



PISMO POLSKIEGO TOWARZYSTWA PRZYRODNIKÓW IM. KOPERNIKA
WYDAWANE PRZY WSPÓŁDZIAŁE: AKADEMII GÓRNICZO-HUTNICZEJ,
MINISTERSTWA NAUKI I SZKOLNICTWA WYŻSZEGO, POLSKIEJ AKADEMII UMIEJĘTNOŚCI

TOM 119
ROK 136

PAŹDZIERNIK – LISTOPAD – GRUDZIEŃ

ZESZYT 10–12
2658–2660

ZANIECZYSZCZENIE ŚWIETLNE I JEGO WPŁYW NA LUDZI I ŚRODOWISKO NATURALNE

Karolina Weronika Warzecha (Kraków)

Streszczenie

Cykl dnia i nocy występujący na Ziemi spowodował, że zamieszkujące ją organizmy przystosowały się do panujących na niej warunków, wykształcając wewnętrzny mechanizm zegarowy generujący dobowe rytmy biologiczne. Naturalna ciemność nocy została jednak poważnie zaburzona w trakcie ostatniego stulecia przez nadmierne sztuczne oświetlenie. Zjawisko to, zwane zanieczyszczeniem świetlnym, ma obecnie zasięg globalny i dotyka każdego z nas. Wywiera ono negatywny wpływ na zdrowie psychofizyczne człowieka, zwiększając ryzyko wystąpienia wielu chorób, oraz na funkcjonowanie zwierząt i roślin, przekształcając całe ekosystemy.

Zanieczyszczenie świetlne stanowi obecnie poważny problem, z którego nie zdaje sobie sprawy duża część społeczeństwa, także w Polsce. Jednak powoływane są do życia programy oraz projekty mające na celu zbadanie tego problemu w Polsce i podejmowane są działania, aby temu zjawisku przeciwdziałać. Powinniśmy dołożyć wszelkich starań, aby zniwelować negatywny wpływ sztucznego światła na organizmy żywe na naszej planecie.

Abstract

Title:

Light pollution and its influence on human health and the environment

Day and night cycle on the Earth affects all living organisms which have adapted to its prevailing conditions and evolved an inner clock mechanism, that generate circadian rhythms. However, natural darkness of the night has been disturbed during the last century by excessive artificial light. This phenomenon, called light pollution, nowadays has global range and affects each of us. It influences negatively psychophysical human health, increasing the risk of developing various types of diseases, and worsens functioning of animals and plants, transforming entire ecosystems.

Light pollution is a serious threat currently and most of societies, also in Poland, are not aware of it. Nevertheless, projects and programmes which are designed to investigate this problem in Poland have started and several actions are undertaken to counteract this pollution. We should take any possible efforts to neutralise a negative influence of the artificial light on living organisms across our planet.

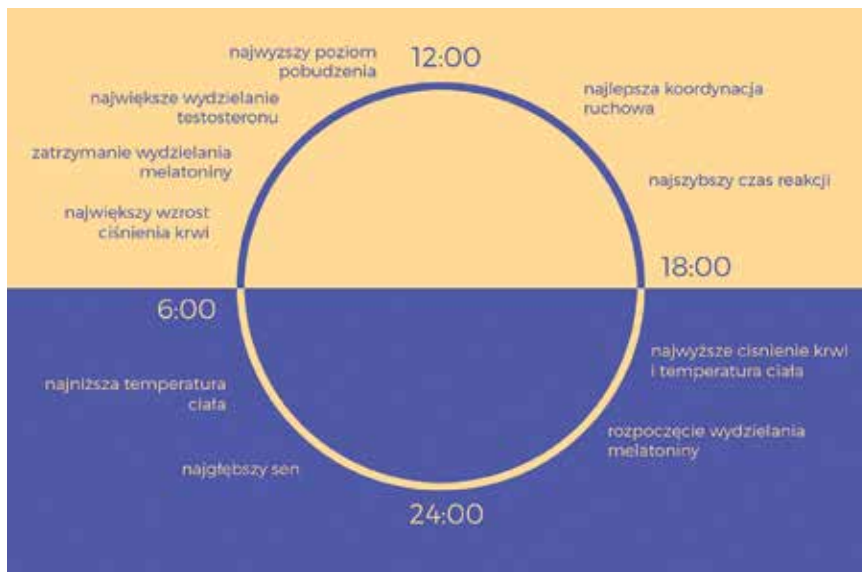
Ciemność i światło kształtujące oblicze życia

