



DR NATALIA SOKÓŁ

adiunkt w Katedrze Urbanistyki i Planowania Regionalnego, Wydział Architektury, Politechnika Gdańska

Human Centric Lighting w miejscach pracy

Eksperci, którzy opisują „oświetlenie skoncentrowane na człowieku” (HCL, ang. *Human Centric Lighting*), mają na myśli takie jego rozwiązanie, które uwzględni zarówno wizualne, jak i niewizualne skutki działania światła dziennego na organizm ludzki.

Wyniki badań wskazują na poszerzenie zakresu efektów oddziaływania światła dziennego na człowieka od komfortu pracy wzrokowej po jakość snu, czujność, nastrój, wydajność i stan zdrowia [1]. Ta złożoność wiąże się z nakładami finansowymi ponoszonymi przez społeczeństwo na badania, ale również na tworzenie optymalnego środowiska oświetleniowego w miejscach pracy. HCL to termin, który wywołuje wiele dyskusji w branży oświetleniowej. Jest to koncept projektowania we wnętrzach dynamicznego oświetlenia elektrycznego, które symuluje to naturalne, a zwłaszcza jego zmienność, jeśli chodzi o temperaturę barwową, poziomy natężenia oraz czas ekspozycji. W literaturze HCL opisuje się jako ideę oświetlenia skutecznego biologicznie (bioefektywnego) czy biologicznie spersonalizowanego. Zgodnie z wynikami najnowszych badań naukowych, które wskazują, że oświetlenie elektryczne we wnętrzach powinno dynamicznie i synergicznie zmieniać się w zależności od charakterystyki wpadającego do nich światła dziennego oraz dostosowywać się do indywidualnych wymagań i preferencji oświetleniowych użytkowników budynku.

• ODDZIAŁYWANIE ŚWIATŁA NA CZŁOWIEKA

Przez większą część historii ewolucji ludzie przebywali na zewnątrz w środowisku naturalnym, poddani dobowym sekwencjom ekspozycji na światło o różnej charakterystyce spektralnej. Widzenie fotonowe (dzienne) oraz skotopowe (nocne) jest częściowo efektem przystosowania aparatu wzroku do dziennej, sezonowej i rocznej charakterystyki światła dziennego. Naukowcy zdefiniowali trzy główne drogi oddziaływania światła na człowieka: detekcję wzrokową, bezpośrednią absorpcję fotonów światła przez skórę oraz drogę pozawzrokową, związaną z rytmem okołodobowymi. Większość informacji dotyczących orientacji w przestrzeni, koloru czy jasności dostarczana jest poprzez proces widzenia, podczas którego pod wpływem światła barwniki wzrokowe zawarte w fotodetektorach (czopkach i pręcikach siatkówki) ulegają rozkładowi, a bodziec świetlny zmienia się w elektryczny, który przez włókna nerwowe przechodzi dalej do kory wzrokowej mózgu. Proces fotodetekcji i tworzenia obrazów polega na

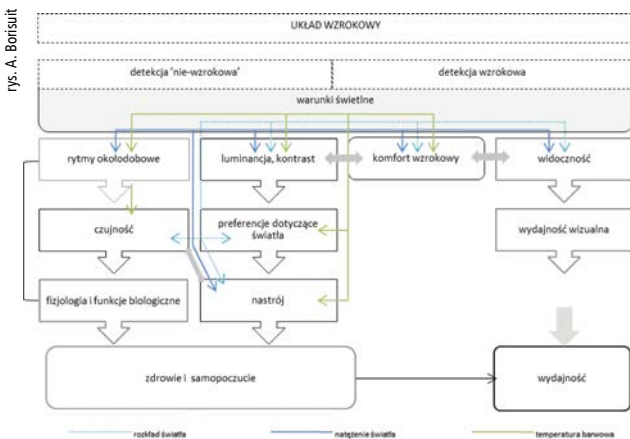
odbiore informacji świetlnej przez fotodetektory znajdujące się w siatkówce oka ludzkiego. Działanie światła na skórę człowieka związane z syntezą witaminy D oraz kancerogennym działaniem promieni ultrafioletowych zostały szeroko opisane w literaturze [2]. Nadal jednak badane są procesy pozawzrokowego oddziaływania światła na człowieka i związany z tym mechanizm rytmów okołodobowych.

