



Oświetlenie spersonalizowane?

O tym, że światło to więcej, niż widzimy...

Światło dzienne i elektryczne padające na siatkówkę oka ludzkiego wpływa na to, jak postrzegamy otaczający nas świat. Ostatnie badania pokazują, że światło padające na korę wzrokową oddziałuje także na inne, niewzrokowe funkcje życiowe człowieka. Zaczęto mówić o efektywności biologicznej lub wydajności biologicznej światła. Wykazano, że zależy ona od wielu czynników, między innymi. in. od widmowego, przestrzennego i czasowego rozkładu promieniowania optycznego, ale także od indywidualnych cech organizmu ludzkiego, indywidualnej charakterystyki rytmu okołodobowego, wrażliwości na światło, wieku i wielu innych aspektów. Jak zatem zmierzyć wszystkie efekty biologiczne ekspozycji na światło o określonej charakterystyce fotometrycznej? I jak stworzyć optymalne warunki świetlne do nauki, pracy lub wypoczynku dla jednostek o zróżnicowanych wymaganiach?

*mgr Natalia Sokół,
MSc in Light and Lighting,
Politechnika Gdańska*

Oświetlenie biologicznie skuteczne.: czyli co już wiadomo?

Organizm ludzki odbiera światło zarówno poprzez detekcję wzrokową, jak i także nie-wzrokową przy zaangażowaniu układu optycznego i nerwowego, oraz a także poprzez bezpośrednią absorpcję fotonów światła przez skórę. Intensywność promieniowania optycznego odbieranego przez siatkówkę oka ludzkiego wpływa na nasze funkcje wzrokowe lub wizualne (ang. *image forming* –: IF). Proces fotodetekcji wzrokowej, czyli tworzenia obrazów, polega na odbiorze informacji świetlnej za pomocą fotodetektorów, jakimi są pręciki i czopki. Jednakże naukowcy [1] wykazali jednak, że światło padające na siatkówkę oka oddziałuje także na pozawzrokowe funkcje człowieka (ang. *non-image forming* –: NIF). Światło przechwytywane przez melanopsynę, barwnik wzrokowy

z rodziny opsyn, ulokowany w wewnętrznie światłoczułych komórkach zwojowych siatkówki (ipRGC), wpływa na niewzrokowe (niewizualne) odpowiedzi organizmu, w tym oprócz zwięzania źrenicy między innymi. in. na czujność, samopoczucie, wydajność i psychikę człowieka (rRys. 1) [2]. Chronobiolodzy, naukowcy zajmujący się badaniem periodycznych zjawisk zachodzących w organizmach żywych zjawisk periodycznych, takich jak rytmy okołodobowe czy i roczne, podkreślają niezwykle istotną rolę światła jako regulatora tych zjawisk. Praca zegara biologicznego, wewnętrznego synchronizatora procesów życiowych, uzależniona jest między innymi. in. od hamowania syntezy melatoniny w wyniku ekspozycji na światło. Światło dzienne lub światło elektryczne w przedziale widma od długości od 425 do 560 nm powoduje supresję melatoniny [3]–[5] i wzrost wytwarzania kortyzolu, tzw. hormonu stresu.

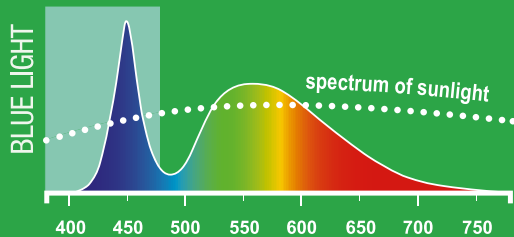
Inspired by sunlight.

SunLike Series natural spectrum LEDs

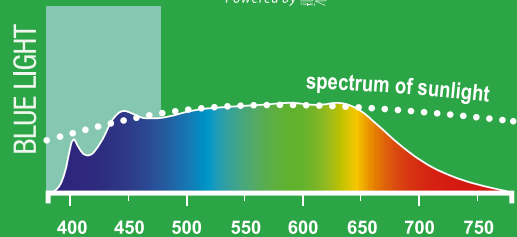
SunLike LEDs return light to its natural state.



Conventional LED Light



SunLike
Powered by



SunLike Series LEDs

- Closely matches natural spectrum of sunlight
- Minimizes negative effects of artificial light
- Accurately renders objects in natural light



.2W
3030



6W
MJT COB



10W
MJT COB



15W/25W
MJT COB



Visit seoulsemicon.com
to learn more about the
benefits of SunLike.

