

JOANNA KOSTECKA

Katedra Biologicznych Podstaw Rolnictwa i Edukacji Środowiskowej, Wydział Biologiczno-Rolniczy Uniwersytetu Rzeszowskiego, e-mail: jkosteck@ur.edu.pl

ZANIECZYSZCZENIE SZTUCZNYM ŚWIATŁEM A ŚWIADCZENIA EKOSYSTEMÓW I ZDROWIE CZŁOWIEKA

W publikacji zaprezentowano krótką historię sztucznego światła, podkreślając jego zbawienny wpływ na rozwój cywilizacji, ale także pokazując skutki foto-zanieczyszczenia związanego z marnowaniem energii i brakiem upowszechnienia informacji o ekologicznych, społecznych i ekonomicznych skutkach niefrasobliwego gospodarowania światłem. Szczególną uwagę zwrócono na potencjalnie negatywny wpływ sztucznego oświetlenia na świadczenia ekosystemów, które opierają się o różnorodność biologiczną Planety a ta niejednokrotnie zmienia się pod wpływem sztucznego światła.

Słowa kluczowe: foto-zanieczyszczenie, świadczenia ekosystemów, różnorodność biologiczna, zdrowie ludzi

I. WSTĘP

Odkąd ludzie nauczyli się samodzielnie rozniecać i podtrzymywać płomień, świat wokół nich bardzo istotnie się zmienił. Sztuczne oświetlenie przedłużyło czas aktywności, przyspieszyło rozwój mowy, wpłynęło na ewolucję wielu zachowań i zwyczajów.

Schylek starożytności zastał człowieka z łuczywem, pochodnią, lampą oliwną i świecą w dłoni ale dostęp do oświetlenia sztucznego w owym czasie i przez wiele następnych stuleci był luksusem, gdyż oliwa do lamp i same lampy a zwłaszcza woskowe świece (aż do drugiej połowy XVIII wieku) były bardzo drogie. Na początku drugiej połowy XIX wieku człowiek miał już do dyspozycji nowoczesne publiczne oświetlenie gazowe i łukowe ale prywatnie nadal musiał zadowolić się nową generacją świeczek i lamp olejnych - usilnie poszukiwano więc sposobu na tanie i lepsze oświetlanie mieszkań. W 1853 roku, Ignacy Łukasiewicz wydestylował naftę i skonstruował lampę umożliwiającą jej bezpieczne spalanie. Po kolejnych udoskonaleniach, to lampa naftowa stała się najpopularniejszym urządzeniem służącym do oświetlania ludzkich siedzib. Obecnie świat niepodzielnie opanowało oświetlenie elektryczne, przechodząc w kolejnych dziesięcioleciach przez ulepszenia i adaptując pomysły na wydajniejsze a potem energooszczędne lampy specjalistyczne i te, które stosujemy w życiu codziennym [Żukow-Karczewski 2017].

Sztuczne światło ma różne pozytywne oblicza. Jego użycie np. zrewolucjonizowało i nadal ma wpływ na produkcję ogrodnictwa. Doświetlanie upraw jest powszechnie wykorzystywane do poprawy plonowania i jakości wielu roślin. Krzywińska i współautorzy badali wpływ barwy światła na pędzenie czosnku „Ivory Queen” wskazując, że można go pędzić w doniczkach stosując światło niebieskie przez 12 godzin dziennie [Krzywińska i in. 2017].

Woźny i Rymarz [2017] badali ukorzenianie chryzantem doświetlając je aby pozyskać prawidłowo wykształcone i dobrze ukorzenione sadzonki. W przeprowadzonym doświadczeniu badali możliwość zastosowania światła emitowanego przez diody w trakcie ukorzeniania sadzonek trzech odmian chryzantemy wielkokwiatowej. Wykazali, iż na etapie ukorzeniania sadzonek, lampy do doświetlania roślin zbudowane w technologii LED mogą z powodzeniem zastąpić lampy sodowe (HPS) jako dodatkowe źródło światła. Oznacza to mniejsze zużycie energii w porównaniu z konwencjonalnymi lampami sodowymi i z pewnością zwiększy opłacalność całorocznej produkcji chryzantem.

Czy sztuczne światło powinno się jednak kojarzyć wyłącznie jako dobrodziejstwo cywilizacyjne? Niestety okazuje się, że niewielu ludzi zdaje sobie sprawę z tego że nie, choć naukowcy od dłuższego czasu próbują przekazać do wiedzy publicznej bardzo istotne wyniki obserwacji i badań na temat tzw. foto-zanieczyszczenia [Skwarło-Sońta 2015].

Foto- zanieczyszczenie wiąże się z faktem, że w obszarach najbardziej zurbanizowanych jasność nocnego nieba jest tak duża, że widoczne są tylko najjaśniejsze gwiazdy. Z badań przeprowadzonych przez *Light Pollution Science and Technology Institute* wynika, że około 50% mieszkańców Unii Europejskiej żyje na obszarach, w których niebo nigdy nie jest ciemniejsze niż jak podczas pełni Księżyca. Możemy w związku z tym mówić o „astronomicznym zanieczyszczeniu światłem”, które obserwuje się gdy gwiazdy i inne ciała niebieskie są rozmywane przez światło skierowane lub odbijane ku górze.