Odkąd na naszej planecie około 4 miliardy lat temu pojawiło się życie, podlegało ono ewolucji w panujących na niej warunkach. Ruchy rotacyjne Ziemi – jej obieg wokół Słońca oraz obrót wokół własnej osi – powodują odpowiednio występowanie dnia i nocy oraz następstwo pór roku. Ta cykliczna zmienność natężenia światła i temperatury zmusiła organizmy żywe do przystosowania swojej fizjologii tak, aby mogły jak najwydajniej korzystać z zasobów środowiska w jakim funkcjonują, co pozwala na osiągnięcie sukcesu reprodukcyjnego. Bezpośrednią tego konsekwencją jest występowanie różnorodnych rytmów biologicznych o endogennym pochodzeniu praktycznie u wszystkich organizmów, poczynając od jednokomórkowców bez jądra komórkowego (Prokariota), takich jak cyjanobakterie [20]. Człowiek nie jest odstępstwem od tej reguły – nasz metabolizm, układ hormonalny, aktywność psychofizyczna i wiele innych procesów i funkcji podlega wewnętrznym rytmom biologicznym, które pozostają w ścisłej relacji z procesami homeostatycznymi zapewniającymi utrzymanie szeroko pojętej równowagi, w tym równowagi czasowej w organizmie. Jedną z głównych funkcji zegara biologicznego jest generowanie m. in. stanu snu i czuwania, czym steruje głównie melatonina. Ten „hormon ciemności” syntetyzowany jest głównie w szyszynce – gruczole wydzielania wewnętrznego znajdującym się ośrodkowym układzie nerwowym. Gdy osiągnie odpowiednio wy-

Ważną właściwością charakteryzującą cykle okołodobowe, mającą znaczenie adaptacyjne, jest możliwość ich synchronizacji pod wpływem światła. Zadane w odpowiednich porach doby może ono przyspieszyć lub opóźnić fazę cyklu [16]. Umożliwia to ponowne dostrojenie wewnętrznego zegara do odmiennych warunków środowiska, spowodowanych na przykład zmianą strefy czasowej, w wyniku której doświadczamy tak zwanego syndromu „jet lag”, czyli zespołu nagłej zmiany strefy czasowej.

Wrażliwość naszego wewnętrznego oscylatora na światło ma też jednak swoje negatywne skutki. Gdy w fazie ciemnej zostanie dostarczony bodziec świetlny, nawet w formie krótkiego impulsu, może on spowodować zakłócenia rytmu, które prowadzą do rozregulowania zegara [16]. Konsekwencjami są zaburzenia wielu funkcji w organizmie i zwiększone ryzyko zapadnięcia na rozmaite choroby.

Odkąd Thomas Edison wynalazł żarówkę w 1879 roku, sztuczne oświetlenie elektryczne stało się powszechnie dostępne, z biegiem czasu w coraz większym stopniu towarzysząc człowiekowi. Dzisiaj jest wszechobecne – rozświetlone są wielkie miasta, miasteczka i wsie, wnętrza naszych domów i podwórka. Na ogromnych terenach dochodzi do poważnego zakłócenia naturalnej ciemności nocy, na co nie pozostają obojętne organizmy ludzkie, zwierzęce, całe ekosystemy i środowisko.



Ryc. 1. Procesy fizjologiczne wykazujące rytmikę okołodobową, które generowane są przez zegar biologiczny u ludzi. Poziom aktywności psychofizycznej, wydzielanie hormonów czy temperatura ciała zależą od pory dnia i nocy i są modulowane przez nasz wewnętrzny oscylator.

soki poziom, melatonina powoduje uczucie senności i zapewnia prawdziwie pokrzepiający, mocny sen. Jej wytwarzanie pozostaje pod hamującym wpływem światła i spada z wiekiem po około czterdziestym roku życia [16].

Zaśmiecanie środowiska... światłem?

Człowiek od ponad wieku na szeroką skalę zmienia naturalny krajobraz nocy, emitując ogromne ilości światła na coraz większych obszarach Ziemi – od rozbudowanych aglomeracji po małe miasteczka i wsie. Co więcej, robi to często nieumiejętnie – źle zaprojektowane lub błędnie zainstalowane oświetlenie wysyła światło, które pada niepotrzebnie na drzewa czy okna domów i często dociera także do chmur, rozświetla-