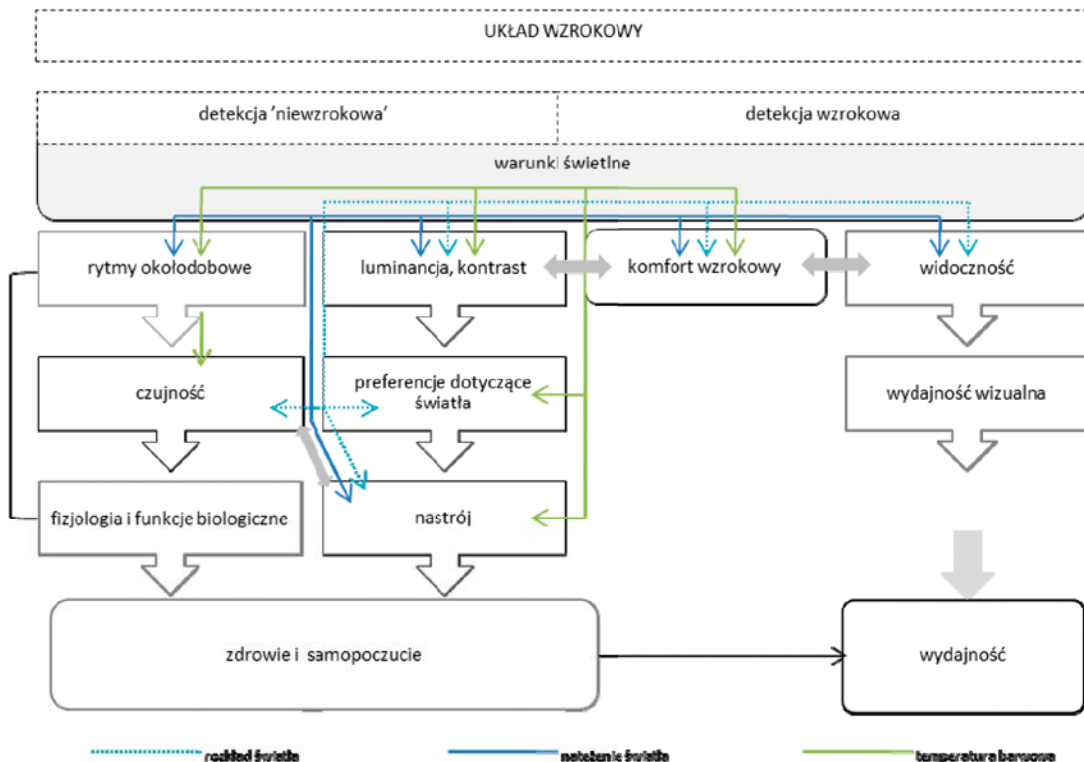


Dobowy, a także sezonowy obrót Ziemi wokół Słońca, warunkują dobowe i sezonowe wahania stężenia melatoniny i kortyzolu, a te wpływają na rytmy biologiczne organizmu. Nocne zmęczenie i dzienna aktywność człowieka jest naturalnym przystosowaniem do życia na Ziemi. Stwierdzono, że interwencje w postaci nieregularnych i wielokrotnych zaburzeń rytmów biologicznych, na przykład np. w wyniku przebywania w świetle o wysokim natężeniu w porze nocnej, wpływają ujemnie na zdrowie i samopoczucie ludzi np. poprzez obniżenie paramentów immunologicznych organizmu [6] who required a pulpotomy on their primary molars. Pain-related behaviours were used to assess the severity of pain during the injection of either prilocaine HCl or articaine HCl and the operative procedures following either a maxillary infiltration or mandibular nerve block of the two local anaesthetic agents. The frequencies of post-procedural adverse events in the prilocaine and articaine anaesthetised groups were also determined. RESULTS: Significantly more discomfort ($p < 0.05$ lub powodowanie zaburzenia psychiczne i behawioralne).