Zanieczyszczenie świetlne generowane jest przez liczne obiekty infrastruktury komunikacyjnej (m.in. oświetlenie uliczne, latarnie morskie, lotniska, parkingi, mosty), rozmaite budowle i tereny rekreacyjne (m.in. oświetlenie budynków mieszkalnych, sakralnych, użyteczności publicznej, zabytków, kominów, wież, obiektów przemysłowych, parków miejskich, obiektów sportowych, instalacje reklamowe), billboardy, neonowe reklamy i sklepowe witryny. Sztuczne światło to także problem energii, która musi być wyprodukowana i zużyta do jego wytworzenia. Mniejsza ucieczka sztucznego światła, to zatem mniejsze straty energii elektrycznej. Nieprawidłowe gospodarowanie światłem jest więc niekorzystne z punktu widzenia organizacji społeczeństw w zgodzie z koncepcją zrównoważonego rozwoju [Kozłowski 2008]. W Europie każdego roku energia elektryczna o wartości większej niż 1,7 miliarda euro, rozprzestrzenia się pod postacią sztucznego światła ulatując w kosmos. Ta energia jest niepotrzebnie marnowana przy czym trzeba dodać, że oświetlenie zewnętrzne wraz z zanieczyszczeniem światłem szybko wzrasta.

Rozbudowa wewnętrznych i zewnętrznych instalacji oświetleniowych nie jest zwykle właściwie zaprojektowana, toteż często duża część światła emitowanego przez to oświetlenie ucieka poza obszar, który jest celem oświetlania. Skutki powyższego można zatem zaszeregować do dwóch podstawowych płaszczyzn:

1/ tzw. zanieczyszczenie światłem (*light pollution*): gdy nadmierne światło rozprasza się w atmosferze i powoduje wzrost jasności nocnego nieba a także zaburzenie nocnego środowiska,

2/ marnotrawstwo energii: utrudniające realizację zrównoważonego rozwoju.

Świadomość społeczna o zagrożeniach płynących z szeroko rozumianego zanieczyszczenia światłem jest znikoma. Na szczęście podejmuje się coraz szerzej zakrojone programy działań aby temu przeciwdziałać [Góra 2017].

Celem obecnego opracowania jest prezentacja sztucznego światła jako osiągnięcia cywilizacyjnego ale i zanieczyszczenia środowiska (także jako zagrożenia dla świadczeń ekosystemowych). Określono także wybrane skutki oddziaływania sztucznego światła na rośliny, zwierzęta i ludzi.

II. ŚWIADCZENIA EKOSYSTEMÓW – CZYM SĄ I OD CZEGO ZALEŻĄ?

„Świadczenia ekosystemowe” lub „usługi ekosystemowe” to według Kronenberga [2012] zestaw korzyści, których środowisko przyrodnicze dostarcza społeczeństwu i gospodarce. Milenijna Syntetyczna Ocena Ekosystemów dzieli je na: zasobowe (*provisioning services*), regulacyjne (*regulating services*), wspierające (*supporting services*) i kulturowe (*cultural services*) [Millennium Ecosystem Assessment Synthesis Report 2005] i podkreśla ich znaczenie dla człowieka, roślin i zwierząt. Tak szerokie znaczenie jest akcentowane od dawna, eksponując fakt, że działanie i funkcje świadczeń ekosystemowych zależą od sprawnych powiązań i bogactwa ekosystemów w różnorodność biologiczną. W skali globalnej człowiek zależy od nich całkowicie i jako część heterotroficznej struktury biotycznej nie jest w stanie zastąpić świadczeń ekosystemowych nawet najbardziej innowacyjną technologią (dotyczy to zarówno świadczeń regulacyjnych, wspierających jak i kulturowych).

Ekspansywna działalność coraz liczniejszej populacji człowieka w różnych dziedzinach jest zagrożeniem dla różnorodności biologicznej. Wymieranie gatunków związane jest najczęściej z zanikaniem ich naturalnych siedlisk, wprowadzaniem do środowiska gatunków pochodzących z innych rejonów geograficznych, czy bezpośrednim niszczeniem osobników (zabijanie przez kłusowników, nadmierna eksploatacja, tępienie gatunków postrzeganych jako niepożądane). Zanikanie siedlisk jest m.in. wynikiem rozwoju sieci dróg, urbanizacji, eutrofizacji wód, osuszania terenów podmokłych, skażenia gleb, tworzenia upraw monokulturowych i wielu innych, w tym presji turystycznej. Obecność i skala wspomnianych problemów związana jest m.in. ze wzrastającą konsumpcją, zmianami w gospodarce, opóźnieniami we wdrażaniu technologii przyjaznych dla środowiska, ale także wynika z niskiej świadomości ekologicznej społeczeństw.

Do grupy czynników zagrażających ekosystemom i różnorodności biologicznej należy obecnie dołączyć zanieczyszczenie świetlne. Sztuczne światło zakłóca naturalne rytmy dobowe; zaburza oddziaływanie szeregu bodźców synchronizujących. Dotyczy to przede wszystkim dużej grupy organizmów prowadzących nocny tryb życia. Aktywność nocna charakteryzuje np. wszystkie gatunki nietoperzy, ponad 90% płazów, około 60% ssaków i bezkręgowców. Zaburzenia ich funkcji życiowych przekładają się na zaburzone funkcje świadczeń ekosystemowych a te są w interakcji z kilkoma grupami skutków zanieczyszczenia światłem, ważnymi dla tworzenia uwarunkowań zrównoważonego rozwoju:

