.



W przypadku *jet lagu* związanego z nagłą zmianą strefy czasowej, występuje przesunięcie fazy rytmu okołodobowego i wówczas wskazane jest takie zadziaływanie światłem, aby przywrócić właściwy rytm okołodobowy poprzez odpowiednie przesunięcie jego fazy. Światło w dwojaki sposób wpływa na przesunięcie fazy rytmu okołodobowego. Może przesuwac fazę rytmu:

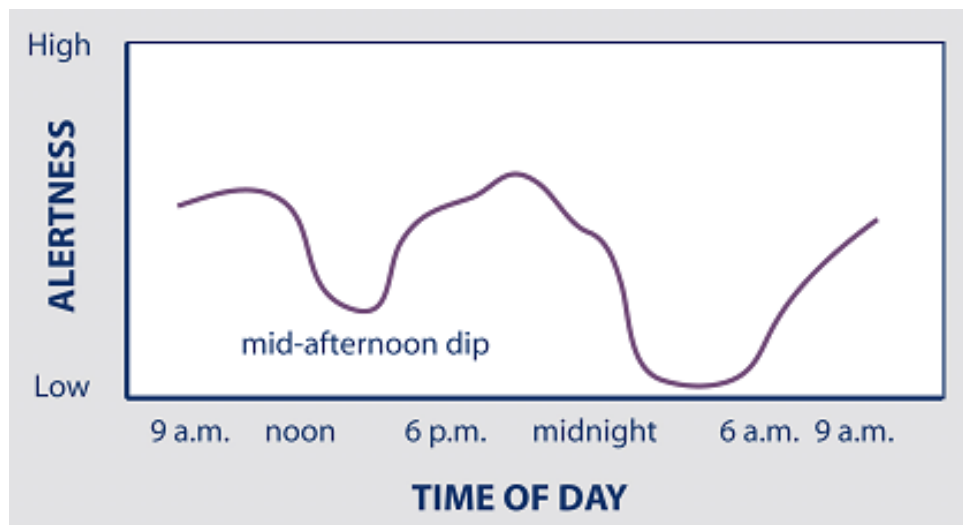
- do przodu (przyspieszac), gdy bodziec świetlny zadziaływał w drugiej połowie nocy,
- do tyłu (opóźnic), gdy bodziec świetlny zadziaływał w pierwszej połowie nocy.

Natomiast w przypadku oświetlenia miejsc pracy wskazane jest takie zadziaływanie światłem, aby uzyskać stymulację czujności pracownika, bez przesuwania faz rytmów okołodobowych (regulacja bezpośrednia). Najtrudniejszym jest określenie odpowiedniego oddziaływania światłem na pracowników zmianowych, u których występuje przesunięcie fazy cyklu okołodobowego, ze względu na wymuszoną porę wykonywania pracy (zwłaszcza dotyczy to zmiany nocnej, kiedy występuje opóźnienie fazy rytmu). Wówczas szczególnie w okresie maksymalnego wydzielania melatoniny między godzina 2 a 4 rano nie powinno się oddziaływać światłem o znacznej zawartości światła niebieskiego. Aby jednak uniknąć zwiększonej senności pracowników w tym czasie zaleca się oddziaływanie światłem z dużym udziałem światła czerwonego, które pobudza również czujność, a nie hamuje wydzielania melatoniny.

W przypadku przebiegu stopnia czujności człowieka w cyklu dobowym występują dwa niezależne jego spadki:

- mały spadek w godzinach wczesno-popołudniowych (w tzw. okresie senności poobiedniej)

- duży spadek w godzinach nocnych między 2 a 4, związany z największym wzrostem melatoniny we krwi.



<http://www.salemhealth.org/services/sleep/what-is-normal-sleep->

## Chronotyp człowieka

Chronotyp (od gr. chronos – czas) skrótowne określenie różnic indywidualnych w zakresie preferencji co do pory aktywności dziennej, włączając w to jej rozpoczęcie i kończenie, czyli budzenie się i zasypianie. Wewnętrzny zegar biologiczny każdego człowieka ustala jego własny, dobowy rytm funkcjonowania, czyli chronotyp.



Wyróżnia się trzy podstawowe typy chronotypów:

- Poranny (skowronek)
- Pośredni (niezróżnicowany)
- Wieczorny (sowa)

Około połowa populacji podpada pod jeden z dwóch nietypowych chronotypów – „poranne” skowronki lub „wieczne” sowy. Ich zegar biologiczny, regulujący czas pobudki, godzinę pójścia spać, apetyt, itp. jest przesunięty względem „normalnych” ludzi, zwykle o jakieś dwie godziny, choć zdarzają się przypadki z opracowanie schematu ekspozycji na światło o różnym rozkładzie widmowym w określonych przedziałach czasowych w ciągu zmian roboczych z uwzględnieniem chronotypów.