Wyniki wieloletnich studiów nad pięcioma fotoreceptorami siatkówki wykazują, że funkcjonują dwie odmienne drogi detekcji światła: fotodetekcja wzroorkowa i pozawzroorkowa. Ich efekty, tzw. IF-y (wzroorkowe) i NIF-y (niewzroorkowe) są obecnie badane w kontekście różnych warunków oświetleniowych. Zatem za wyjaśnieniem, dlaczego światło o barwie ciepłej relaksuje i odpręża, a niebieskie pobudza, kryją się skomplikowane reakcje foto-chemiczno-biologiczne. Procesy, w których biorą udział komórki ipRGC, tzw. nie-wzroorkowe detektory, mają większy wpływ na regulację naszych funkcji życiowych, niż się do tej pory wydawało. Te odkrycia doprowadziły do dyskusji o biologicznie efektywnym oświetleniu lub odpowiedziach biologicznych i fizjologicznych organizmu na światło.

Oświetlenie skoncentrowane na potrzebach człowieka.; czyli jakie działania są podejmowane?

Potwierdzeniem tego, jak duże znaczenie ma wyjaśnienie mechanizmów periodycznego charakteru procesów aktywności i snu, było przyznanie w 2017 roku Nagrody Nobla w 2017 roku z dziedziny medycyny i fizjologii Jeffreyowi C. Hall'owi i Michaelowi Rosbash'owi oraz i Michaelowi W. Young'owi za badania na cyklach okołodobowych muszek owocówek [8]. Wyniki badań dotyczące roli światła w koordynowaniu cykli okołodobowych zaowocowały pociągnęły za sobą zmianę w postrzeganiu problematyki projektowania oświetlenia. Pojawiły się nowe koncepcje projektowe. Na przykład, np. pomysł oparty otworzenierozpoczęto prace nad oświetleniema spersonalizowanym, czyli dostosowanym do indywidualnych potrzeb użytkownika, lub projektowanie oświetleniema elektrycznym skoncentrowanym na okołobiologicznych potrzebach człowieka, - czyli HCL (ang. *human centric lighting*), a wzorowane na dynamice parametrów oświetlenia dziennego (CCT i natężenia). W dużym uproszczeniu koncept HCL zakłada, że o poranku światło u dużej zawartości widma o długości fal od 436 nm do 495 nm (tzw. niebieskiego), popularnie nazwane „chłodną bielą,” może pomóc wybudzić się, a także pobudza nas do większej koncentracji w ciągu dnia. Powinno ono być stosowane periodycznie w zależności od pory dnia i samopoczucia użytkownika i przemiennie ze światłem białym z widmem wzbogaconym o przedział długości fal od 566 nm do 598 nm (tzw. widmem żółtym) – relaksującym, odpowiadającym charakterystyce fotometrycznej promieniowania słonecznego przy zachodzie słońca. Luc Schlangen, naukowiec w Philips Research, opisując koncepcję human centric lighting HCL, tłumaczy, że zakłada ona możliwość personalizacji systemu i sterowania strumieniem świetlanym, tak



rysunek 1. Wykres przedstawiający wizualne i niewizualne efekty światła na podstawie diagramu zaczerpniętego z doktoratu Apiparn Borisuit: „The Impact of Light Including Non-Image Forming Effects on Visual Comfort” („Wpływ pozawzroorkowych efektów światła na komfort wizualny”), obronionego na EPFL w Lozannie w 2013 roku [7].

aby był on dostosowany do indywidualnych potrzeb i był w stanie polepszyć samopoczucie użytkowników [9]. Rozwój technologii SSL, źródeł LED oraz sposobów kontroli różnych parametrów oświetlenia spowodował rozwinięcie konceptów oświetlenia inteligentnego, zintegrowanego, wykorzystujących systemy IoT (ang. *Internet of Things*) i funkcjonujących według informacji otrzymywanych od innych systemów zarządzających przestrzenią budynku lub miasta.

Dynamika wzrostu sektora rynku technologii SSL, wyniki badań, a także analizy realizacji projektowych opartych na źródłach LED spowodowały potrzebę zmian zarówno parametryzacji opisu światła, jak i standaryzacji rozwiązań projektowych. Pojawiła się też konieczność szeroko zakrojonej edukacji w zakresie biologicznych efektów ekspozycji na światło. Odpowiadając na te potrzeby, International Energy Agency podjęła działania pod nazwą „Integrated Solutions for Daylighting and Electric Lighting”, w ramach których tworzony jest raport analizujący dostępną literaturę przedmiotu i rozwiązania techniczne w kontekście zindywidualizowanych potrzeb użytkowników [10]. W dotarciu do wielu specjalistów z różnych dziedzin pomogła też publikacja zainicjowana przez Daylight Academy, a wydana jako suplement do renomowanego pisma naukowego „Science” pod tytułem: *Changing perspectives on daylight: Science, technology and culture* (Światło dzienne – zmieniające się perspektywy: nauka, technologia i kultura). Opracowanie to wyjaśnia podstawy współczesnych badań o biologicznej efektywności oświetlenia, jak również efekty aplikacyjne tych studiów (rRys. 2) [11].