- *skutki ekonomiczne* - używanie sztucznego światła w niewłaściwy, nieefektywny sposób powoduje wymierne straty związane z marnowaniem wyprodukowanej energii elektrycznej i np. pogłębia koszty neutralizacji skutków efektu cieplarnianego,

- *skutki ekologiczne* - brak ciemności w nocy zaburza naturalne cykle światła i ciemności wpływając niekorzystnie na człowieka, florę i faunę,

- *skutki społeczne*

w zakresie bezpieczeństwa - na drogach źle zaprojektowane oświetlenie uliczne pogarsza zdolność widzenia uczestnikom ruchu drogowego, zmniejszając poziom bezpieczeństwa, te z kolei mogą przełożyć się na kolejne skutki ekonomiczne,

skutki astronomiczne - zanieczyszczenie światłem rozjaśnia sztucznie nocne niebo i utrudnia, a czasem wręcz uniemożliwia astronomom obserwowanie nieba, a także ogranicza oddziaływanie emocjonalne i kulturotwórcze,

skutki w zakresie zdrowia człowieka - nadmiar sztucznego światła w nocy może prowadzić u człowieka do wielu poważnych dolegliwości i chorób (czego przykłady opisano poniżej).

Tempo obecnego wymierania gatunków trudno sobie wyobrazić dopóki za Skubałą [2008] nie zestawimy konkretnego przeliczenia: jest to albo 50 000 - 150 000 gatunków na

rok, lub jak kto woli 140 - 416 gatunków na dzień, lub co może przerazić bo trudno to zaakceptować – 6 - 17 gatunków na godzinę.

Jak twierdzi Kalinowska [2016], raport z realizacji Strategii dla Różnorodności Biologicznej 2011-2020 ostrzega, że do 2020 roku może nie udać się zahamowanie globalnego procesu utraty różnorodności biologicznej. Pierwszy ze strategicznych Celów z Aichi, prowadzących do powstrzymania tej niekorzystnej tendencji, to „uświadomienie ludziom wartości różnorodności biologicznej oraz kroków, jakie mają podjąć dla jej ochrony i użytkowania w sposób zrównoważony”. Do kształtowania tej świadomości niezbędna jest powszechnie prowadzona edukacja i komunikacja społeczna. Konwencja o różnorodności biologicznej zaleca państwom-sygnatariuszom prowadzenie takich działań.

Zważywszy, że życie na Ziemi w całym jego bogactwie i zróżnicowaniu jest dla ludzkości podstawą egzystencji we wszystkich jej wymiarach, absolutnie kluczowa jest odpowiedź na pytanie: jak spowolnić tempo dewastacji żywych zasobów naszej planety. W kręgach specjalistów utwierdza się przekonanie, że aby powstrzymać eskalację niekorzystnych zmian niezbędne jest kształtowanie nowych trendów codziennego, społecznego i indywidualnego stylu życia. Osiągnięcie takich zmian wymaga konsekwentnego rozwijania świadomości istoty zrównoważonego rozwoju u wszystkich mających wpływ na stan ekosystemów i korzystających ze świadczeń ekosystemowych. Dotyczy to wszystkich: także decydentów, producentów i konsumentów na całym świecie. Krótko mówiąc – całej społeczności światowej.

III. ODDZIAŁYWANIE SZTUCZNEGO ŚWIATŁA NA WYBRANE ORGANIZMY

Światło w rytmie dobowym dzień / noc reguluje funkcje życiowe roślin i zwierząt. Promieniowanie słoneczne docierające do powierzchni roślin podlega procesom refleksji, absorpcji i transmisji co prowadzi do zmian jego składu spektralnego. Skład spektralny i natężenie promieniowania docierającego do rośliny wywiera fundamentalny wpływ na jej wzrost i rozwój. Decyduje to nie tylko o możliwości przebiegu i wydajności procesów fotochemicznych, składających się na fotosyntezę, ale również dostarcza informacji o otaczającym środowisku, a także o porze roku, pozwalając na jak najlepszą adaptację rośliny do aktualnych warunków otoczenia w procesie fotomorfogenezy. Wykazano, że w wyniku zanieczyszczenia środowiska sztucznym światłem niektóre drzewa zrzucają liście poza cyklem, zaburzając tym samym typowy dla ekosystemu łańcuch pokarmowy. Sztuczne doświetlenie ekosystemów wodnych powoduje, że glony zwiększają produkcję. Moore i in. [2000] badając podmiejskie jeziora zanieczyszczone światłem odkryli, że *Daphnia* wykazuje w tych warunkach mniejszą amplitudę migracji w związku z czym mniej intensywnie wyjada w nocy glony. W konsekwencji – następuje wzrost troficzności wód (co jest szczególnym zagrożeniem w zbiornikach wody pitnej zanieczyszczonych światłem).

Występowanie czasu snu (odpoczynku) i aktywności (czuwania) jest głównym przejawem synchronizacji organizmów ze środowiskiem. Wykazano istnienie sezonowych procesów fizjologicznych, do których należy m.in. sezonowość rozrodu. Skażenie środowiska naturalnego światłem sztucznym prowadzi do zaburzenia funkcjonowania zegara biologicznego, w efekcie czego zwierzęta zmieniają swoje zachowania. Światło sztuczne jest błędnie interpretowane przez zwierzęta prowadzące nocny tryb życia jako nadal trwający dzień. Prowadzi to do stopniowego wydłużania czasu, podczas którego zwierzę „oczekuje na nastanie nocy” a ta ulega skróceniu, co oznacza np. mniej czasu, który zwierzę mogłoby poświęcić na polowanie. Niedożywienie wpływa z kolei na osłabienie organizmu, co może przekładać się np. na mniejszą atrakcyjność dla potencjalnego partnera. Przebywanie zwierząt w warunkach silnego stresu świetlnego może w konsekwencji prowadzić do spadku liczebności populacji danego gatunku.