## **Oświetlenie niezakłócające rytmu okołodobowego**

Dotychczas oświetlenie projektowane było tylko z uwzględnieniem wzrokowego oddziaływania światła na układ wzrokowy człowieka. Istotne było zapewnienie oświetlenia, które umożliwi bezpieczeństwo i wygodę widzenia podczas wykonywania wszelakich czynności życiowych czy też wykonywania pracy. Nie uwzględniano się pozawzrokowych mechanizmów oddziaływania światła na organizm człowieka i jego wpływu na rytm okołodobowy.

Godzinowy przebieg cyklu snu i czuwania u osób o chronotypie wieczornym będzie zasadniczo różny od osób o chronotypie porannym. Z tego wynikałoby również inne godzinowe oddziaływanie światłem w celu utrzymania niezakłóconego cyklu okołodobowego.

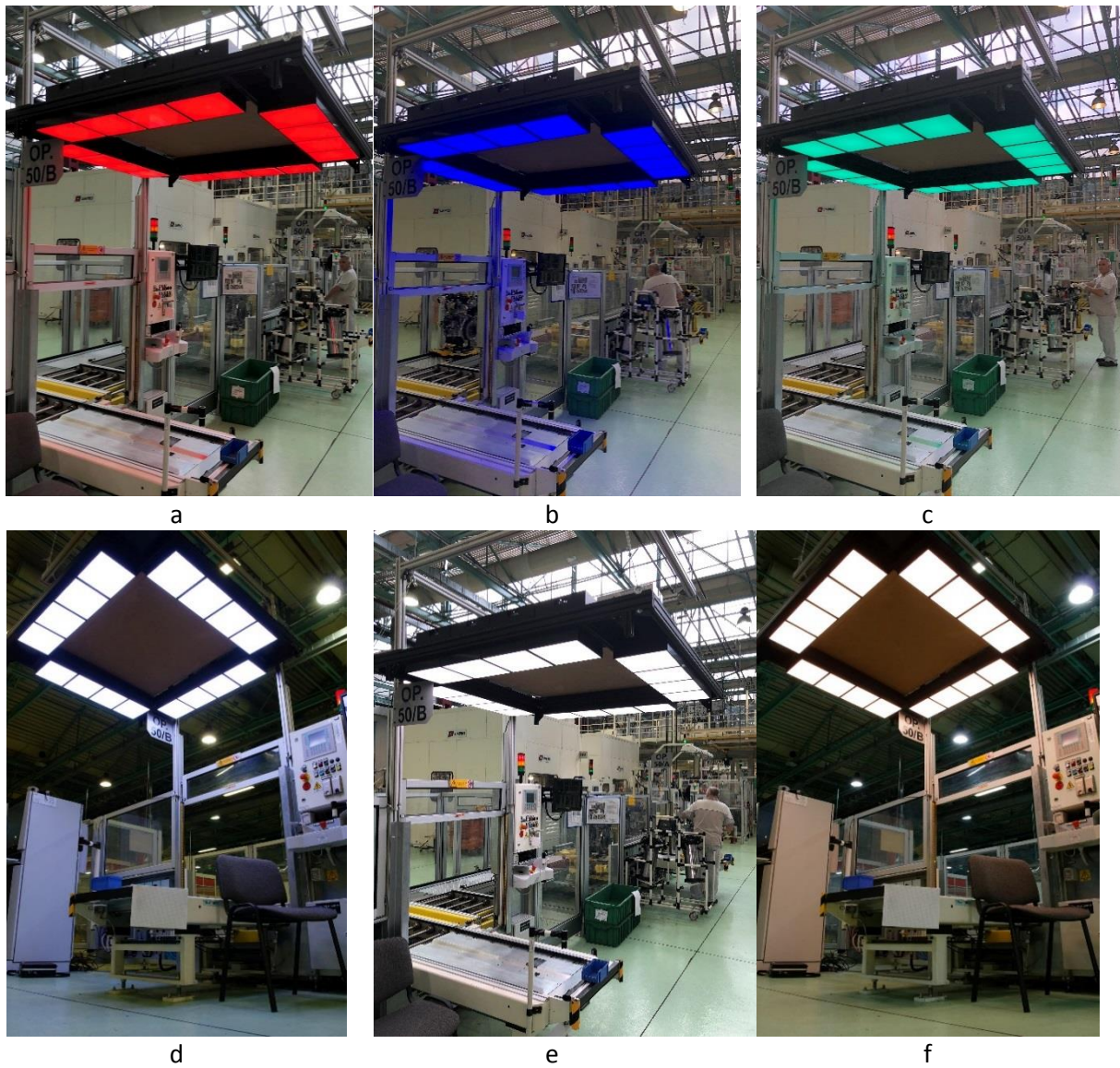
## **Oprawa oświetleniowa umożliwiająca dynamiczną zmianę rozkładu widmowego światła w rytm cyklu dobowego**