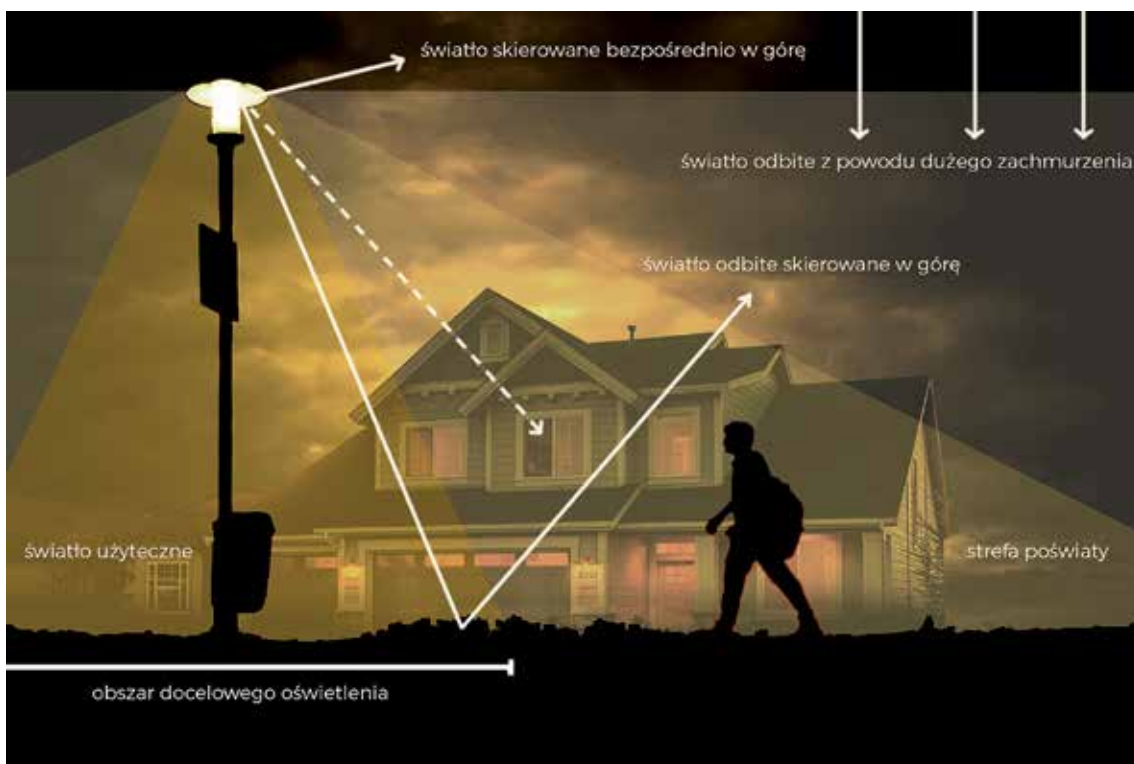
jąc je, co prowadzi do powstania tak zwanej „luny miejskiej”. Typowe, nieosłonięte latarnie uliczne wysyłają nawet 60% światła w niewłaściwym kierunku. Ponadto okazuje się, że energooszczędne oświetlenie typu LED, które stopniowo zajmuje miejsce tradycyjnego, znacznie zwiększa poziom zanieczyszczenia świetlnego – żarówki LED często emitują jaśniejsze

światło, które zawiera dużą komponentę światła niebieskiego.

Zwiększenie natężenia światła, szczególnie nocą, stanowi rzeczywiste zanieczyszczenie. Aż dwie trzecie populacji ludzkiej zamieszkuje tereny poważnie zanieczyszczone przez światło. W Europie połowa ludności nie doświadcza nieba ciemniejszego

– tła są od 20 do 50% jaśniejsze na przedmieściach, i 20–30% jaśniejsze w centrum miasta niż w pozostałej części roku.

Najciemniejszych miejsc na Ziemi, w których można obserwować gwiazdy, jest coraz mniej, a poziom iluminacji nieba (tak zwanej „łuny nieba”) rośnie w zastraszającym tempie – w Stanach Zjednoczonych



Ryc. 2. Nieprawidłowe oświetlenie emituje światło poza docelowy obszar, rozświetlając nadmiernie ulice, niebo i wpadając do mieszkań oraz domów, powodując zanieczyszczenie świetlne. Na podstawie: Anezka Gocova “The Night Issue”, Alternatives Journal 39:5 (2013) (zmodyfikowane).

niż podczas pełni Księżyca. 97% obywateli Stanów Zjednoczonych i 96% Unii Europejskiej zamieszkuje tereny będące zawsze przynajmniej tak jasne, jak występujące naturalnie przy Księżycu w kwadrze. W centralnej Europie, USA, Japonii czy Korei Południowej jest wiele miejsc, w których natężenie światła nie spada poniżej poziomu naturalnie występującego w czasie zmierzchu – nigdy nie zapada tam noc [3].