Zwierzęta nie są także bezpieczne na drogach. W porze niedostatecznej widoczności nocnej, kierowcy używają świateł mijania oraz „długich” świateł drogowych w sytuacji gdy są jedynymi użytkownikami drogi. „Długie” światła co prawda znacznie poprawiają widoczność, ale podczas ich zmiany na „krótkie”, wskutek koniecznej adaptacji oczu pojawia się zjawisko *ośnienia kierowcy* (potęgowane dużym odsetkiem samochodów z nieprawidłowo wyregulowanymi światłami mijania). Z powodu automatycznego zwężenia źrenic, a nawet przymrużenia powiek u kierowcy, droga którą widzi w trakcie mijania, staje się ciemniejsza i szanse na odpowiednio wcześnie zauważenie przeszkód maleją a to obniża bezpieczeństwo ludzi i innych użytkowników przestrzeni na drogach i w ich okolicy (dotyczy więc także np. wędrujących nocą zwierząt).

W literaturze naukowej opisano przemieszczanie się młodych żółwi morskich w kierunku oświetlonych miast, zamiast do wód oceanu. Wynika to z faktu, że młode interpretują światło miejskie jako odbite na powierzchni fal oceanu światło księżyca, tuż po wykluciu się z jaj podążają więc do sztucznego światła (zamiast do odbicia Księżyca w falach oceanu) [Salmon i in. 1995].

Sztuczne światło w nocy może również wpływać na inne wodne organizmy migrujące np. ryby. Naukowcy [Nightingale i in. 2006, Riley i in. 2012a, 2012b] porównali migrację młodych łososi atlantyckich w naturalnych warunkach oświetleniowych z tymi przy sztucznym oświetleniu. Zgodnie z naturalnym światłem, migracja łososi była skorelowana z zachodem słońca. Pod wpływem stałego sztucznego oświetlenia ich migracja była przypadkowa. Perkin i współpracownicy [2013] opisali zachowanie zdolnych do migracji stadiów owadów wodnych. Są one bardzo licznie wabione przez nocne latarnie uliczne, co może powodować utrudnienia w kolonizacji nowych środowisk. Może być także przyczyną zakłócenia bezpieczeństwa ludzi, tak jak było na jednym z półwyspów w Michigan, gdy tysiące motyli pokryło światła bezpieczeństwa [Longcore i Rich 2004].

Ciekawe przystosowania u wędrownych ptaków przybrzeżnych obserwowali Dwyder i współautorzy [2013] zauważając, że niektóre ich ofiary wykorzystują ciemność jako kryjówkę przed drapieżnikami posługującymi się wzrokiem w trakcie żerowania (wtedy ich nocny tryb życia zapewnia większe bezpieczeństwo). Wykazali też, że brodziec krwawodzioby *Tringa totanus* L., ptak z rodziny bekasowatych, wykorzystuje sztuczne oświetlenie by zwiększyć efektywność nocnego żerowania. W naturalnej ciemności efektywność ta była mniejsza. Innym aspektem ułatwiającym drapieżnictwo nocą jest wykorzystywanie wabiącego oddziaływania sztucznego światła na bezkręgowce. Przy polowaniu mogą to wykorzystywać nietoperze, gady i ptaki. Wśród bezkręgowców natomiast przykład ciekawego przystosowania i wykorzystywania sztucznego światła dostarcza polujący nocą pająk *Larinioides sclopetarius*. Osobniki tego gatunku chętniej rozpinają sieci łowne w pobliżu oświetlenia wabiącego owady [Heiling 1999].

Powracając do zaburzeń z powodu sztucznego światła, można przytoczyć problem z lokalizacją samic przez samce świetlika *Lampyris noctiluca* L., obserwowany przez Bird i Parker [2014]. Zauważyli oni, że przy natężeniu sztucznego światła 0.3 lub 0.18 lx w nocy, żaden samiec świetlika nie był w stanie zlokalizować samicy. Zanieczyszczenie światłem drastycznie obniżało więc dostosowanie tych owadów do warunków środowiska.

W miejskiej populacji kosa *Turdus merula* L., eksponowanej na nocne oświetlenie stwierdzono [Dominoni i in. 2013a, 2013b] przystosowanie zachowania i rozrodu w sprzężeniu z wydzielaniem melatoniny (hormon zaangażowany w regulację rytmów okołodobowych). Mniejsze stężenie melatoniny występowało w osoczu krwi w nocy, w porównaniu do części populacji nie narażonej na ten czynnik. Zaobserwowano również większą aktywność osobników narażonych na nocne sztuczne światło rankiem i po zmierzchu. Aż o miesiąc szybciej od populacji podmiejskiej (nie narażonej na ekologiczne

zanieczyszczenie światłem), populacja miejska (narażona na ten czynnik) była gotowa do rozrodu. Co ważne, populacje z miasta i z terenów podmiejskich reagowały na nocne oświetlenie w istotnie różny sposób (populacja miejska była bardziej oporna na efekty oddziaływania sztucznego światła w nocy).