Wszystkie te inicjatywy mają na celu stworzenie praktycznych wytycznych dla twórców aplikacji oświetleniowych opartych na o źródłach LED i zweryfikowanie istniejących praktyk i nieaktualnych zapisów normatywnych.

Parametryzacja światła w kontekście detekcji pozawzrokowej. Jak zmierzyć NIF-y?

Współcześnie mieszkańcy krajów wysokorozwiniętych większość czasu spędzają w zamkniętych budynkach, gdzie ilość światła dziennego i elektrycznego jest niewystarczająca. W efekcie niedostatecznej ekspozycji na światło dzienne spada samopoczucie, pojawiają się trudności ze skupieniem uwagi i zasypianiem. Odpowiedzią na szkodliwe dla zdrowia zmiany w naszym stylu życia jest zapewnienie odpowiedniego oświetlenia adekwatnego do potrzeb użytkowników, nastawionego na ich indywidualne oczekiwania, zależnie od czasu i przestrzeni, w której przebywają personalnie, czasowej przestrzennie potrzeby. Aby skutecznie realizować koncepcje HCL lub oświetlenia ‘probioefektywnego’, potrzebne są informacje dotyczące charakterystyki strumienia optycznego względem efektów biologicznych, fizjologicznych i psychicznych.

Podjęto kilka prób parametryzacji światła w kontekście detekcji pozawzrokowej (Tab. 1). Najważniejsze z nich to wyrażenie efektów NIF ekspozycji na promieniowanie świetlne *circadian light*, które można wyrazić za pomocą charakteryzować poprzez: *circadian stimulus*, proponowany przez Lighting Research Center (LRCC (Lighting Research Center) wraz z narzędziem *circadian stimulus calculator* [13], [14], oraz *Equivalent Melanopic Lux*, który pojawia się w dokumencie *WELL standard for Buildings Equivalent* [15].

GL OPTIC

Light quality control

NOWOŚĆ



Poznaj nowy GL Spectis 1.0 Touch + Flicker

Pierwszy na świecie spektrometr mierzący
Melanopic Equivalent Daylight Illuminance (M-EDI) zgodnie z normą CIE S026:2018

POZOSTAŁE MIARY:

- Rozkład widmowy SPD
- Natężenia oświetlenia lux lub fcd
- Natężenie napromienienia mWatt
- Barwa: CRI, CCT, x, y
- Częstotliwość tętnienia
- Flicker Index
- Flicker Ratio
- SVM (Wskaźnik efektu stroboskopowego)
- SAM (Stroboscopic Acceptability Metric)
- Mp (LRC Flicker Perception)
- VESA (Video Electronics Standards Association)
- JEITA
(Japan Electronics and Information Technology Industries Association)

i inne...