Szacuje się, że nad Polską zanieczyszczone jest nawet 96,8% nieba. Wielu z nas nie ma szans na doczekanie się pierwszej gwiazdki w Wigilijny wieczór... Szczególnie, iż obserwacje nocnego nieba mogą być utrudnione w okresie świątecznym z powodu bożonarodzeniowych iluminacji. Są one wyjątkowo popularne w USA i, jak donosiło International Dark-Sky Association (IDA) w 2009 roku, podnoszą one poziom zanieczyszczenia nawet o 10% w skali kraju. Według danych dostarczonych przez NASA (National Aeronautics and Space Administration) i NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) w 2014 roku, w okresie świątecznym nocne świa-

ta nawet o 6% w skali roku (IDA, 2007). Astronomiczne zanieczyszczenie światłem odnosi się do rozmywania gwiazd i innych ciał niebieskich przez światło z Ziemi skierowane ku górze. Natomiast przez ekologiczne zanieczyszczenie światłem, określane także jako fotozanieczyszczenie, rozumiemy sztuczne światło niekorzystnie wpływające na dziką przyrodę. Co jednak ze sztucznym światłem wpływającym bezpośrednio na organizm ludzki?

Sztuczne światło a ludzkie zdrowie

Problem wpływu sztucznego światła na ludzkie zdrowie coraz mocniej przykuwa uwagę badaczy na całym świecie, dzięki czemu pojawia się coraz więcej odpowiedzi na nurtujące nas pytania. Zaobserwowano, iż szczególnie wpływ na zegar biologiczny ma krótkofalowe światło niebieskie, zarówno gdy występuje samo, jak i gdy stanowi większą komponentę światła polichromatycznego [2]. Tego typu promieniowanie emitują w szczególności urządzenia

elektroniczne, takie jak ekrany telewizorów czy smartfony. Niebieskie światło wzmacnia naszą czujność nawet wtedy, gdy jesteśmy na nie wystawieni w trakcie snu (co skutkuje pogorszeniem jakości odpoczynku), z łatwością desynchronizuje nasz wewnętrzny oscylator oraz obniża poziom melatoniny [2].

Wykazano, iż wraz z wystawieniem na sztuczne światło w nocy (ang. *artificial light at night* - ALAN) wzrasta ryzyko zachorowania na raka piersi, prostaty oraz płuc [8] [9] [11]. Szczególnie narażone na nowotwory piersi są osoby pracujące na nocną zmianę [4]. Wykazują one także znacznie obniżony poziom melatoniny w organizmie, w porównaniu do pracowników aktywnych w ciągu dnia [6]. Niektóre badania wskazują na związek pomiędzy intensywnością sztucznego światła, na które były wystawione kobiety w trakcie snu (zostawiając na przykład włączoną lampkę nocną), a zachorowalnością na raka piersi [10], [17]. Pokazano również, że osoby, które śpią w mniej oświetlonych pokojach są rzadziej otyłe [14]. Wystawienie na ALAN jest skorelowane z wyższymi wskaźnikami BMI [18] oraz podwyższonym ciśnieniem krwi u badanych [19]. Powoduje ono, że cierpimy na bezsenność bądź trudniej zasypiamy, a gdy już zdołamy zapaść w sen, jego jakość jest znacznie gorsza – zmniejsza się w nim udział głębokiego, wolnofalowego snu [2].

Ekspozycja na sztuczne światło w porach nocnych ma negatywny wpływ na funkcje metaboliczne organizmu (co może prowadzić do otyłości czy cukrzycy typu II), na układ krążenia czy na psychikę, działając jako czynnik stresowy. Ma zły wpływ także na system odpornościowy [7]. Wystawienie na ALAN, przez jego negatywny wpływ na sen, może pośrednio zwiększać ryzyko zapadnięcia na choroby neurodegeneracyjne, takie jak choroba Alzheimera czy Parkinsona.

Ekologiczne implikacje ALAN

Wprowadzenie sztucznego oświetlenia na ogromnych obszarach na świecie nie tyle zachwiało, co mocno zaburzyło naturalny cykl dnia i nocy panujący na naszej planecie. Wiele gatunków, przystosowanych w wyniku długotrwałych procesów ewolucyjnych do określonych warunków panujących na Ziemi, znalazło się w tragicznym położeniu w świecie zanieczyszczonym nadmierną ilością światła.