IV. SKUTKI ZANIECZYSZCZENIA ŚWIATŁEM DLA CZŁOWIEKA

Ciało fizyczne człowieka, to ciało heterotroficzne w którym rytmy dobowe regulują setki czynności życiowych, łącznie ze snem i czuwaniem, temperaturą i ciśnieniem krwi, produkcją hormonów, wydzielaniem soków trawiennych czy procesami odpornościowymi. Od dawna zwraca się uwagę na fakt, że światło elektryczne jest czynnikiem zaburzającym naturalny cykl dnia i nocy. Powiązania funkcji organizmu ludzkiego ze światłem rosną i zmieniają się – coraz widoczniejsza staje się np. wrażliwość systemu fotorecepcyjnego człowieka na światło niebieskie. Jest ono emitowane przez coraz liczniejsze urządzenia stosowane w życiu codziennym. Jako okoliczność skażenia światłem należy więc rozpatrywać nie tylko czynniki zewnętrzne (np. nocna praca zmianowa czy podróże transkontynentalne), ale także sposób życia poszczególnych osób [Skwarło-Sońta 2015]. Badania przesiewowe prowadzone na dużych grupach ludzi o różnych zawodach i stylu życia potwierdzają statystyczną istotność wyników doświadczeń na zwierzętach w odniesieniu do groźnych skutków działania światła w nocy.

Przeprowadzone na grupie ochotników w USA obserwacje [Wright i in. 2013] wskazały na miejską desynchronizację cyklu dobrej jakości snu. Osoby te były badane najpierw przez tydzień w swojej zwykłej rutynie życia miejskiego, a przez następny tydzień biwakowały w Górach Skalistych, mając słońce i gwiazdy za jedyne źródło światła. W sposób ciągły rejestrowano docierającą do nich ilość światła, ich aktywność życiową (w tym pory naturalnego zasypiania i porannej pobudki), a po każdym tygodniu określano rytm dobowy syntezy melatoniny na podstawie jej zawartości w ślinie. Okazało się, że ilość światła, z jaką stykali się uczestnicy testu w warunkach miejskich była w ciągu dnia znacznie mniejsza niż w warunkach naturalnych (poniżej 1000 lux w mieście przy około 4500 lux w naturze), ale wieczorem proporcje się odwracały. W okresie między zachodem słońca a udaniem się na spoczynek, czyli w okresie największej wrażliwości ludzkiego zegara na światło opóźniające fazę zasypiania, w warunkach naturalnych było to tylko 8 lux, wobec 21 lux w sypialni miejskiej. Po tygodniowej ekspozycji na naturalne światło, synteza melatoniny rozpoczęła się około 2 godziny wcześniej niż w warunkach miejskich, a jej wyłączenie nastąpiło ponad 50 min przed porą obudzenia. Taka synchronizacja rytmu melatoniny z czasem słonecznym sprzyjała wcześniejszej senności. Wykazano, że sztuczne światło opóźnia wieczorną syntezę melatoniny, pobudzając jednocześnie aktywność mózgu, a to przyczynia się do późniejszego chodzenia spać i gorszej jakości snu.

Wykazano także, że sztuczne światło może być przyczyną otyłości u ludzi. Korzystanie w nocy z tabletu emitującego niebieskie światło LED powoduje znaczne obniżenie poziomu melatoniny w ślinie, wskazując na desynchronizację zegara endogennego. To niebieskie światło jest wychwytywane przez melanopsynowe komórki fotoreceptorowe siatkówki, zaadaptowane do rozpoznawania błękitu poranka, sygnalizującego koniec nocy i rozpoczęcie aktywności dziennej. Wspomniany fakt po pierwsze powoduje problemy z zasypianiem [Stevens i Zhu 2015] a poza tym zostawianie światła na noc w sypialni może okazać się zagrożeniem dla regulacji metabolizmu, skutkującym rozwojem otyłości. Potwierdziła to analiza wyników badań ankietowych przeprowadzonych w Wielkiej Brytanii w latach 2003-2012 na ogromnej liczbie ponad 100 tysięcy kobiet w różnym wieku [McFadden i in. 2014]. Wszystkie badane wskaźniki, stosowane do oceny stanu odżywienia, tj. BMI (ang. *Body Mass Index*), obwód w talii, stosunek

obwodu talii do bioder czy talii do wzrostu, których wartości wskazywały na zwiększone prawdopodobieństwo otyłości, były wprost proporcjonalne do ekspozycji na sztuczne światło. Badania opierały się na wywiadach, w których ankietowane kobiety podawały swoje parametry i subiektywnie deklarowały stopień zaciemnienia sypialni (możliwość czytania, widoczność sprzętów itp.). Nawet po uwzględnieniu takich czynników zaburzających badane zależności, jak długość snu, aktywność fizyczna, używanie alkoholu czy palenie papierosów, korelacja była wysoce istotna statystycznie i w pełni potwierdziła wyniki doświadczeń prowadzonych wcześniej na zwierzętach laboratoryjnych [Fonken i in. 2013]. Pod wpływem oświetlenia panującego w pomieszczeniu przeznaczonym do spania, synteza melatoniny szyszynkowej i jej rytm dobowy jest zakłócany nawet przez słabe światło stosowane podczas subiektywnej nocy. Innym powodem podatności na otyłość w tych warunkach może być niedobór snu, stwierdzany w doświadczeniach na zwierzętach i nielicznych badaniach ludzi, powodujący desynchronizację wewnętrzną zegarów, a także wprowadzający nienaturalne pory posiłków sprzyjające zaburzeniom metabolizmu [McFadden 2014].