W ramach realizacji projektu badawczego w CIOP-PIB opracowano schemat ekspozycji na światło o różnym rozkładzie widmowym w określonych przedziałach czasowych w ciągu zmian roboczych z uwzględnieniem chronotypów pracowników. Ponadto przy współudziale firmy GLOptic opracowano i wykonano model oprawy oświetleniowej umożliwiającej dynamiczną zmianę rozkładu widmowego światła w rytmie cyklu dobowego. Program do modelowania scenariuszy oświetleniowych i sterowania światłem emitowanym przez oprawę (o określonej barwie światła i natężeniu oświetlenia) umożliwia dowolne zaplanowanie zmian oświetlenia w ciągu 24 godzin.



## Charakterystyka opracowanej oprawy:

- 16 modułów, z ledami o barwie białej 3000 K, czerwonej (630 nm), niebieskiej (460 nm) i zielonej (505) nm.
- Kształt powierzchni świecącej oprawy w postaci obwodu kwadratu umożliwia bezcieniowe oświetlenie stanowiska pracy, bez względu na położenie pracownika względem oprawy podczas wykonywania czynności pracy.
- Panele rozpraszające zapewniają z jednej strony odpowiednie mieszanie barw a z drugiej strony odpowiednie ograniczenie olśnienia przykrego.
- zakres programowalnej temperatury barwowej od 2900 K do 25000 K,
- wskaźniki oddawania barw  $R_a > 90$  i  $R_9 > 50$ .
- System sterowania strumieniem świetlnym umożliwia płynne zmiany temperatury barwowej i natężenia oświetlenia w dowolnie przyjętym interwale czasowym (od 1 min do 24 h).
- Możliwe jest zaprogramowanie dowolnej liczby scenariuszy scen świetlnych o różnych barwach światła (rozkładach widmowych) i różnym poziomie natężenia oświetlenia, które dynamicznie zmieniają się w ciągu doby.



Widok modelu oprawy zainstalowanego na stanowisku pracy zmianowej przy załączeniu różnych barw światła: a) czerwonej (630 nm), b) niebieskiej (460 nm), c) zielonej (505 nm), d) chłodnobiałej (6500 K), e) białej neutralnej (4000 K), f) ciepłobiałej (3000 K)

## Rozkłady widmowe światła dla poszczególnych przedziałów czasowych w cyklu dobowym

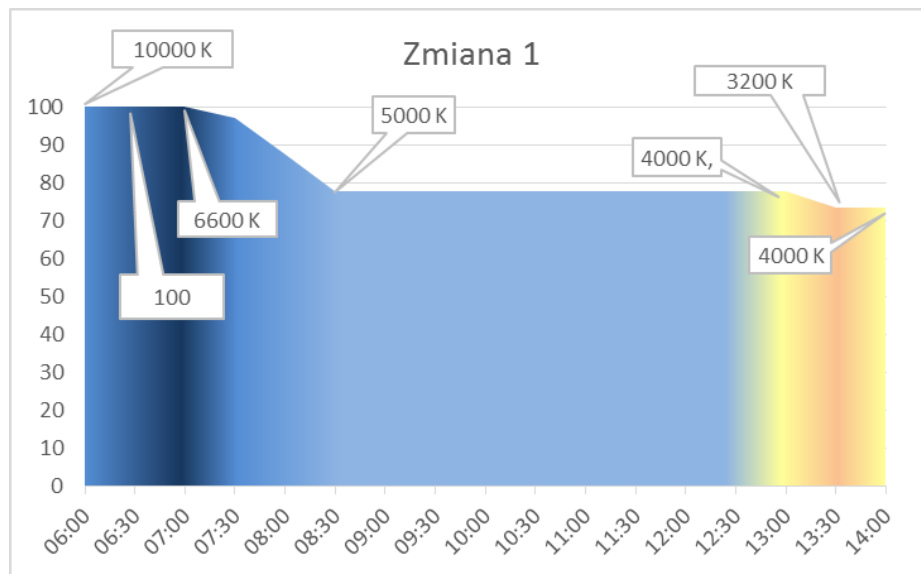
Przy projektowaniu oświetlenia uwzględniającego rytm okołodobowy człowieka należy wziąć pod uwagę nowy parametr oddziaływania cyrkadialnego (okołodobowego). Jest to tzw. bodziec cyrkadialny CS (Circadian Stimulus) wyznaczany na podstawie widma światła dochodzącego do oka i uwzględniający skuteczność hamowania melatoniny. **CS jest miarą skuteczności cyrkadialnego natężenia napromienienia przy rogówce oka zawierającą się w przedziale pomiędzy 0,1 a 0,7. Im większa wartość CS tym większa skuteczność promieniowania w hamowaniu wydzielania melatoniny** (Figueiro et al., 2016).