Sztuczne źródła światła są mylone przez zwierzęta z naturalnymi, co wpływa na szereg ich zachowań. Wykazano, że światło może modulować funkcjonowanie pętli hormonalnych istotnych dla mechanizmów reprodukcyjnych szczurów [12] i gerbili [22], co jest bezpośrednim powodem zmniejszenia płod-

ności tych zwierząt. Szczególnie w przypadkach, gdy jasność nieba nigdy nie spada poniżej poziomu typowego zmierzchu, wystąpienie zakłóceń mechanizmów rozrodu jest bardzo prawdopodobne dla wielu gatunków [3].

Dynamika interakcji drapieżnik-ofiara zmienia się w zależności od poziomu oświetlenia otoczenia. Interakcje te są ważnym czynnikiem wpływającym na wiele decyzji podejmowanych przez zwierzę, związanych z żerowaniem czy wyborem partnera. Pod presją czynnika, jakim jest sztuczne światło, niektóre zwierzęta zmieniają także sposoby zdobywania pożywienia bądź komunikacji. Stąd zmiany w intensywności oświetlenia otoczenia mogą spowodować zmiany ekosystemów na dużą skalę [15]. Wiadomo, że naturalne cykle księżycowe mają bardzo znaczący wpływ na interakcje drapieżnik-ofiara. Skoro więc w niektórych częściach świata sztuczne nocne oświetlenie może jeszcze przewyższać intensywnością światła księżyca, można się spodziewać, iż może ono mieć jeszcze bardziej znamienity wpływ na dynamikę ekosystemów.

Wystawienie zwierząt migrujących na lunę światła na niebie, szczególnie w okolicach większych miast, może mieć poważny wpływ na ich wzorce migracyjne. Takie zmiany zostały już dawno udokumentowane u wron [21] i wciąż przybywa nowych doniesień w tej kwestii. W niektórych przypadkach migrujące ptaki zostają przyciągnięte i zdezorientowane przez sztuczne nocne oświetlenie wielkich miast, gdzie mogą zderzyć się z szybami wieżowców, bądź po prostu zabłądzić, nie trafiając na docelowe żerowisko. Przez ALAN ptaki mogą także pomylić się przy wyborze czasu odlotu. Nocni wędrowcy, dla których punktami orientacyjnymi są gwiazdy wokół Gwiazdy Polarnej, są często osłepieni nadmiarowym sztucznym światłem emitowanym z powierzchni naszej planety.

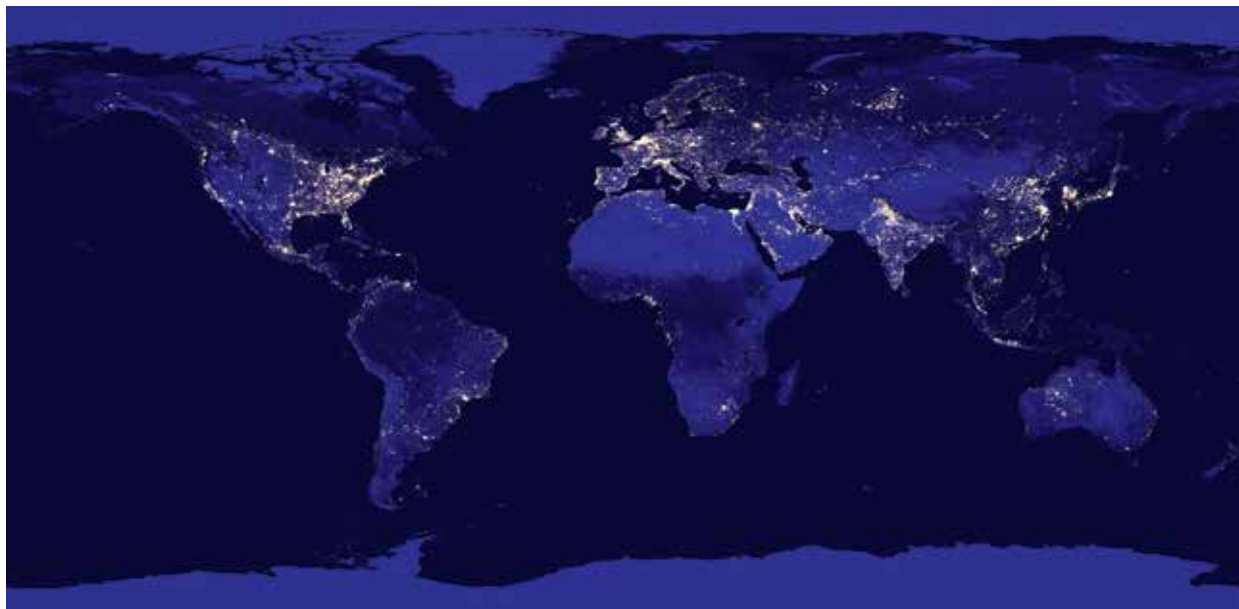
Wykazano, że zanieczyszczenie światłem ma negatywny wpływ także na rośliny. Sztuczne światło może hamować wzrost wodnych mikroskopijnych zbiorowisk roślinnych zwanych peryfitonem [5]. Wpływ nie ogranicza się jednak tylko do mniejszych roślin – doniesiono negatywny wpływ ALAN także na mietlicę (*Agrostis L.*) [1]. Zaobserwowano również, że drzewa liściaste rosnące blisko latarni ulicznych dłużej zatrzymują liście – pierwsze takie doniesienia pochodzą już z 1936 roku [13].