Należy upowszechniać wiedzę o tym, że człowiek powinien przeznaczać na sen około 1/3 życia bo jest to stan magazynowania energii i uzupełniania jej zasobów. Sen jest kontrolowany przez dwie składowe: zegarową, czyli okołodobową i mechanizm homeostatyczny, związany ze wzrostem potrzeby snu w miarę jak postępuje okres aktywności. Czynniki behawioralne mogą przełamywać tę fizjologiczną kontrolę snu i czuwania, prowadząc do zmian w czasie trwania i jakości snu. Zarówno dane eksperymentalne, jak i badania przesiewowe potwierdzają związek pomiędzy niedoborami snu, niewłaściwą porą snu i kiepską jego jakością a insulinoopornością, zwiększonym ryzykiem otyłości a także cukrzycą.

Niedobór snu zmniejsza wrażliwość na insulinę, której nie kompensuje zwiększona sekrecja insuliny, prowadząca do 40% spadku tolerancji glukozy. Wykazano także zależność między długością snu a ryzykiem zapadania na cukrzycę: sen trwający mniej niż 6 godzin w ciągu nocy, podobnie jak sen trwający dłużej niż 8–9 godzin zwiększają ryzyko wystąpienia tej choroby [Reutrakul i Van Cauter 2014]. Argumentem na poparcie niekorzystnych skutków oddziaływania nocnego światła na organizm ludzki na poziomie populacji mogą być także dane pochodzące z obserwacji Amisów starego obrządku, którzy nie korzystają ze zdobyczy cywilizacji w postaci elektryczności, TV, komputerów itp. Wśród ortodoksyjnych wyznawców tej religii otyłość występuje znacznie rzadziej niż u statystycznych mieszkańców USA, mniej też w tej grupie przypadków raka piersi i prostaty, czego nie można przypisać jedynie unikaniu rakotwórczego palenia tytoniu [Skwarło-Sońta 2015].

Trzeba w tym miejscu także podkreślić zagrożenie spowodowane sztucznym światłem dla częstszego występowania raka piersi u kobiet i raka prostaty u mężczyzn. Zgodnie z publikacją Jurkowlaniec [2017], wzrost czasu ekspozycji na sztuczne oświetlenie wpływa na przebieg procesów fizjologicznych u ludzi. Zmiana rytmów fizjologicznych jest głównie następstwem nieprawidłowego funkcjonowania głównego zegara, zlokalizowanego u człowieka w jądrze nadskrzyżowaniowym przedniego podwzgórza, a w konsekwencji - zmniejszenia ilości wytwarzanej w szyszynce melatoniny, wydzielanej do krwiobiegu wyłącznie w ciemności. Hormon ten reguluje szereg funkcji organizmu, a jego niedobór w warunkach zwiększonej ekspozycji na światło wiązany jest m.in. z różnymi postaciami nowotworów, w tym właśnie nowotworów piersi. Antykancerogenne działanie melatoniny wynika z jej właściwości antyoksydacyjnych, immunomodulacyjnych i antyestrogenowych. Obniżenie poziomu melatoniny zaburza również prawidłowy rytm snu i czuwania, wpływając na sen i zwiększając ryzyko depresji.

Sztuczne światło zakłócające okres nocnego mroku wpływa niekorzystnie na sen. Szczególnie destrukcyjnie działa wieczorne naświetlanie światłem niebieskim. I tu jedną z przyczyn tych zaburzeń jest blokowanie wydzielania melatoniny. Niewłaściwe wieczorne oświetlenie pomieszczeń opóźnia zasypianie oraz pojawianie się 2. i 3. stadium snu NREM. Po wieczornym 2-godzinym naświetlaniu zmniejsza się gęstość mocy fal wolnych w zapisie EEG podczas snu głębokiego. Spanie w oświetlonym pomieszczeniu prowadzi również do spłycenia snu. Regularne opóźnienie pory zasypiania w warunkach niewłaściwego oświetlenia oraz spływanie snu zmniejsza ilość snu całonocnego i prowadzi do deprywacji snu, której konsekwencje ponosi cały organizm [Orzeł-Gryglewska 2017].

Zwiększona ekspozycja na sztuczne światło, z ograniczeniem czasu przebywania w warunkach naturalnego, słonecznego oświetlenia wywołuje również deficyt kalcytriolu - witaminy D, której początkowy etap syntezy zachodzi w skórze pod wpływem promieniowania UV. Niedobór witaminy D może prowadzić do chorób sercowo-naczyniowych i miażdżycy, wzrostu insulinooporności i cukrzycy oraz otyłości.

Skwarło-Sońta [2015], powołując się na badania Sanchez-Barcelo i współautorów z roku 2005 potwierdza, że obecność światła w nocy zakłóca normalny rytm syntezy melatoniny która ma także działanie hamujące rozwój nowotworów. Całkowicie niewidome osoby, u których synteza melatoniny jest mniej podatna na zaburzenia wynikające z nienormalnej obecności światła (w nocy) znacznie rzadziej niż osoby widzące zapadają na raka piersi i prostaty.