RYTMY OKOŁODOBOWE

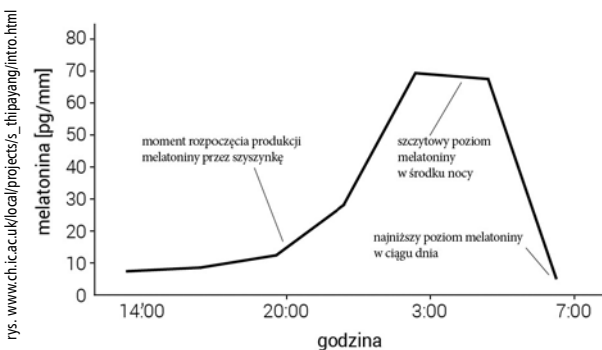
Rytmy biologiczne (biorytmy), czyli inaczej egzogenne (zewnętrzne) i endogenne (wewnętrzne) cykliczne zjawiska zachodzące w organizmie pod wpływem czynników (synchronizatorów) zewnętrznych i wewnętrznych, badane są przez chronobiologów. Organizm ludzki przystosowany jest do cyklicznej dobowej, rocznej, sezonowej i wieloletniej sekwencji zmian światła, które – wraz z innymi czynnikami – warunkują prace wewnętrznego zegara biologicznego, synchronizującego biochemiczne, fizjologiczne oraz behawioralne zjawiska zachodzące wewnątrz organizmu. Sekwencyjność, intensywność promieniowania oraz charakterystyka zmian światła dziennego odbieranego przez siatkówkę oka ludzkiego oddziałują na rytmy okołodobowe (cyrkadianne, ang. *circadian rhythm*) człowieka, a te z kolei mają wpływ na mechanizmy wewnętrzne organizmu – rozwój, aktywność, samopoczucie, sen i wydajność. Nad wyjaśnieniem tych skomplikowanych mechanizmów pracują naukowcy, koncentrując się na wizualnych (ang. *image forming*, IF) i pozawzrokowych (ang. *non-image forming*, NIF) funkcjach oddziaływania światła na organizm ludzki [3–4].

ipRGC – NOWE FOTORECEPTORY

W 2002 roku naukowcy podjęli próbę opisanie, w jaki sposób promieniowanie optyczne odbierane przez siatkówkę oka ludzkiego oddziałuje pozawzrokowo na człowieka [5, 6]. Wykazano, że istnieją jeszcze inne fotodetektory: wewnętrznie światłoczułe komórki zwojowe siatkówki (ipRGC), których barwnik wzrokowy – melanopsyna – przechwytyje informację świetlną i wpływa na niewzrokowe odpowiedzi organizmu (oprócz zwięzania żrenicy m.in. na czujność, wydajność i psychikę – rys. 1). IpRGC przesyłają informacje do jąder nadskrzyżowaniowych (SCN, łac. *nuclei suprachiasmatici*), czyli części mózgowia, która odpowiada za synchronizację i regulację rytmów biologicznych, takich jak sen i czuwanie. Wykazano, że promieniowanie świetlne w przedziale widma o długości 425–560 nm powoduje supresję melatoniny [7, 8] i wzrost wytwarzania kortyzolu – hormonu kory nadnerczy, który wpływa na metabolizm, a popularnie nazywany jest hormonem stresu. Praca wewnętrznego synchronizatora procesów życiowych, jakim jest zegar biologiczny, zależy m.in. od hamowania syntezy melatoniny w wyniku ekspozycji na światło (rys. 2). Zatem periodyczne sekwencje światło-noc warunkują wahania stężenia melatoniny i kortyzolu, a te wpływają na rytmy biologiczne organizmu. Efektem tych procesów jest nocne zmęczenie i dzienna aktywność człowieka [9]. Ekspozycja na światło częściowo wpływa również na nastrój poprzez uwalnianie neuroprzekaźników dopaminy i serotoniny.