Projektując oświetlenie niezakłócające cyklu cyrkadialnego należy wziąć pod uwagę następujące parametry wyznaczone w płaszczyźnie pionowej na wysokości oczu pracownika (wszystkie te parametry można wyznaczyć na podstawie pomiaru rozkładu widmowego promieniowania):

- Natężenie oświetlenia przy rogówce oka,  $E_r$
- Temperatura barwowa,  $T_c$
- Wskaźnik oddawania barw,  $R_a$
- Bodziec cyrkadialny, CS

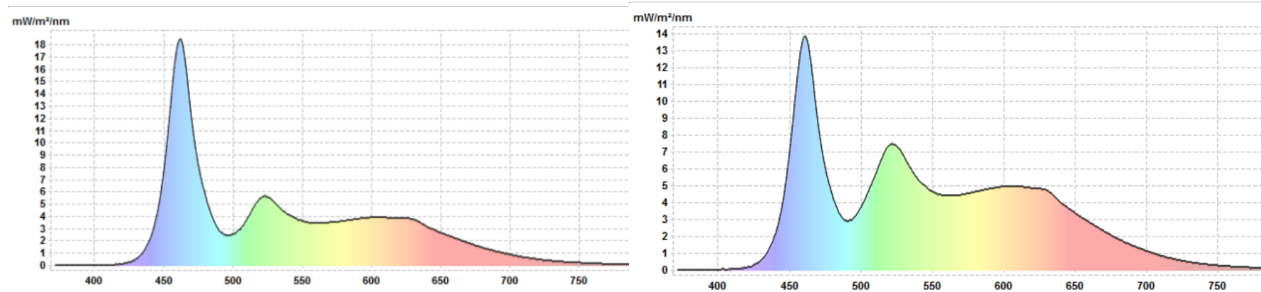
W tabeli poniżej przedstawiono przykładowe zalecane wartości ww. parametrów oświetlenia w poszczególnych przedziałach czasowych, przy spełnieniu jednoczesnego warunku, że wskaźnik oddawania barw  **$R_a$  we wszystkich przypadkach wynosi co najmniej 80.**

## Zmiana 1



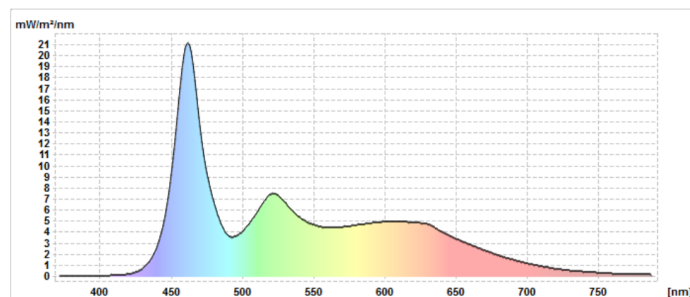
Na rysunku powyżej przedstawiono chronometraż dla zmiany 1, ze wzmocnionym działaniem określonej barwy światła w celu zapobiegania senności:

- w porze porannej między 6:00 a 7:30; do widma światła białego dodano składową niebieską 460 nm i lub zieloną 505 nm (rozkłady widm przedstawiono poniżej). Takie zastosowanie może być szczególnie wskazane, gdy pracownicy są rano szczególnie senni lub dotyczy to pracownika o chronotypie wieczornym;



a

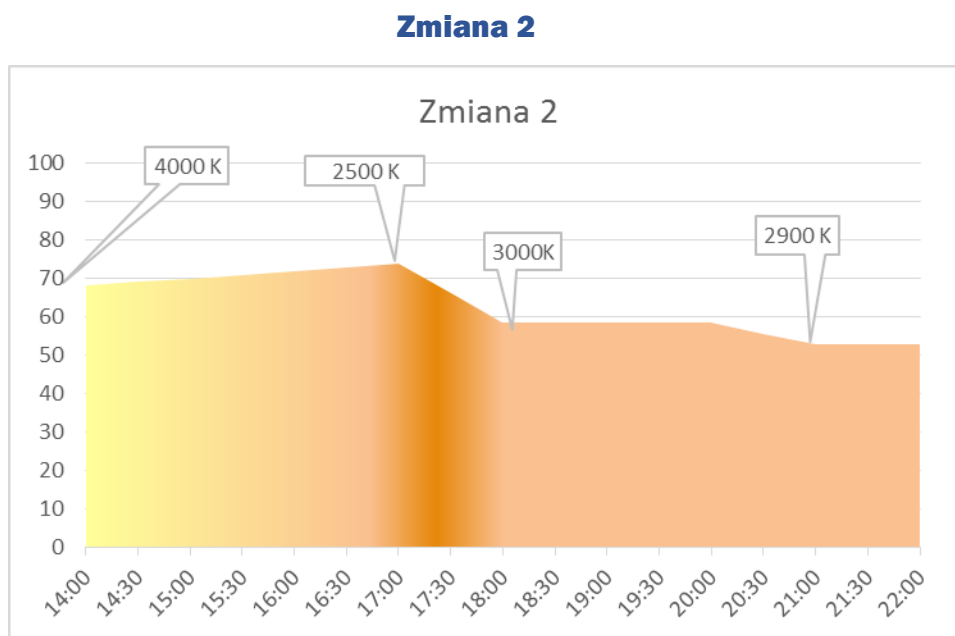
b



c

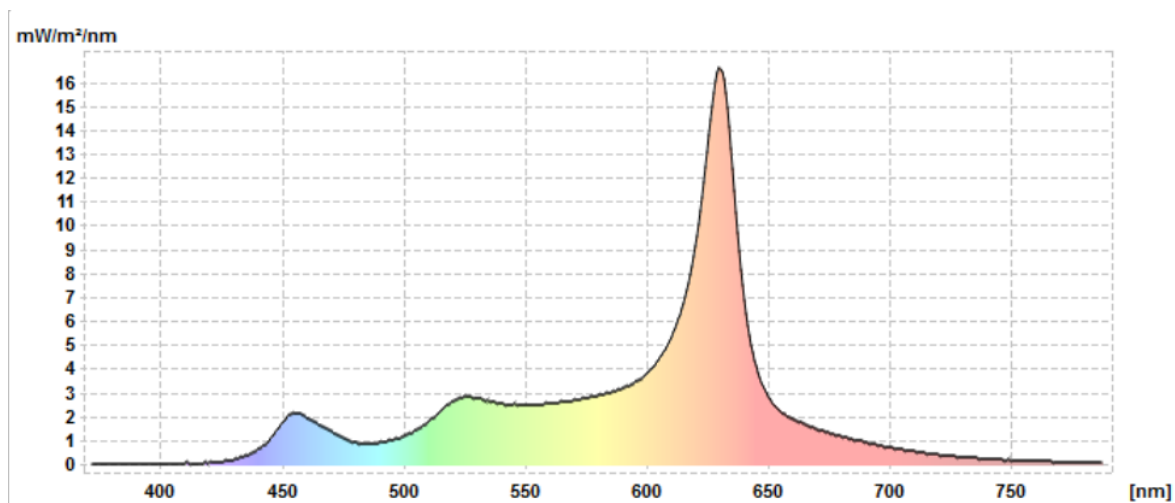
Rozkład widmowy światła, który może być stosowany w prze porannej między 6 a 7:30: a) z dodaną składową niebieską, b) z dodaną składową zieloną, c) z dodaną składową niebieską i zieloną

- w porze wczesnopołudniowej między 13:00 a 13:30 ; do widma światła białego dodano składową czerwoną 620 nm. Takie zastosowanie może być szczególnie wskazane, gdy pracownicy odczuwają senność o tej porze dnia. Takie oddziaływanie może być szczególnie przydatne na stanowiskach biurowych oraz w porze jesienno-zimowej.