Korzystanie z właściwego źródła światła sztucznego o spektrum bezpiecznym dla aparatu widzenia może wspomóc przezwyciężenie ograniczeń wynikających ze starzenia się oka, gdy do siatkówki dociera światło o znacznie niższym poziomie natężenia. Najważniejszy zewnętrzny synchronizator rytmów okołodobowych, jakim jest zmiana światło-ciemność, odgrywa znamioną rolę dla osób starszych. Ma on znaczenie w wielu funkcjach ludzkiego organizmu: synchronizacja rytmu biologicznego z 24-godzinnym dniem solarnym, polepszenie jakości snu, obniżenie poziomu senności i zmęczenia, koordynacja ruchowa w prewencji upadków, polepszenie funkcji poznawczych oraz zapobieganie pojawianiu się agresji. Opracowanie odpowiedniego źródła światła sztucznego stanowi zatem ważne zagadnienie dla całego społeczeństwa, w którym liczba osób starszych sukcesywnie wzrasta [Łaszewska 2017].

V. PODSUMOWANIE

Sztuczne światło warunkuje rozwój cywilizacji, ale jest jednocześnie czynnikiem bardzo istotnie ingerującym w regulację dotychczasowego życia - należy go obejmować rozsądną kontrolą. Ochrona ciemnego nieba jest bardzo uzasadniona i może się odbywać na wiele sposobów. Bardzo ważne jest tu zaangażowanie się w ograniczenie zanieczyszczenia sztucznym światłem w swoim własnym otoczeniu. Dobry efekt da na początek sprawdzenie czy przypadkiem nie eksploatujemy nieprawidłowych typów domowych lamp. Ważne jest także zmniejszenie ilości światła emitowanego nocą bez potrzeby. Nie do przecenienia będzie także upowszechnianie problemu i prośba do sąsiadów aby na noc wyłączali zbędne oświetlenie. Zaangażowanie może także obejmować rozmowę z lokalnymi władzami na temat oszczędności światła w gminie czy mieście. Można rozważać np. wygaszanie, przyciemnianie lub wymianę latarni ulicznych bądź parkowych w określonym obszarze. Informowanie możliwie największego grona odbiorców o przyczynach i zasadach ochrony ciemnego nieba jest bardzo ważne, bo większość osób nie rozumie w jakim celu należy zmniejszać zanieczyszczenie sztucznym światłem. Tymczasem ostatnie dziesięciolecia charakteryzują się po prostu (tak jak w zakresie innych zasobów) ogromnym marnotrawstwem energii. Światło zaspokaja obecnie nie tylko podstawowe potrzeby człowieka, lecz stało się wyrazem jego ekstrawagancji, pychy

i dominacji w świecie przyrody. Przesycone blaskiem aglomeracje miejskie, okręgi przemysłowe i szlaki komunikacyjne wyznaczają na nocnych satelitarnych zdjęciach Ziemi granice dobrobytu i cywilizacji, gdyż nieograniczony dostęp do światła jest – tak jak to było przed wiekami – przywilejem najbogatszych. Mieszkańcy nie znających prawdziwych nocy miast utracili część równowagi którą dawała człowiekowi harmonia między naturalnie regulowaną wschodem i zachodem słońca porą pracy, odpoczynku i okazji do zadumy oraz snu.

BIBLIOGRAFIA

1. Bird S., Parker J. 2014. Low levels of light pollution may block the ability of male glow-worms (*Lampyrus noctiluca* L.) to locate females. *J. Insect Conserv.* 18. 737-743. doi: 10.1007/s10841-014-9664-2.
2. Dominoni D.M., Goymann W., Helm B., Partecke J. 2013a. Urban-like night illumination reduces melatonin release in European blackbirds (*Turdus merula*): implications of city life for biological time-keeping of songbirds. *Front. Zool.* 10. 60. doi:org/10.1186/1742-9994-10-60.
3. Dominoni D., Quetting M., Partecke J. 2013b. Artificial light at night advances avian reproductive physiology. *Proc. Biol. Sci.* 280 (1756): 20123017. doi: 10.1098/rspb.2012.3017
4. Dwyer R.G., Bearhop S., Campbell H.A., Bryant D.M. 2013. Shedding light on light: benefits of anthropogenic illumination to a nocturnally foraging shorebird. *J. Animal Ecol.* 82(2). 478-485. doi: 10.1111/1365-2656.12012.
5. Fonken L.K., Aubrecht T.G., Melendez-Fernandez O.H., Weil Z.M., Nelson R.J. 2013. Dim light at night disrupts molecular circadian rhythms and increases body weight. *J. Biol. Rhythms.* 28(4). 262-271. doi: 10.1177/0748730413493862.
6. Góra R. 2017. Projekt „reach the sky” w ramach programu Erasmus. *Polish Journal for Sustainable Development.* Tom 21 (2). 169-176.
7. Heiling A.M. 1999. Why do nocturnal orb-web spiders (Araneidae) search for light? *Behavioral Ecology and Sociobiology.* 46. 43-49. doi:org/10.1007/s002650050590.
8. Jurkowlaniec E. 2017. Zaburzenia rytmów biologicznych pod wpływem zanieczyszczenia światłem - wybrane fizjologiczne aspekty niedoboru melatoniny oraz witaminy d. *Polish Journal for Sustainable Development.* Tom 21 (2). 47-57.
9. Kalinowska A. 2016. Jak przyspieszyć zmiany świadomości aby spowolnić tempo utraty różnorodności biologicznej. *Polish Journal for Sustainable Development.* Tom 20. 67-76.
10. Kozłowski S. 2008. Zrównoważony rozwój? Program na jutro. Wyd. Abrys.
11. Kronenberg J. 2012. Usługi ekosystemów w miastach. Zrównoważony rozwój – zastosowania. [w:] Fundacja Sendzimira. *Przyroda w mieście.* 3. 24-26.
12. Krzywińska A., Śmigielska M., Juszczak R. 2017. Wzrost i kwitnienie czosnku (*Allium* L.) 'Ivory Queen' pędzonego w warunkach sztucznego oświetlenia. *Polish Journal for Sustainable Development.* Tom 21 (2). 77-82.
13. Longcore T., Rich C. 2004. Ecological light pollution. *Frontiers in Ecology and the Environment.* 2(4). 191-198.
14. Łaszewska K. 2017. Znaczenie odpowiedniego źródła światła w różnych subpopulacjach. Osoby starsze. *Polish Journal for Sustainable Development.* Tom 21 (2). 83-90.
15. McFadden E., Jones M.E., Schoemaker M.J., Ashworth A., Swerdlow A.J. 2014. The relationship between obesity and exposure to light at night: cross-sectional analyses of over 100,000 women in the breakthrough generation study. *Am. J. Epidemiol.* 180(3). 245-50. doi: 10.1093/aje/kwu117.