Tabela 1. Przykłady prób parametryzacji NIF w kontekście detekcji pozawzrokowej

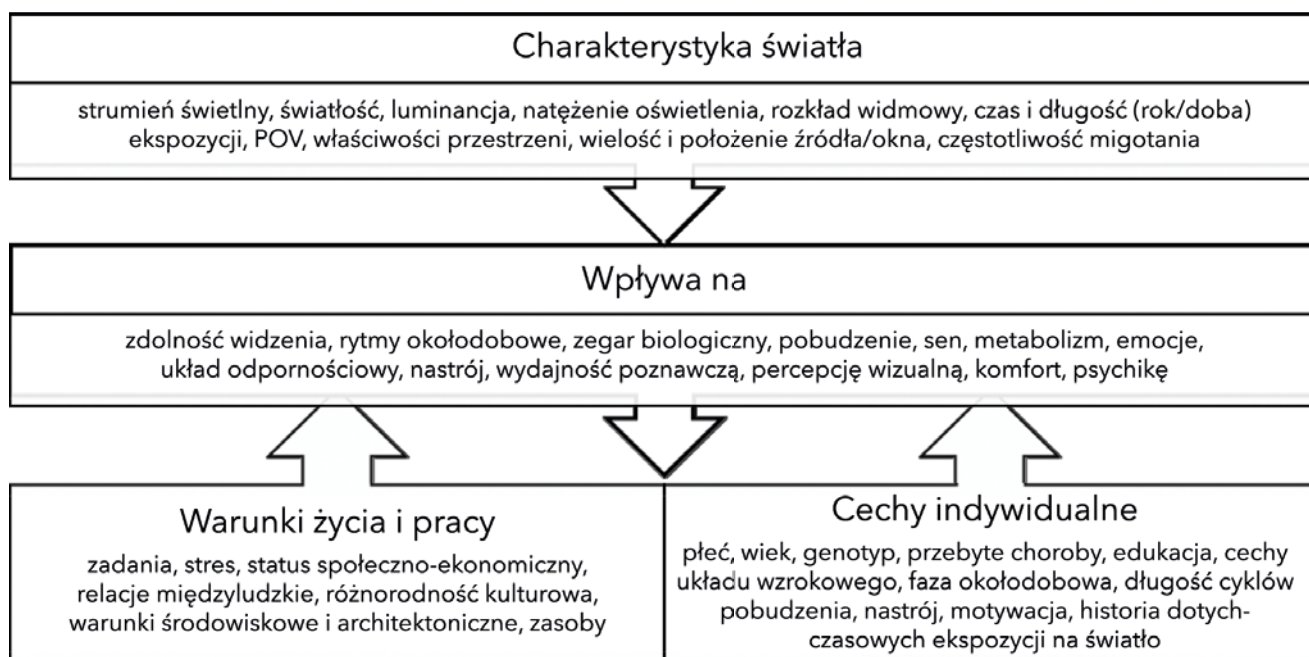
Parametry	Wyjaśnienia	Źródła	Wyniki, wzory, narzędzia
Circadian Light (CLA)	CLA ma ukazywać korelację pomiędzy poziomem melatoniny a odpowiedzią ipRGC na irradację, czyli strumień promieniowania na jednostkę powierzchni w wybranym jednostkowym fragmencie widma (w stosunku do widzenia fotopowego)	LRC (Lighting Research Center) na Rensselaer Polytechnic Institute [16]	XXXXXXXXXXXXXX
Circadian Stimulus (CS)	CS definiuje się jako poziom supresji melatoniny po 1 godz. ekspozycji	LRC (Lighting Research Center) na Rensselaer Polytechnic Institute [13], [16]	Circadian Stimulus calculator: https://www.lrc.rpi.edu/cscalculator/ $CS = 0.7 - \frac{0.7}{1 + \left(\frac{CLA}{355.7}\right)^{1.1026}}$
Equivalent Melanopic Lux (E)	EML opiera się na współczynnikach definiujących funkcje relatywnych czułości spektralnych dla każdej długości fali i bazuje na średniej odpowiedzi przy widzeniu fotopowym oraz krzywej czułości ipRGC w stosunku do melanopsyny	Feature 54: Circadian Lighting Design [15], [17]	<i>WELL Standard for Buildings</i> <ul style="list-style-type: none"> • Posługuje się EML • Ustala warunki wstępne na podstawie natężenia oświetlenia na powierzchniach wertykalnych z uwzględnieniem natężenia światła dziennego • Sugeruje dla szkół 125 EML na 75% biurek i powierzchni pionowych 1,2 m od podłogi.
Circadian Effective Area (CEA)	CEA definiowany jest jako procent obszaru analizy, który spełnia lub przekracza minimalny dopuszczalny próg częstotliwości stymulacji na każdy dzień danego okresu	University of Southern California [18]	

Opisywane wartości są zdefiniowane w wyniku kolejnych prac badawczych i analiz studiów przypadków. Podstawą koncepcji HCL czy bądź stosowania światła bioefektywnego jest wykorzystanie światła elektrycznego o różnych parametrach fotometrycznych w zależności od pory dnia, roku lub ilości światła dziennego wpadającego do danego pomieszczenia. Zjednak zdefiniowanie i zmierzenie określonych parametrów jest jednak ciągle kwestią dyskusyjną. PDL przykładowou profesor Thorbjörn Laike z Wydziału Architektury i Budownictwa na Uniwersytecie Lund przeprowadził badania, z których wynika, że najlepsze rezultaty w odniesieniu do czujności, wydajności, samopoczucia zyskał w warunkach, gdy luminancja na ścianach wynosiła 100 cd/m^2 , a natężenie oświetlenia na powierzchniach poziomych było na poziomie 500 lx. Niemniej należy zaznaczyć, że średnie wartości luminancji na ścianach w biurach wynoszą zazwyczaj 0–30 cd/m^2 . Reasumując, trwa ciągła praca nad ustaleniem wielkości i parametrów opisujących reakcje NIF na światło przy uwzględnieniu wrażliwości komórek zwojowych ipRGC reakcjach fotoreceptora melanopsyny. Ponadto tjak i trwają