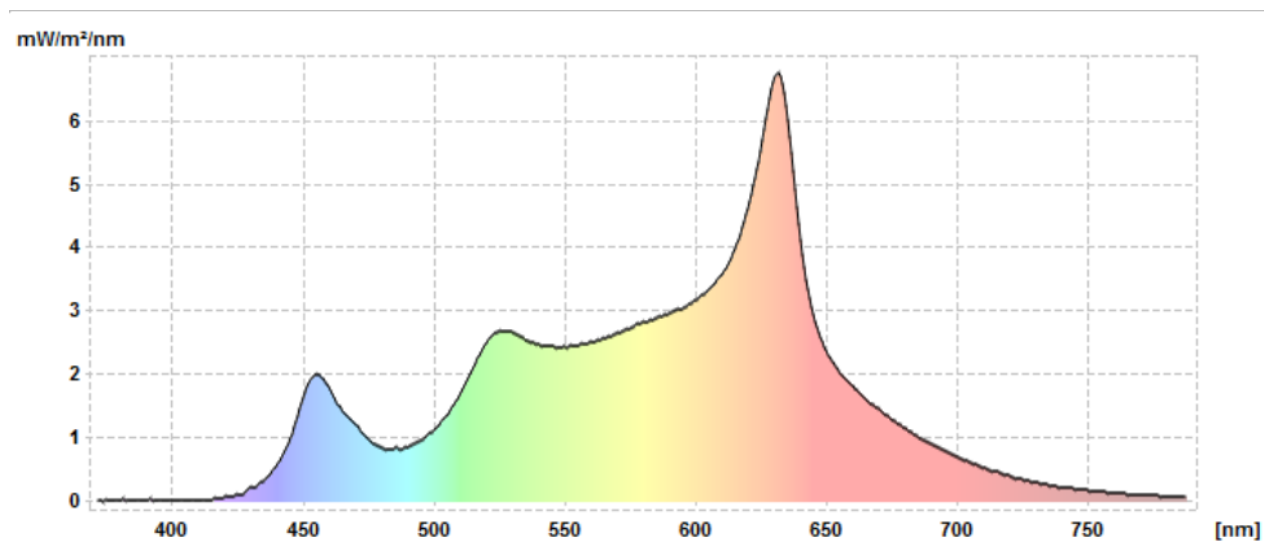


Na rysunku powyżej przedstawiono chronometraż dla zmiany 2, ze wzmocnionym działaniem określoną barwą światła w celu zapobiegania senności:

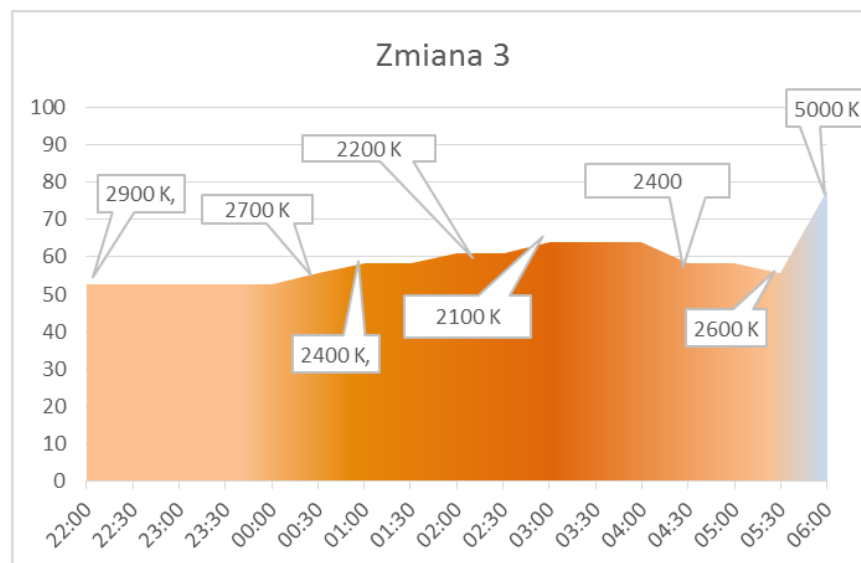
- w porze popołudniowej do godziny 17:00 zastosowano płynne przejście (spadek) temperatury barwej do uzyskania barwy ciepłe 2500 K.
- w przedziale czasowym między 17:00 a 18:00 do widma białego dodano składową czerwoną 620 nm (rysunek poniżej) w celu ograniczeniu spadku senności; takie zastosowanie może być szczególnie przydatne dla pracowników o chronotypie porannym.



- w przedziale czasowym między 20:00 a 21:00 zastosowano płynne przejście (spadek) temperatury barwowej do 2900 k (ciepła barwa światła) , która utrzymywana jest do końca 2 zmiany (rys poniżej).