1 Diagram ilustrujący wizualne i niewizualne efekty światła na rysunku z doktoratu A. Borisuita, pt. „Wpływ pozawzrokowych efektów światła na komfort wizualny”, obronionego na EPFL w Lozannie w 2013 roku [13]



2 Wykres obrazujący zależność pomiędzy poziomem melatoniny a porą dnia

DLACZEGO RYTMY OKOŁODOBOWE SĄ WAŻNE?

Wykazano, że wszelkie ingerencje w rytmy okołodobowe w postaci nieregularnych i wielokrotnych zaburzeń rytmów, np. w wyniku ekspozycji na światło o wysokim natężeniu i wysokiej temperaturze barwowej w porze nocnej (czyli światło tzw. zimne), oddziałują negatywnie na zdrowie i samopoczucie człowieka, m.in. poprzez obniżenie parametrów immunologicznych organizmu [10] lub zaburzenia psychiczne i behawioralne. Jednym z wyników zwiększenia poziomu kortyzolu w wyniku ekspozycji na światło w porze nocnej jest długotrwały niedobór snu [11]. Ekspozycja świetlana w porze snu powoduje również znaczne zmniejszenie syntezy i uwalniania melatoniny (popularnie nazwanej hormonem snu). Zapewnia ona poprawny sen, ale wpływa również na regulację układu trawiennego i odpornościowego [12].

Wagę badań wyjaśniających mechanizmy biorytmów podkreśliła nagroda Nobla w dziedzinie medycyny i fizjologii z roku 2017 dla Jeffrey'ego C. Halla, Michaela Rosbasha oraz Michaela W. Younga za wyjaśnienie zasad rytmów okołodobowych na modelowym organizmie. Naukowcy opisali geny i białka kontrolujące prawidłowy rytm u muszek owocówek, ale podobne mechanizmy zachodzą również u ludzi. Norweski Komitet Noblowski w uzasadnieniu wyjaśniał: „Z wyjątkową precyzją nasz wewnętrzny zegar dostosowuje naszą fizjologię do dramatycznie różnych faz dnia (...) zegar biologiczny reguluje kluczowe funkcje, takie jak zachowanie, poziom hormonów, sen, temperaturę ciała i metabolizm”.

• KONCEPT HUMAN CENTRIC LIGHTING

Badania nad rytmem okołodobowym wywołały zmianę w postrzeganiu projektowania oświetlenia wewnątrz oraz zwróciły uwagę projektantów na nowo zdefiniowane biologiczne potrzeby użytkowników. Zauważono, że ekspozycja na dynamicznie zmieniające się światło dzienne jest niezbędna do prawidłowego rozwoju i pracy organizmu. Następnym logicznym krokiem było wykorzystanie technologii SSL (ang. *Solid State Lighting*) i źródeł LED do odtworzenia dynamiki oświetlenia dziennego, a zwłaszcza odwzorowania parametrów CCT i zmian natężenia strumienia świetlnego. W uproszczeniu założono, że ekspozycja na światło o dużej zawartości widma o długości fal 436–495 nm (niebieskie), popularnie określanego jako chłodna biel, pomaga w wybudzeniu i zwiększeniu koncentracji w ciągu dnia, światło białe natomiast, z dużą zawartością widma o przedziale długości fal od 566 do 589 nm (żółte), będzie relaksować i powinno być stosowane w okresach naturalnej zmniejszonej aktywności człowieka, np. wieczorem. Charakterystyka źródeł LED oraz rozwój systemów sterowania światłem w połączeniu z systemami IoT (ang. *Internet of Things*) w inteligentnych budynkach ułatwiają zastosowanie dynamicznych, zindywidualizowanych i samouczących się aplikacji oświetleniowych. Koncept HCL jest szeroko opisywany przez media branżowe, a zwłaszcza przez producentów sprzętu oświetleniowego. Powołano Human Centric Lighting Society, czyli organizację, która tłumaczy idee i aspekty oddziaływania HCL w odniesieniu do rytmów okołodobowych i ich wpływu na sprawność psychofizyczną, produktywność pracy, zrównoważony rozwój (rys. 3).