16. Millenium Ecosystem Assessment 2005. Ecosystems and Human Well-being. Island Press. Washington. DC.
17. Moore M.V., Pierce S.M., Walsh H.M., Kvalvik S.K., Lim J.D. 2000. Urban light pollution alters the diel vertical migration of *Daphnia*. *Verhandlungen des Internationalen Verein Limnologie*. 27. 1-4.
18. Nightingale B., Longcore T., Simenstad C.A. 2006. Artificial night lighting and fishes. [W:] *Ecological Consequences of Artificial Night Lighting*. Rich C., Longcore T. (red.). Island Press. Washington DC. 257-276.
19. Orzeł-Gryglewska J. 2017. Zaburzenia snu związane z nadmierną ekspozycją na światło. *Polish Journal for Sustainable Development*. Tom 21 (2). 91-100.
20. Perkin E.K., Höller F., Tockner K. 2013. The effects of artificial night lighting on adult aquatic and terrestrial insects. *Freshwater Biol.* 59. 368-377.
21. Reutrakul A., Van Cauter E., 2014. Interactions between sleep, circadian function, and glucose metabolism: implications for risk and severity of diabetes. *Ann. NY Acad. Sci.* 1311, 151-173. doi: 10.1111/nyas.12355.
22. Riley W.D., Bendall B., Ives M.J., Edmonds N.J., Maxwell D.L. 2012a. Street lighting disrupts the diel migratory pattern of wild Atlantic salmon, *Salmo salar* L., smolts leaving their natal stream. *Aquaculture*. 330-333. 74-81.
23. Riley W.D., Davison P.I., Maxwell D.L., Bendall B. 2012b. Street lighting delays and disrupts the dispersal of Atlantic salmon (*Salmo salar*) fry. *Biol. Conserv.* 10. 1016.
24. Salmon M., Tolbert M.G., Painter D.P. 1995. Behavior of loggerhead sea turtles on an urban beach. II. Hatchling orientation. *J. Herpetol.* 29. 568-576.
25. Skubała P. 2008. Dlaczego potrzebujemy zrównoważonego rozwoju? [w:] *Zrównoważony rozwój w ujęciu interdyscyplinarnym*. J. Kostecka (red.). Uniwersytet Rzeszowski. 23-34.
26. Skwarło-Sońta K. 2015. Skażenie światłem: co dziś wiemy o jego wpływie na funkcjonowanie organizmu człowieka? *Kosmos*. 64. 4. 633-642.
27. Stevens R.G., Zhu Y. 2015. Electric light, particularly at night, disrupts human circadian rhythmicity: is that a problem? *Phil. Trans. R. Soc. B.* 370. doi:org/10.1098/rstb.2014.0120.
28. Woźny A., Rymarz D. 2017. Ukorzenianie sadzonek chryzantemy wielkokwiatowej z zastosowaniem diod elektroluminescencyjnych. *Polish Journal for Sustainable Development*. Tom 21 (2). 153-160.
29. Wright K.P. Jr., McHill A.W., Birks B.R., Griffin B.R., Rusterholz T., Chinoy E.D. 2013. Entrainment of the human circadian clock to the natural light-dark cycle. *Curr. Biol.* 23(16). 1554-1558. doi: 10.1016/j.cub.2013.06.039.
30. Żukow-Karczewski M. Historia oświetlenia - krótka historia sztucznego światła - lampy naftowe, świeczki i żarówki. [dok. elektr. <http://www.ekologia.pl/srodowisko/specjalne/walka-o-swiatlo-krotka-historia-sztucznego-oswietlenia,17369,12.html>, data wejścia 26. 07.2017].

LIGHT POLLUTION AND ECOSYSTEMS SERVICES AND HUMAN HEALTH

Summary

The publication presents a brief history of artificial light, highlighting its salutary effect on the development of civilization, but also showing the effects of photo-pollution associated with wasting energy and the lack of dissemination of information on the ecological, social and economic consequences of light-duty management. Particular attention has been paid to the potential negative impact of artificial lighting on ecosystem services that rely on biodiversity on Earth, and this is often altered by artificial light.

Key words: light pollution, ecosystem services, biodiversity, human health