poszukiwania tzw. optymalnych wartości dla tych wielkości. Niektóre z przytoczonych propozycji opisu światła efektywnego biologicznie trafiają do nowych zapisów normatywnych, np. standardów niemieckich DIN 5031:100 z 2015 *Optical radiation physics and illuminating engineering -- Part 100: Melanopic effects of ocular light on human beings -- Quantities, symbols and action spectra* i DIN Spec 67600: 2013 *Biologically effective illumination -- design guidelines* lub europejskich CIE DIS 026/E:2018.

Nowa norma CIE DIS 026/E:2018 jako próba wytycznych dla pomiarów światła związanych z detekcją nie-wzrokową.

Międzynarodowy Komitet Oświetleniowy (CIE --: The International Commission on Illumination) opublikował niedawno normę CIE DIS 026/E:2018 *System for Metrology of Optical Radiation for ipRGC-Influenced Responses to Light*, dotyczącą sposobów pomiaru światła w kontekście detekcji pozawzrokowej związanej z wewnątrznie światłoczułymi komórkami zwojowymi siatkówki. Standard definiuje funkcje relatywnych czułości spektralnych --,



Rysunek 2. Podsumowanie wpływu oświetlenia na ludzi według [12, s. 16]

parametry zdolności promieniowania optycznego w zakresie długości fal od 380 nm do 780 nm do stymulowania każdego z pięciu typów fotoreceptorów, które skorelowane są z funkcjonowaniem ipRGC siatkówki. Definiuje też te fotoreceptory jako:

- $s_{cs}(\lambda)$: *S-cone opic* (S-czopki) *cyanolabe* – najbardziej czuły na promieniowanie o $\lambda = 450$ nm (wrażenie barwy niebieskiej),
- $s_{mc}(\lambda)$: *M-cone opic* (M-czopki) *chlorolabe* – najbardziej czuły na promieniowanie o $\lambda = 540$ nm (wrażenie zieleni),
- $s_{lc}(\lambda)$: *L-cone opic* (L-czopki) barwnik *erythrolabe* – reagujący z największą czułością na promieniowanie o $\lambda = 590$ nm (wrażenie czerwieni),
- $s_{rh}(\lambda)$: *Rods* (pręciki),
- $s_{mel}(\lambda)$: *Melanopic* (melanopsyna).

Dla przypomnienia czopki i pręciki to wyspecjalizowane receptory siatkówki oka, które zawierające specyficzne błonowe białka receptorowe, w których fala świetlana o różnych zakresach długości wyzwała reakcję fotochemiczną polegającą na depolaryzacji błony i przepływie impulsu neuronami nerwu wzrokowego. Czopki zawierają fotopigment jodopsyny i warunkują widzenie fotopowe. Oko człowieka zawiera trzy rodzaje czopków, każdy o innej charakterystyce widokowej w zależności od budowy fotopsyn, barwników. Natomiast z kolei pręciki, zawierające rodopsynę, odpowiedzialne są za widzenie skotopowe.

Ponadto, opracowanie CIE DIS 026/E:2018 zawiera informacje dotyczące wpływu wieku i pola widzenia (FOV) przy ocenie ilościowej stymulacji fotoreceptorów siatkówki dla w odpow

DAYEMITY sterownik HCL

OŚWIETLENIE PRZYJAZNE CZŁOWIEKOWI

- Tryb automatyczny zapewniający poprawny rytm dobowy
- Automatyczne dostosowanie natężenia światła do otoczenia
- Możliwość stosowania szerokiej gamy modułów LED