### Zmiana 3



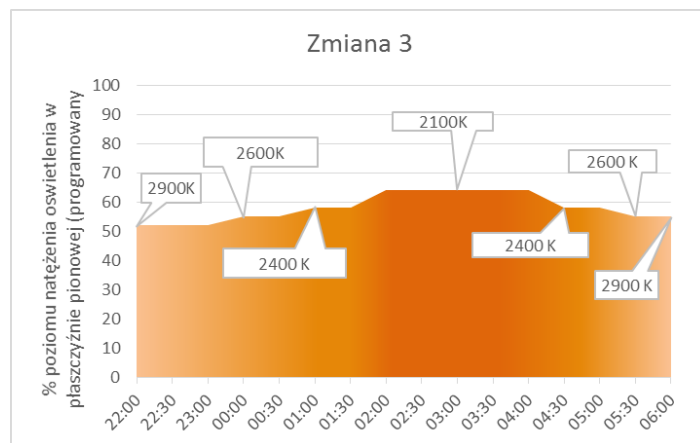
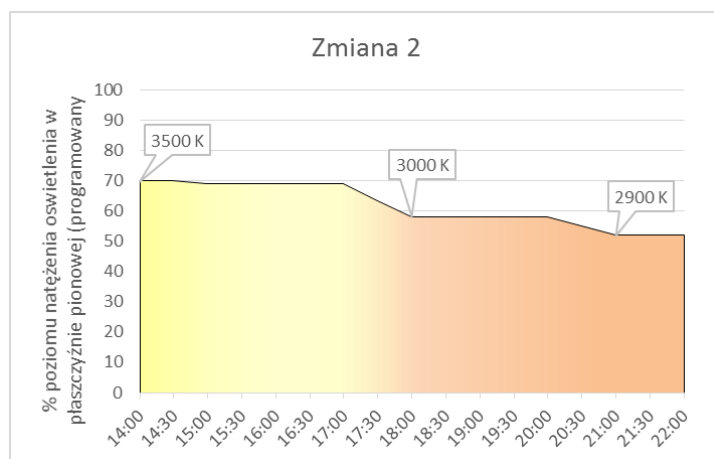
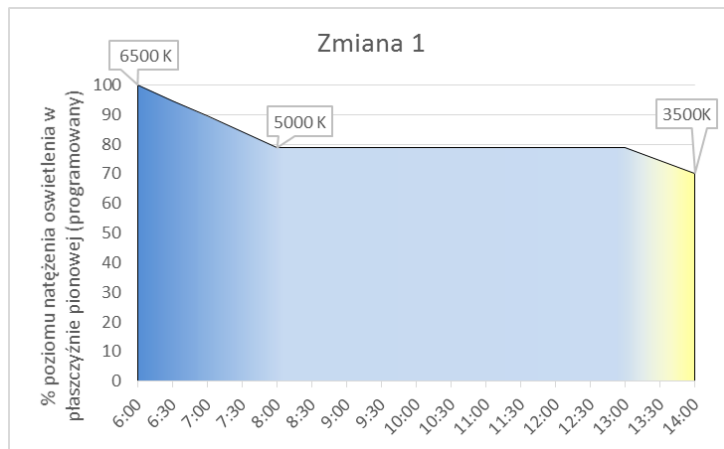
Na rysunku powyżej przedstawiono chronometraż dla zmiany 3, ze wzmocnionym działaniem określonej barwy światła w celu zapobiegania senności:

- w porze nocnej między 0:00 a 4:00; do widma światła białego dodano składową czerwoną 620 nm w celu ograniczenia spadku senności,
- w porze wczesnorannej między 4:00 a 6:00; zastosowano płynne przejście (wzrost) do barwy chłodnej 5000 K. takie zastosowanie może być szczególnie przydatne w okresie letnim, gdy pracownicy wychodzą po pracy nocnej po wschodzie słońca oraz dla pracowników o chronotypie porannym.

### Przykład chronometrażu zmian oświetlenia dla trzech zmian (zastosowany w badaniach na stanowisku pracy zmianowej)

Przykład uniwersalnego (niezróżnicowanego ze względu na chronotyp) chronometrażu zmian oświetlenia dla trzech zmian roboczych przedstawiają poniższe rysunki. Na zmianie 3 między godziną 0:00 a 4:00 dodawane jest stopniowo do widma światło czerwone o długości fali 620 nm, dzięki czemu spada temperatura barwowa oraz wzrasta poziom natężenia oświetlenia. Światło czerwone ma za

zadanie utrzymać poziom czujności pracownika w okresie fizjologicznego narastania melatoniny we krwi (i wzrostu senności), bez efektu niepożądanego jej hamowania w tym okresie czasu.