3 Wybrane aspekty koncepcji według Human Centric Lighting Society [14]

Niemniej jednak naukowcy badający procesy wpływu światła na organizm ludzki są ostrożniejsi. Wskazują, że za rozwojem nauk fotometrycznych, a zwłaszcza parametryzacji wpływu oświetlenia na funkcje wizualne człowieka, stały metody zorientowane na jego potrzeby (ang. *human-centered*) [1]. Zaś biologiczne efekty ekspozycji na światło o danej charakterystyce zależą od wielu subiektywnych cech organizmu, takich jak historia ekspozycji świetlnej, płeć, wiek, przystosowanie wynikające z zamieszkania w danej strefie szerokości geograficznej, chronotyp, preferencje itp.

Wobec tego ich badanie jest dużo bardziej skomplikowane i nadal potrzeba wielu testów laboratoryjnych oraz studiów przypadków, aby zdefiniować i sparametryzować konkretne relacje pomiędzy oświetleniem (jego intensywnością, spektrum, częstotliwością i długością występowania) a np. wydajnością biologiczną pracowników [15, 16], nie wspominając o zastosowaniu nowych parametrów oświetlenia, takich jak melanopic irradiance, circadian light (CLA), proponowany przez naukowców z LRC (Lighting Research Center na Rensselaer Polytechnic Institute) [17], oraz Equivalent Melanopic Lux (Ea), który pojawia się w standardzie WELL [18]. Profesor Russell Foster, niekwestionowany autorytet w badaniach nad cyklami okołodobowymi [19] oraz dyrektor Nuffield Laboratory of Ophthalmology and The Sleep and Circadian Neuroscience Institute na Uniwersytecie Oksfordzkim podczas targów oświetleniowych Light + Building 2018 we Frankfurcie wyraził opinię, że nie można opisać w pełni HCL, dopóki nie zostanie wyjaśniony wpływ światła na biologię i funkcjonowanie człowieka w całym cyklu dobowym. Również naukowcy zgromadzeni na Daylight Academy Symposium w Dublinie wyrażali się bardzo ostrożnie o HCL, apelując jednocześnie o powszechną edukację środowisk związanych z branżą oświetleniową, elektryczną i budowlaną w kwestiach pozawzrokowych efektów wpływu światła na użytkownika. Odpowiedzią są programy badawcze, akcje edukacyjne w postaci publikacji, webinarów czy sympozjów, a także próby dostosowania przepisów i norm oświetleniowych (tab. 1).

• HCL W PRAKTYCE

Na standardowy rok składa się 8760 h, z czego mniej niż 4380 stanowią te oświetlone światłem dziennym. W UE przeciętny pracownik zatrudniony w pełnym wymiarze godzin pracuje 40,3 h tygodniowo w zwykłym tygodniu pracy, czyli ok. 8 h dziennie, głównie

w pomieszczeniach z oświetleniem dziennym i w razie potrzeby doświetlanych źródłami elektrycznymi. Według raport Eurofound z 2016 roku 19% zatrudnionych pracuje w nocy [21] – od dwóch do więcej godzin pomiędzy 22:00 a 5:00, co najmniej raz w miesiącu. W 2017 roku angielska publiczna organizacja Public Health England (PHE), monitorująca zagadnienia i zagrożenia zdrowotne, ostrzegła, że stosowanie niewłaściwego oświetlenia elektrycznego może spowodować zakłócenia w rytmach okołodobowych pracowników, co z kolei może wpływać na jakość ich snu, procesy poznawcze i czujność w ciągu dnia, a w konsekwencji mieć negatywne oddziaływanie na samopoczucie i bezpieczeństwo [22]. Mając to na uwadze, można stwierdzić, że rozwój konceptu HCL w sektorze budynków biurowych ma bardzo duży potencjał.

Do najważniejszych zadań HCL w miejscach pracy należy:

- podwyższenie motywacji i zaangażowania pracowników,
- indywidualizacja oświetlenia wobec zróżnicowanych zadań wzrokowych pracowników oraz ich personalnych preferencji dotyczących oświetlenia,
- wydłużenie okresów koncentracji,
- naśladowanie różnorodności spektrum światła dziennego w celu propagowania oświetlenia skutecznego biologicznie.