CEZOS

LED Light for you
powered by OSRAM
CERTIFIED PARTNER



CEZOS Sp. z o.o. Sp.k. | ul. Olgerda 88 b | 81-534 Gdynia, Poland | tel.48 58 664 88 61 | cezos@cezos.com | www.cezos.com

akże związane z o wyższą wydajnością i komfortem pracy. Amerykański DOE szacuje, że przy obecnym tempie sprzedaży opraw ze źródłami LED oszczędność zużycia energii elektrycznej w USA będzie osiągnięta poziomie 75% w 2034 roku w USA. Jeśli chodzi o Europę, symulacje na poziomie makro przeprowadzone w 2015 roku przez A.T. Kearney wskazywały wartość rynku oświetleniowego z rozwiązaniami HCL na 0,87 mld euro. Realną wartość rynkową i szacowane korzyści związane ze zwiększeniem wydajności pracowników i oszczędnościami na ogólnych kosztach opieki zdrowotnej dla beneficjentów projektów opartych na HCL będzie można poznać po kilku latach funkcjonowania takich projektów. Obecnie w wyniku ciągłej poprawy jakości produktów SSL oraz zmian w jakości i zakresach projektów wdrażających idee HCL jest bardzo trudno o dane, które można porównać.

Oczywiście, informacje napływające pochodzące od naukowców wpływają także na ocenę oświetlenia przez użytkowników i projektantów. Upowszechnienie technologii SSL i spadek cen związanych z kosztami zakupu lub wymiany źródeł LED spowodowały, że niemal w każdym otoczeniu, nawet w aplikacjach domowych, możliwe jest uzyskanie strumienia świetlnego o określonej i regulowalnej temperaturze barwowej, światłości lub natężeniu z możliwością sterowania sekwencji załączeń lub programowania scenariuszy świetlnych. Takie systemy pod różnymi nazwami (Hue, HealWell, Encelium, Tunable White) oferuje większość globalnych producentów oświetlenia. Pojawiają się źródła lub oprawy dające takie możliwości, ale jednocześnie przy dynamice rozwoju zwłaszcza Internetu rzeczy (IoT) trudno jest przewidzieć, jak będą wyglądały oprawy i źródła za 20 lub 30 lat. Przeglądając w publikacjach poświęconych trendom na rynku wyraźnie kształtują się dwa: jeden opierający się o oprawy z elementami wnętrza budynku i zsynchronizowanych z innymi systemami, w tym związanymi z kontrolą światła dziennego; z kolei. Natomiast drugi trend to oprawy montowane indywidualnie, niezintegrowane, często unikalne w swojej formie, ale w łatwe do wymiany w razie zmian we wystroju lub funkcji pomieszczenia. Pojawiają się też propozycje leasingu opraw

i źródeł, które w swojej idei mają wpisana wymianę i sprzętu i utrzymanie lub poprawę wartości fotometrycznych strumieni świetlnych. Główne strefy aplikacji opartych na koncepcjach HCL lub oświetlenia efektywnego biologicznie to szpitale, biura oraz obiekty edukacyjne. Do przykładów opisywanych przez producentów sprzętu oświetleniowego należą: projekty biurowe (biurowiec Innogy -- instalacja opraw LuxSpace, biurowiec LifeCycle Tower One w Dornbirn w Austrii), obiekty szpitalne (szpitale Na Homolce i Oddział Urologii w szpitalu UVN w Pradze, Oddział Kardiologii w Maastricht University Medical Centre w Holandii, Slagelese Szpital Hospital w Danii) lub obiekty edukacyjne (szkoły podstawowe w Malo w Szwecji, w Holla, Telemark w Norwegii, w Wintelre w Holandii). We wszystkich tych przypadkach na podstawie ankietując lub badań badając reakcje fizjologiczne użytkowników wykazano, że technologia oświetlenia odpowiadającego na spersonifikowane indywidualne zapotrzebowania użytkowników ma korzystny na nich korzystny wpływ.

