

JOANNA TAŁANDA

*Zakład Hydrobiologii  
Instytut Zoologii  
Wydział Biologii  
Uniwersytet Warszawski  
Żwirki i Wigury 101, 02-089 Warszawa  
E-mail: jtalanda@biol.uw.edu.pl*

## EKOLOGICZNE ZANIECZYSZCZENIE ŚWIATŁEM, CZYLI KIEDY SZTUCZNE ŚWIATŁO W NOCY ZABURZA NATURALNY CYKL ŚWIATŁA I CIEMNOŚCI W EKOSYSTEMIE

### WSTĘP

Naturalne światło pełni w życiu zwierząt wiele funkcji: pomaga w orientacji w przestrzeni, żerowaniu (w tym wabieniu ofiary), służy obronie terytorium, obronie przed drapieżnikami oraz pełni rolę w znalezieniu i przywabieniu partnera (ENDLER 1997, WIDDER 2010).

Głównym źródłem naturalnego światła w nocy jest Księżyc oraz, w mniejszym stopniu, gwiazdy. W nawiązaniu do roli światła w życiu zwierząt można podać przykład afrykańskiego chrząszcza *Scarabaeus zambesianus* Péringuey, 1901, który wykorzystuje polaryzację światła księżyca do orientacji w terenie (DACE i współaut. 2003). Jak udokumentowano w wielu pracach, światło księżyca może również umożliwiać drapieżnikom nocne polowanie. Na przykład liczebność wioślarek wchodzących w skład zooplanktonu w jeziorze zaporowym Cahora Bassa w Afryce

drastycznie spada tuż po pełni wskutek nocnego polowania ryb planktonożernych. Zagadką jest jednak, dlaczego wioślarki te nie migrują z powrotem w głąb kolumny wody, tak jak czynią to w dzień (w celu uniknięcia drapieżnika). W pracy GLIWICZA (1986) zjawisko tłumaczone jest gwałtownością wyłonięcia się księżyca zza gór w pobliżu jeziora. Jak wykazano, również wiele ptaków zwiększa intensywność nocnego polowania właśnie w trakcie pełni (PIENKOWSKI 1983, ROBERT i MCNEIL 1989, MILSOM i współaut. 1990, TINKLER i współaut. 2009).

Sztuczne światło w nocy jest stosunkowo nowym zjawiskiem. Głównym celem niniejszej pracy jest przedstawienie pewnych aspektów wpływu tego zjawiska na organizmy oraz wyjaśnienie terminów z nim związanych.

### SZTUCZNE ŚWIATŁO W NOCY A EKOLOGICZNE ZANIECZYSZCZENIE ŚWIATŁEM

Nocne sztuczne oświetlenie ściśle wiąże się z obecnością człowieka, przedłuża jego dobową aktywność i zwiększa jego poczucie bezpieczeństwa (VAN OSCH 2010).

Wśród skutków zjawiska można wymienić te z obszaru nauk astronomicznych (RIEGEL 1973), medycznych (np. NAVARA i NELSON 2007, CHEPESIUK 2009, SKWARŁO-SONTA 2014)

czy społeczno-ekonomicznych (np. GALLAWAY i współaut. 2010).

Nocne sztuczne światło może powodować również ekologiczne zanieczyszczenie światłem. O zjawisku tym mówi się, gdy nocne sztuczne oświetlenie zaburza naturalny cykl światła i ciemności w ekosystemie. Źródłem tego zjawiska jest oświetlenie zewnętrzne oraz tzw. „sky glow”, który polega na odbiciu sztucznego światła od cząstek zawieszonych w powietrzu z powrotem na ziemię (LONGCORE i RICH 2004).

W cytowanej pracy wyróżniono również 3 rodzaje ekologicznego zanieczyszczenia światłem:

- spowodowane przez bezpośrednio oświetlające światło;
- tymczasowe, nieprzewidywalne fluktuacje w oświetleniu;
- stale zwiększone oświetlenie (w konsekwencji zatarcie granicy dzień/noc).

W literaturze można również spotkać się z terminem „fotozanieczyszczenie”, wprowadzonym przez VERHEIJENA (1985). Dotyczy ono sztucznego światła, które wywiera negatywny wpływ na dziką przyrodę. Trzeba jednak zaznaczyć, że nie należy zawężać zjawiska ekologicznego zanieczyszczenia światłem tylko do tego znaczenia. Ekologiczne zanieczyszczenie światłem może powodować fotozanieczyszczenie, ale nie zawsze. Przykładowo, wiele drapieżników zwiększa istotnie

efektywność nocnego żerowania w obecności sztucznego światła w nocy. Zjawisko to, choć zaburza naturalny cykl światła i ciemności w przyrodzie, nie wywiera jednak w tym uproszczonym przypadku negatywnego wpływu na populację drapieżników.

W literaturze funkcjonuje również pojęcie zanieczyszczenia światłem spolaryzowanym (HORVÁTH i współaut. 2009). W pracy tej autorzy podkreślają że: „Zanieczyszczenie światłem spolaryzowanym dotyczy światła, które uległo polaryzacji liniowej przez odbicie od gładkiej, ciemnej budowli lub innego obiektu wytworzonego przez człowieka” i omawiają zanieczyszczenie światłem spolaryzowanym jako nowy rodzaj ekologicznego zanieczyszczenia światłem. Nie można się z tym zgodzić, ponieważ źródłem ekologicznego zanieczyszczenia światłem jest sztuczne światło produkowane przez człowieka. O zanieczyszczeniu światłem spolaryzowanym można mówić wówczas, gdy światło naturalne (nie sztuczne) ulega polaryzacji na powierzchniach, najczęściej wytworzonych przez człowieka. Jest to więc zjawisko zależne od materiału, który pokrywa daną powierzchnię. Nie jest również związane z zaburzeniem naturalnego cyklu światło/ciemność w przyrodzie. Sam jednak problem zanieczyszczenia światłem spolaryzowanym jest oczywiście interesujący i wart dalszych badań.