Świadomość społeczna i obrońcy nocy w Polsce

Sztuczne światło, nadużywane i wszechobecne, jest cichym zabójcą, który nie zwraca na siebie zbytnej uwagi mediów. Dzisiejszy stan wiedzy pozwala

postulować, iż jest to problem, który, choć stosunkowo lekceważony, jest co najmniej tak niebezpieczny dla życia na Ziemi jak zanieczyszczenie powietrza czy wody, a na poparcie tej tezy przybywa z czasem coraz więcej dowodów.

rocznie Ogólnopolska Konferencja nt. Zanieczyszczenia Światłem oraz Festiwal Ciemnego Nieba, czyli wieczór pod gwiazdami i z muzyką na żywo, organizowany na terenie pierwszego w Polsce obszaru redukcji zanieczyszczenia sztucznym światłem



Ryc. 3. Night Lights 2012 - Flat map (Źródło: NASA Earth Observatory). Ziemia nocą. Szczególnie rozświetlona jest Europa, wschodnia część Stanów Zjednoczonych oraz wschodnia Azja. Zdjęcie NASA Earth Observatory autorstwa Roberta Simmona, złożone z danych zebranych w ciągu 9 dni w kwietniu 2012 roku i 13 dni w październiku 2012 roku przez satelitę Suomi National Polar-orbiting Partnership. Suomi NPP jest rezultatem współpracy pomiędzy NASA, NOAA i Departamentem Obrony Stanów Zjednoczonych.

W listopadzie 2015 roku TNS Polska przeprowadziło na zlecenie Ministerstwa Środowiska badanie opinii publicznej „Problem hałasu, odorów i zanieczyszczenia światłem w oczach Polaków”. Wynika z niego, że obywatele kraju nad Wisłą przeważnie nie doceniają problemu, jakim jest zanieczyszczenie świetlne i rzadko zauważają go w swoim otoczeniu. Zdecydowana większość, niezaznajomiona z pojęciem, próbuje utożsamiać to zjawisko z zagadnieniem oszczędności energii elektrycznej, nie dostrzegając aspektów ekologicznych i zdrowotnych, które wiążą się z zanieczyszczeniem świetlnym.

Mimo to w Polsce znaleźć można ludzi, którzy są świadomi problemu i aktywnie działają na rzecz zmniejszenia poziomu zanieczyszczenia świetlnego i ochrony naturalnej nocy. W 2004 roku Zarząd Stowarzyszenia POLARIS – OPP, organizacji pożytku publicznego mającej na celu aktywizację społeczeństwa poprzez popularyzację astronomii i pokrewnych nauk ścisłych, powołał do życia program „Ciemne Niebo”. Jego celem jest między innymi określenie i promowanie odpowiednich projektów urządzeń oświetleniowych dostępnych na polskim rynku, nawiązywanie dialogu z lokalnymi władzami i zarządcami oświetlenia w celu redukcji zanieczyszczenia, czy promocja ochrony ciemnego nieba w mediach. Z ramienia Programu od 2013 roku odbywa się co-

CN-001 w Sopotni Wielkiej.

Ponadto obecnie naukowcy z Centrum Badań Kosmicznych PAN przeprowadzają badania aktualnego zróżnicowania zanieczyszczenia świetlnego w Polsce. Projekt o nazwie „Źródła zanieczyszczenia światłem w Polsce (ang. Light Pollution Sources in Poland - LiPS)” jest dofinansowany przez Narodowe Centrum Nauki w programie Sonata Bis. Zespół badaczy opracowuje mapy nocnego nieba o wysokiej rozdzielczości oraz ogólnodostępną mapę interaktywną, na której każdy będzie mógł sprawdzić poziom natężenia zanieczyszczenia światłem w dowolnym miejscu Polski. Uzyskane w ten sposób wyniki będzie można wykorzystać na przykład w dyskusjach z lokalnymi władzami, apelując o wymienienie oświetlenia na mniej szkodliwe. Naukowcy planują także stworzyć model komputerowy wyliczający poziom jasności nocnego nieba, który będzie umożliwiał prognozowanie zmian w miejscowym natężeniu zanieczyszczenia pod wpływem wprowadzenia do układu nowych źródeł oświetlenia. Narzędzie to między innymi ułatwi projektowanie oświetlenia przyjaznego dla naturalnego środowiska. W badaniach wykorzystane zostaną zarówno dane z nowych instrumentów meteorologicznych, jak i zdjęcia wykonane z Międzynarodowej Stacji Kosmicznej.