Podsumowanie

Sezonowość, ale także różnorodność czasowa, fotometryczna i przestrzenna światła dziennego sprawiają, że jest ono najkorzystniejszym typem oświetlenia nie tylko pod względem analizy zadań wzrokowych, ale lecz także ze względu na szeroko pojęte biologiczne funkcjonowanie organizmu ludzkiego. Dobrze zaprojektowane i dobrane oświetlenie elektryczne może sprawić, że użytkownicy będą się lepiej czuć i wydajniej wykonywać przewidziane zadania. Brak odpowiedniego światła wpływa na nas nie tylko w sensie wizualnym, ale także biologicznym i emocjonalnym. Stosując optymalny rodzaj oświetlenia bioefektywnego, spersonalizowanego lub opartego na idei koncept HCL, jesteśmy w stanie poprawić nasze samopoczucie i zadowolenie z pracy w pracy firmie lub w szkole. Nadal jednak przed naukowcami i projektantami oświetlenia stoi wiele pytań związanych z odkrywaniem relacji pomiędzy właściwościami fotometrycznymi, nowymi parametrami, zalecaniami normatywnymi, czasem, historią ekspozycji świetlnej a cechami fizjologicznymi indywidualnych użytkowników. Potwierdza się stwierdzenie hipotezy, że światło to więcej, niż widzimy. LiL.

Literatura

- [1] R.J. Lucas i in., „Measuring and using light in the melanopsin age”, *Trends in Neurosciences*. 2014.
- [2] J. Zawilska i K. Czarniecka, „Melanopsyna -- nowo odkryty chronobiologiczny receptor światła”, *Postępy Biol. Komórki*, t. 33, nr 2, ss. 229–246, 2006.
- [3] G.C. Brainard i J.P. Hanifin, „Action Spectrum for Melatonin Suppression: Evidence for a Novel Circadian Photoreceptor in the Human Eye”, *Biol. Eff. Light* 2001, nr August 2014, ss. 463–474, 2002.
- [4] Thapan, J. Arendt, i D.J. Skene, „An action spectrum for melatonin suppression: Evidence for a novel non-rod, non-cone photoreceptor system in humans”, *J. Physiol.*, t. 535, nr 1, ss. 261–267, 2001.
- [5] S. Aubin, R. Kuper, M. Ptito, i P. Jennum, „Melatonin and cortisol profiles in the absence of light perception”, *Behav. Brain Res.*, t. 317, ss. 515–521, 2017.
- [6] S. Manka i E. Majewska, „Immunoregulatory action of melatonin. The mechanism of action and the effect on inflammatory cells”, *Postępy Hig. Med. Dosw. (Online)*, t. 70, nr 0, ss. 1059–1067, 2016.
- [7] A. Borisuit, „The Impact of Light Including Non-Image Forming Effects on Visual Comfort”, t. 6007, ss. 1–156, 2013.
- [8] Nobelprize.org, „The Nobel Prize in Physiology or Medicine 2017”, *Nobel Media AB* 2014., 2017. [Online]. Dostępne na: http://www.nobelprize.org/nobel_prizes/medicine/laureates/2017/%3E. [Udostępniono: 15-sty-2018].
- [9] L. Schlangen, „Human Centric Lighting needs new quantities for light intensity”. *Light + Building*, Frankfurt, 2016.
- [10] „Daylighting of Non-Residential Buildings Position Paper”, 2019.
- [11] S. Sean Sanders i J. Oberst, Red., *Changing perspectives on daylight: science, technology, and culture*. Supplement to Science. Washington, DC: Science/AAAS, 2017.
- [12] M. Münch i in., „The effect of light on humans”, w: *Changing perspectives on daylight: science, technology, and culture*, Science/AAAS, 2017, ss. 16–23.
- [13] M.S. Rea, M.G. Figueiro, A. Bierman, i J.D. Bullough, „Circadian light”, *J. Circadian Rhythms*, t. 8, nr 1, s. 2, 2010.
- [14] M. Figueiro, „Why field measurements of circadian light exposure are important”, *Light. Res. Technol.*, t. 45, nr 1, ss. 6–6, luty 2013.
- [15] WELL, „The Building Standard WELL v1 with 1 2018 addenda”, 2018.
- [16] M.G. Figueiro, K. Gonzales, i D. Pedler, „Designing with Circadian Stimulus”, *LD+A*, t. 9, nr 3, ss. 31–33, 2016.
- [17] G. Lowry, „A comparison of metrics proposed for circadian lighting and the criterion adopted in the WELL Building Standard.”
- [18] K. Konis, „Field evaluation of the circadian stimulus potential of daylit and non-daylit spaces in dementia care facilities”, *Build. Environ.*, t. 135, nr January, ss. 112–123, 2018.
- [19] USDOE, „Energy Savings Forecast of Solid-State Lighting in General Illumination Applications”, *U.S. Dep. Energy*, nr September, ss. 1–5, 2008.
- [20] BIS Research, „Global Human Centric Lighting Market Value and Volume: 2017–2024”, 2018.