Co roku rośnie liczba budynków, w których monitorowane są instalacje oparte o systemy HCL. Należą do nich m.in.:

- budynki administracji rządu amerykańskiego w Seattle, Portland, Waszyngtonie czy Grand Junction – badane przez naukowców z Rensselaer Polytechnic Institute LRC w ramach grantu sponsorowanego przez administrację amerykańską;
- niemiecki instytut naukowy Fraunhofer w Stuttgarcie – w laboratorium LightFusion naukowcy testują Virtual Sky, czyli sufit świetlny o powierzchni 43 m², zbudowany z 34 560 diod LED RGB, które mogą wytworzyć światło w 16 mln kolorów. System umożliwia tworzenie dynamicznych i czasowych scen oświetleniowych o natężeniu ok. 3000 lx i temperaturze barwowej od 1500 do 27 000 K w celu symulacji oświetlenia dziennego. Virtual Sky pozwala na interaktywne dostosowanie regulacji strumienia świetlnego w zależności od lokalizacji użytkownika i jego potrzeb. Naukowcy mają nadzieje, że na podstawie wyników badań będzie można uzyskać zalecenia dotyczące oświetlenia biologicznie efektywnego w celu zapewnienia optymalnych warunków pracy. W Warszawie natomiast powstał już pierwszy budynek biurowca Spark C firmy Skanska, który spełnia wymagania oświetleniowe standardu WELL dotyczące wartości wspomnianego wyznacznika światła, jakim jest Equivalent Melanopic Lux. Technologie HCL są wdrażane w środowisku pracy, ale na pełne rezultaty ich działania na pracowników trzeba jeszcze czekać. Badania nad oświetleniem skutecznym biologicznie oraz aplikacje HCL na pewno przyczyniły się do podniesienia świadomości różnych rozwiązań wśród projektantów i użytkowników. Zrozumiano wagę odpowiedzi biologicznych organizmu ludzkiego na światło, a także dostrzeżono brak odpowiednich zapisów normatywnych gwarantujących poprawę jakości systemów oświetleniowych w zakresie rytmów okołodobowych. Za jedną z największych barier dla rozwoju projektów opartych o koncept HCL uważa się brak informacji, niedostateczne akcje edukacyjne, braki w zapisach normatywnych, sceptycyzm co do materialnych korzyści

TAB. 1. WYBRANE INICJATYWY ZWIĄZANE Z PODNIESIENIEM WIEDZY DOTYCZĄCEJ ŚWIATŁA, RYTMÓW OKOŁODOBOWYCH I HCL	
Rodzaj inicjatywy	Nazwa inicjatywy
Programy badawcze (w tym studia przypadków)	<ul style="list-style-type: none"> • 2012–2015: „Dynamic light in classrooms”, Gymnasium Miesbach • 2013–2016: „EU project SSL-erate Lighting for people (FP7)” • 2017–2020: „Evaluation of Human Centric Lighting Installations in Germany and Europe” • 2018–2021: „IEA Integrated Solutions for Daylighting and Electric Lighting: From component to user centered system efficiency” • 2017: „LRC: Office Lighting for Circadian Health and Wellbeing” • 2019–2021: Daylight Academy: „Educational package on daylight and The role of daylight for humans” • 2019–2023: NLITED New Level of Integrated Techniques for Daylight Education – bezpłatna platforma edukacyjna o oświetleniu dziennym • 2020–2024: Light Cognition, attention and perception (CAP) European – projekt mający na celu edukację ekspertów HCL
Ogólne publikacje popularyzujące nowe odkrycia w oświetleniu	<ul style="list-style-type: none"> • „Daylight Academy” – suplement do renomowanego pisma naukowego „Science”, pt. „Changing perspectives on daylight: Science, technology and culture” [20] • raporty IEA SHC Task 61 z cyklu: Integrated Solutions for Daylighting and Electric Lighting
Standardy i normy	<ul style="list-style-type: none"> • CIE S 026/E:2018 CIE „System for Metrology of Optical Radiation for ipRGC-Influenced Responses to Light” • CIE Position Statement on Non-Visual Effects of Light - Recommending Proper Light at the Proper Time, 2nd edition (October 3, 2019) • CIE TN 011:2020 What to document and report in studies of ipRGC-influenced responses to light • prace CIE (ang. <i>International Commission on Illumination</i>) nad poprawkami do: PN-EN 12665:2008 „Światło i oświetlenie. Podstawowe terminy oraz kryteria określania wymagań dotyczących oświetlenia”, PN-EN 12464-1:2011 „Światło i oświetlenie. Oświetlenie miejsc pracy. Część 1: Miejsca pracy we wnętrzach” [22]