**Przykładowe zalecane wartości parametrów oświetlenia dynamicznego  
w poszczególnych przedziałach czasowych**

Go-dziny	Er lx	Tc K	CS	Dodatkowe zalecenia
6:00	350-500	6500-10 000	0,45 - 0,60	<ul style="list-style-type: none"> <li>od 6:00 do 8:00 - płynny spadek wszystkich parametrów lub</li> <li>od 6:00 do 7:00 utrzymanie stałych wartości parametrów wyjściowych i następnie płynny spadek do godz. 8:00.</li> </ul>
8:00	280-300	5000	0,30-0,35	
8:01	280-300	5000	0,30-0,35	od 8:01 do 13:00 - utrzymanie stałych wartości wszystkich parametrów lub płynny spadek Tc i CS.
13:00	280-300	4000-5000	0,25-0,30	
13:01	280	4000	0,25-0,30	od 13:01 do 14:00 - płynny spadek wszystkich parametrów
14:00	250	3500	0,20-0,25	
14:01	250	3500	0,20-0,25	od 14:01 do 17:00 - utrzymanie stałych wartości wszystkich parametrów
17:00	250	3500	0,20-0,25	
17:01	250	3500	0,20-0,25	od 17:01 do 18:00 - płynny spadek wszystkich parametrów
18:00	200-210	3000	0,20-0,23	
18:01	200-210	3000	0,20-0,23	od 18:01 do 20:00 - utrzymanie stałych wartości wszystkich parametrów
20:00	200-210	3000	0,20-0,23	
20:01	200-210	3000	0,20-0,23	od 20:01 do 21:00 - płynny spadek wszystkich parametrów
21:00	190-200	2900	0,18-0,22	
21:01	190-200	2900	0,18-0,22	od 21:01 do 0:00 - utrzymanie stałych wartości wszystkich parametrów
0:00	190-200	2900	0,18-0,22	
0:01	190-200	2900	0,18 - 0,22	od 0:01 do 3:00 - płynny lub przedziałowy spadek Tc i CS oraz wzrost Er
3:00	200-240	2000-2100	0,18-0,20	
3:01	200-240	2000-2100	0,18-0,20	od 3:01 do 4:00 - utrzymanie stałych wartości wszystkich parametrów
4:00	200-240	2000-2100	0,18-0,20	
4:01	200-240	2000-2100	0,18-0,20	od 4:01 do 5:00 - płynny wzrost Tc i CS
5:00	190-200	2900	0,18-0,22	
5:01	190-200	2900	0,18-0,22	<ul style="list-style-type: none"> <li>od 5:01 do 5:59 - płynny wzrost Tc i CS</li> <li>w okresie wiosenno-letnim, wyższe końcowe temperatury barwowe (5000 K)</li> <li>w okresie jesienno-zimowym, niższe końcowe temperatury barwowe (2900 K)</li> </ul>
5:59	200-280	2900-5000	0,22-0,35	

**Przykładowe zastosowanie oprawy z dynamiczną zmianą oświetlenia na stanowisku pracy zmianowej**

Opracowany model oprawy z dynamiczną zmianą oświetlenia został zainstalowany w jednym z przedsiębiorstw w Polsce na stanowisku pracy zmianowej, na którym przeprowadzono badania sprawności psychofizycznej 10 pracowników zmianowych na poszczególnych zmianach roboczych.

(2 pracowników o rannym chronotypie i 8 o pośrednim chronotypie). Zastosowano chronometraż scenariuszy świetlnych przedstawiony na ww. rysunku.

Łącznie każdy pracownik był badany przez 54 dni robocze: podczas pracy przy „nowym” oświetleniu i przy dotychczasowym - „starym” oświetleniu.



a



b

Widok stanowiska pracy zmianowej: a) ze „starym” oświetleniem, b) z „nowym” oświetleniem

#### Wyniki badań wykazały, że:

- pracownicy są zadowoleni z nowego oświetlenia i uważają, że lepiej im się przy nim pracuje, zwłaszcza na zmianie nocnej.
- występowało utrzymanie lub wzrost sprawności psychofizycznej pracowników na koniec zmiany roboczej.

**Można stwierdzić, że tak zaprojektowane oświetlenie sprzyja utrzymaniu czujności i zadowoleniu pracowników, a w sposób pośredni wpływa na utrzymanie wydajności pracy w okresach fizjologicznego obniżenia czujności**