Co dalej?

Problem zanieczyszczenia świetlnego dotyczy całej naszej planety i znacząco wpływa zarówno na jakość życia oraz zdrowie ludzi, jak i na funkcjonowanie pozostałych organizmów żywych zamieszkujących Ziemię. Nieostrożność, nieodpowiedzialność i niedostateczna obserwacja skutków naszych działań sprawiła, że doprowadziliśmy do sytuacji, w której znacznie naruszyliśmy fenomen leżący u podstaw genezy i ewolucji życia – czyli dobową fluktuację naturalnego środowiska planety. Naszym obowiązkiem i powinnością jest troska o dobrobyt Ziemi i rezydujących na niej gatunków, z którymi jesteśmy powiązani wielorakimi zależnościami. Powinniśmy dołożyć wszelkich starań, aby maksymalnie ograniczyć negatywny wpływ sztucznego światła i jego niepotrzebną emisję do środowiska, co zarazem pozwoli zaoszczędzić energię i pomoże zmniejszyć efekt cieplarniany.

Aby ten ważny cel miał szanse na spełnienie, w jego realizację powinny zaangażować się lokalne i państwowe władze – przykładowo promując zmianę nawyków dotyczących oświetlenia. Istnieje także potrzeba zmiany sposobu myślenia o kwestiach związanych z oświetleniem całego społeczeństwa, poprzez stopniową zmianę sposobu myślenia każdego z nas z osobna. Kluczem do zajścia tego procesu jest prawdziwe zrozumienie zagadnienia, które to może się urzeczywistnić dzięki edukacji, zarówno dzieci jak i dorosłych, obrazowym przedstawianiu problemu oraz wyjaśnianiu, jak jego implikacje dotyczą każdego organizmu na Ziemi – w tym, pośrednio i bezpośrednio - nas. Jeśli nam się to uda, za pewien czas być może będziemy w stanie zachwycać się pięknem Wszechświata z progów naszych domów – nie ważne czy mieszkamy na wsi, na przedmieściach, czy w centrum miasta.

Bibliografia:

1. Bennie, J. et al. (2017). Artificial light at night alters grassland vegetation species composition and phenology. *Journal of Applied Ecology*, 55, 442–450.
 2. Cho et al. (2015). Effects of artificial light at night on human health: A literature review of observational and experimental studies applied to exposure assessment. *Chronobiology International*, doi: 10.3109/07420528.2015.1073158
 3. Cinzano, P. et al. (2001). The first World Atlas of the artificial night sky brightness. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 328, 689–707.
 4. Davis S, Mirick DK, Stevens RG. (2001). Night shift work, light at night, and risk of breast cancer. *J Natl Cancer Inst.* 93: 1557–1562.
 5. Grubisic, M. et al. (2017). Artificial light at night decreases biomass and alters community composition of benthic primary producers in a sub-alpine stream. *Limnology and Oceanography*, 62(6), 2799–2810.
 6. Grundy A, Sanchez M, Richardson H, et al. (2009). Light intensity exposure, sleep duration, physical activity, and biomarkers of melatonin among rotating shift nurses. *Chronobiol Int.* 26: 1443–1461.
 7. Haim A, Portnov BA. (2013). *Light pollution as a new risk factor for human breast and prostate cancers*. Dordrecht, Heidelberg, New York, London: Springer.
 8. Kloog I, Haim A, Stevens RG, et al. (2008). Light at night codistributes with incident breast but not lung cancer in the female population of Israel. *Chronobiol Int.* 25:65–81.
 9. Kloog I, Haim A, Stevens RG, et al. (2009). Global co-distribution of light at night (LAN) and cancers of prostate, colon, and lung in men. *Chronobiol Int.* 26:108–25.
 10. Kloog I, Portnov BA, Rennert HS, et al. (2011). Does the modern urbanized sleeping habitat pose a breast cancer risk? *Chronobiol Int.* 28:76–80.
 11. Kloog I, Stevens RG, Haim A, et al. (2010). Nighttime light level codistributes with breast cancer incidence worldwide. *Cancer Causes Control.* 21:2059–2068.
 12. Longcore, T. i Rich, C. (2004). *Ecological Light Pollution*. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 2, 191.
 13. Matzke E. (1936). The effect of street lights in delaying leaf-fall in certain trees. *American Journal of Botany*
 14. McFadden E, Jones ME, Schoemaker MJ, et al. (2014). The relationship between obesity and exposure to light at night: Cross-sectional analyses of over 100 000 women in the Breakthrough Generations Study. *Am J Epidemiol.* 180:245–250.
-