z proponowanych systemów, niedosyt inicjatyw politycznych i społecznych, brak koordynacji pomiędzy dostawcami elementów rozwiązań HCL, wyższe ceny produktów zaliczanych do tej grupy oraz niedoskonałości w systemach sprzedaży tych rozwiązań. Firmy zajmujące się badaniem trendów rynkowych na zlecenie organizacji branżowych prognozują wartość rynku HCL. W 2013 roku A.T. Kearney przewidywała, że wartość rynku produktów i rozwiązań HCL uzyska wartość od 0,87 do 1,4 mld euro w 2020 roku [23]. W 2019 szwedzka Meemoori Research opublikowała raport o perspektywach HCL, zgodnie z którym Europa przoduje pod względem rozwiązań HCL z rynkiem o wartości 395 mln USD (46% globalnego rynku), następną jest Ameryka Północna z 238,3 mln USD (28%) oraz region Azji i Pacyfiku z 181,7 mln USD (21%) [24]. Zakłada się, że rozwiązania oparte o HCL mogą podnieść produktywność (mniej błędów i większa motywacja) o 4,5–7,7% w środowisku pracy biurowej [23]. Jednak trzeba mieć na uwadze, że realne oszczędności, biorące pod uwagę korzyści związane ze zwiększeniem wydajności pracowników i mniejszymi wydatkami na koszty opieki medycznej, trudno jest skalkulować. Prawdopodobnie będzie je można ocenić po paru latach funkcjonowania systemów HCL w biurach. Inna agencja, BIS Research, oszacowała wartość technologii oświetleniowych opartych o idee HCL na 3,91 mld USD w 2024 roku [25].

• PODSUMOWANIE

Wiadomo już, że organizm ludzki jest najlepiej przystosowany do dobowych, rocznych, sezonowych cyklicznych zmian światła oraz że to one wraz z innymi czynnikami warunkują jego prawidłowe funkcjonowanie. Nie ma jeszcze jednoznacznej odpowiedzi, jak właściwie projektować systemy oświetlenia, aby ich wpływ na funkcje wzrokowe i pozawzrokowe był możliwie najbardziej pozytywny. Niemniej jednak wiemy, że oświetlenie elektryczne powinno zmieniać się dynamicznie i być projektowane w synergii z dostępnym oświetleniem dziennym, w co wpisuje się koncept HCL. Skuteczne biologicznie oświetlenie elektryczne musi być zbliżone w swoich parametrach częstotliwości zmian oraz charakterystyce do spektrum światła dziennego. Dynamiczny rozwój technologii SSL sprawia, że projektanci ciągle uczą się, jak je prawidłowo i innowacyjnie stosować do tworzenia oświetlonych wnętrz, które coraz lepiej odpowiadają na wzrokowe, psychiczne i biologiczne potrzeby ich użytkowników. Koncept HCL stawia te potrzeby na pierwszym miejscu, co wydaje się dobrym początkiem poszukiwań projektowych.

Literatura

1. P.R. Boyce, „Editorial: Exploring human-centric lighting”, *Lighting Research & Technology* 2016, t. 48, nr 101.
2. M.B.C. Aries, M.P.J. Aarts, J. van Hoof, „Daylight and health: A review of the evidence and consequences for the built environment”, *Lighting Research and Technology* 2013, t. 47, nr 1.
3. P. Khademagha, M.B.C. Aries, A.L.P. Rosemann, E.J. van Loenen, „Implementing non-image-forming effects of light in the built environment: A review on what we need”, *Building and Environment* 2016, t. 108.
4. M. Andersen, S.J. Gochenour, S.W. Lockley, „Modelling non-visual

effects of daylighting in a residential environment”, *Building and Environment* 2013, t. 70.