15. Navara, K. J. i Nelson, R. J. (2007). The dark side of light at night: Physiological, epidemiological, and ecological consequences. *Journal of Pineal Research*, 43, 215–224.
16. Nowak J. i Zawilska J. (1998). Zegar biologiczny i rytmika okołodobowa. *Farmakoterapia w psychiatrii i neurologii*, 98, 15–32.
17. O’Leary ES, Schoenfeld ER, Stevens RG, et al. (2006). Shift work, light at night, and breast cancer on Long Island, New York. *Am J Epidemiol*. 164:358–366.
18. Obayashi K, Saeki K, Iwamoto J, et al. (2013). Exposure to light at night, nocturnal urinary melatonin excretion, and obesity/dyslipidemia in the elderly: A cross-sectional analysis of the HEIJO-KYO study. *J Clin Endocrinol Metab*. 98:337–344.
19. Obayashi K, Saeki K, Iwamoto J, et al. (2014). Association between light exposure at night and nighttime blood pressure in the elderly independent of nocturnal urinary melatonin excretion. *Chronobiol Int*. 31:779–786.
20. Pando, B. F., & Oudenaarden, A. V. (2010). Coupling cellular oscillators—circadian and cell division cycles in cyanobacteria. *Current Opinion in Genetics & Development*, 20, 613–618.
21. Rowan W. (1925). Relation of light to bird migration and developmental changes. *Nature*; 115:494–495.
22. Thomas, BB. I Oomman, MM., (2001). Constant light and blinding effects on reproduction of male South Indian gerbils. *Journal of Experimental Zoology*, 289(1), 59–65.

Karolina Weronika Warzecha, e-mail:karolina.warzecha@student.uj.edu.pl

CZY MOŻNA UJARZMIĆ EWOLUCJĘ, CZYLI SŁÓW KILKA O UKIERUNKOWANEJ EWOLUCJI ENZYMÓW

Ewa Kot, Katarzyna Kurpiewska, Maciej Szaleniec (Kraków)

Streszczenie

Ewolucja jest procesem, który przez miliardy lat doprowadził do przeobrażenia prymitywnych komórek pierwotnego życia w cały niesamowicie skomplikowany i bioróżnorodny ekosystem naszej planety. W procesie ewolucji przeobrażeniom uległy wszystkie komponenty budujące komórki żywe, w tym również białkowe enzymy przyspieszające reakcje chemiczne. Obecnie enzymy coraz chętniej wykorzystujemy w przemyśle. Dzięki technikom biologii molekularnej i inżynierii genetycznej możliwe stało się ich modyfikowanie, dzięki czemu uzyskują one zdolność do katalizowania przemian chemicznych, które nie mają swojego odpowiednika w organizmach żywych. W chwili obecnej jedną z bardziej obiecujących metod takich modyfikacji jest ukierunkowana ewolucja enzymów. W uznaniu przełomowego znaczenia molekularnych technik ewolucyjnych dla nauki, 3 października 2018 roku Królewska Szwedzka Akademia Nauk ogłosiła zwycięzców tegorocznej Nagrody Nobla z Chemii. Nagrodę, przyznaną za „wykorzystanie mechanizmów ewolucji”, podzielono na dwie części – pierwszą część przyznano pani Frances H. Arnold z Caltech w Kalifornii, drugą zaś Georgowi Smithowi z University of Missouri w stanie Kolumbia oraz Sir Gregorowi P. Winterowi z MRC Laboratory of Molecular Biology w Cambridge w Wielkiej Brytanii. Metoda ukierunkowanej ewolucji enzymów rozwinięta przez profesor Arnold, piątą kobietę w historii uhonorowaną Nagrodą Nobla, została przybliżona w niniejszym artykule.

Abstract

Evolution is a remarkable process which through billions of years led to the transformation of primitive cells of the primordial life into the incredibly complex and biodiverse ecosystem of our planet. In the process of evolution all components building a living cell underwent transformations, including also protein enzymes which accelerate chemical reactions. Nowadays enzymes are increasingly more frequently applied in