5. G.C. Brainard, J.P. Hanifin, J.M. Greeson, B. Byrne, G. Glickman, E. Gerner, M.D. Rollag, „Action spectrum for melatonin regulation in humans: evidence for a novel circadian photoreceptor”, *The Journal of Neuroscience* 2001, t. 21, nr 16.
6. J. Zawilska, K. Czarnańska, „Melanopsyna – nowo odkryty chronobiologiczny receptor światła”, *Postępy Biologii Komórki* 2006, t. 33, nr 2.
7. G.C. Brainard, J.P. Hanifin, „Action Spectrum for Melatonin Suppression: Evidence for a Novel Circadian Photoreceptor in the Human Eye”, w: *Biologic Effects of Light 2001*, 2001.
8. S. Aubin, R. Kupers, M. Ptito, P. Jennum, „Melatonin and cortisol profiles in the absence of light perception”, *Behavioural Brain Research* 2017, t. 317.
9. S.L. Chellappa, R. Steiner, P. Blattner, P. Oelhafen, T. Götz, C. Cajochen, „Nonvisual effects of light on melatonin, alertness and cognitive performance: Can blue-enriched light keep us alert?”, *PLoS ONE* 2011, t. 6, nr 1.
10. S. Manka, E. Majewska, „Immunoregulatory action of melatonin. The mechanism of action and the effect on inflammatory cells”, *Postępy Higieny i Medycyny Doświadczalnej* 2016, t. 70, nr 0.
11. R. Leproult, T. Copinschi, O. Buxton, E. Van Cauter, „Sleep Loss Results in an Elevation of Cortisol Levels the Next Evening”, *Sleep* 1997, t. 20, nr 10.
12. A. Wolska, „Barwa światła a poziom czujności człowieka”, *Przeгляд Elektrotechniczny* 2015, t. 1, nr 7.
13. A. Borisuit, „The Impact of Light Including Non-Image Forming Effects on Visual Comfort”, *EPFL PHD* 2013, t. 6007.
14. S. Walerczyk, „Human Centric Lighting”, *Architectural SSL*, 2012, nr 5.
15. M. Andersen, J. Mardaljevic, S.W. Lockley, „A framework for predicting the non-visual effects of daylight – Part I: Photobiology-based model”, *Lighting Research & Technology* 2012, t. 44.
16. J. Mardaljevic, M. Amado, N. Roy, J. Christoffersen, „A framework for predicting the non-visual effects of daylight – Part II: The simulation model”, *Lighting Research & Technology* 2014, t. 46, nr 1.
17. M.S. Rea, M.G. Figueiro, A. Bierman, J.D. Bullough, „Circadian light”, *Journal of Circadian Rhythms* 2010, t. 8, nr 1.
18. „WELL Building Standard v1 (Q1 2018 addenda)”, 2018.
19. A. Jagannath, L. Taylor, Z. Wakaf, S.R. Vasudevan, R.G. Foster, „The genetics of circadian rhythms, sleep and health”, 2017.
20. M. Münch, A.E. Brondsted, S.A. Brown, A. Gjedde, T. Kantermann, K. Martiny, D. Mersch, D.J. Skene, A. Wirz-Justice, „The effect of light on humans”, w: *Changing perspectives on daylight: science, technology, and culture*, 2017.
21. M. Aleksynska, J. Berg, D. Foden, H. Johnston, A. Parent-Thirion, J. Vanderleyden, „Working conditions in a global perspective”, 2019.
22. „Annual Report of the Chief Medical Officer 2017: Health impacts of all pollution – what do we know?”, 2017.
23. A.T. Kearney, „Human Centric Lighting: Going Beyond Energy Efficiency”, 2016.
24. Meemoori Research, „The Human Centric Lighting Market 2019 to 2024 Global Market. Prospects, Impacts & Opportunities”, 2019.
25. „Global Human Centric Lighting Market Value and Volume – Analysis and Forecast (2017–2024)”, 2018.