#### EKOLOGICZNE ZANIECZYSZCZENIE ŚWIATŁEM A MIGRACJE ZWIERZĄT

Oświetlone nocą budynki mogą stanowić poważne zagrożenie dla migrujących ptaków (LONGCORE i RICH 2004). Innym, często wspomnianym przykładem jest przemieszczanie się młodych żółwi morskich w kierunku oświetlonych miast, zamiast do wód oceanu. Młode interpretują światło miejskie jako to odbite na powierzchni wody (SALMON i współaut. 1995).

Sztuczne światło w nocy może również wpływać na wodne organizmy migrujące. W przypadku łososi w warunkach zanieczyszczenia światłem zaobserwowano zmianę czasu migracji (NIGHTINGALE i współaut. 2006; RILEY i współaut. 2012a, b). Stadia owadów wodnych zdolne do migracji są wabione przez nocne latarnie uliczne, co może powodować utrudnienia w kolonizacji nowych środowisk wodnych (PERKIN i współaut. 2013).

Mało wiadomo jeszcze o wpływie zanieczyszczenia światłem na zwierzęta planktonowe. Zwierzęta te, ze względu na duże zagrożenie ze strony drapieżników posługujących się wzrokiem, w ciągu dnia są zmuszone do migracji w głąb zbiornika. Ku powierzchni przemieszczają się nocą w celu efektywniejszego żerowania (przy powierzchni występuje zwykle wyższe zagęszczenie pokarmu w postaci glonów) oraz, aby uniknąć całonocnego przebywania w chłodniejszych wodach. W nocy dzięki ciemności nie są narażone na ataki drapieżników. Hipotetycznie, sztuczne oświetlenie nocą powinno zmuszać zwierzęta planktonowe do przebywania głębiej również w nocy (oczywiście w obecności drapieżnika). Takie ograniczenie amplitudy migracji zaobserwowano jak dotąd w przypadku jednego tylko gatunku planktonowej wioślarki, *Daphnia retrocurva* Forbes, 1882

z jeziora Waban (MOORE i współaut. 2000). Nie wiadomo, jak bardzo rozpowszechnione jest to zjawisko i jaki ma wpływ na dostosowanie poszczególnych osobników, choć w teorii ograniczenie efektywności żerowania oraz zmuszenie do przebywania w chłodniejszych warstwach wody powinno prowadzić do spadku dostosowania poszczególnych osobników (LOOSE i DAWIDOWICZ 1994). Dodatkowo, całodobowa obecność światła i drapieżników może wpływać również na historię życia przez zwiększenie stresu (EFFERTZ i VON ELERT 2014). Zwiększona nocą presja drapieżników może powodować zmiany w strukturze wielkości ciała osobników tworzą-

cych populację w kierunku zmniejszania się rozmiarów ciała (TAŁANDA 2015), choć sytuacja ta wymaga jeszcze dokładniejszych badań.

Oprócz zjawiska dobowych pionowych migracji zwierząt planktonowych omówionych w powyższym akapicie można również mówić o nocnym dryfcie zwierząt zasiedlających rzeki. Badania nad nocnym dryftem rzecznych owadów wykazały istotne różnice w ich liczebności przy tej samej strukturze taksonomicznej, w porównaniu z dryftem w miejscach nienarażonych na zanieczyszczenie światłem (HENN i współaut. 2014).

### NOCNE POLOWANIA DRAPIEŻNIKÓW

Niektóre ofiary wykorzystują ciemność jako refugium przed drapieżnikami posługującymi się wzrokiem w trakcie żerowania. Do pewnego stopnia nocny tryb życia zapewnia wówczas bezpieczeństwo.

Nie dziwi więc, że nocne sztuczne oświetlenie może również istotnie wpływać na większą efektywność nocnego żerowania brodziec krwawodziobego (*Tringa totanus* L.), ptaka z rodziny bekasowatych (Dwyer i współaut. 2013). W naturalnej ciemności efektywność ta jest znacznie mniejsza.

Poza polepszeniem widoczności, innym aspektem umożliwiającym i ułatwiającym drapieżnictwo nocą jest wabiące oddziaływanie sztucznego światła na wiele bezkręgowców. Sytuację tę mogą wykorzystywać nietoperze (Rydel 2006), gady (Perry i Fisher 2006), czy wspomniane już ptaki (Longcore i Rich 2004). Wśród bezkręgowców za przykład może posłużyć gatunek polującego nocą pająka *Larinioides sclopetarius* (Clerck, 1757). Osobniki tego gatunku chętniej rozpinają sieci łowne w pobliżu oświetlenia wabiącego owady (Heiling 1999).

Przy jednoczesnych korzyściach, które zyskuje drapieżca, można mówić również o wadach takiej sytuacji. Drapieżnik otrzymując dodatkowy czas i lepsze warunki na poszukiwanie ofiar sam również staje się łatwiejszą ofiarą. Ograniczenie żerowania w przypadku nocnej obecności światła zaobserwowano u niektórych zwierząt prowadzących nocny tryb życia (Longcore i Rich 2004). Ze wzglę-

du na fakt kompromisu między żerowaniem a możliwością stania się ofiarą można postawić hipotezę, że z sytuacji nocnego sztucznego oświetlenia najbardziej będą korzystać drapieżniki szczytowe, które raczej nie mają naturalnych wrogów.

W pewnych sytuacjach również nocne polowanie przy sztucznym świetle może jednak okazać się szczególnie niekorzystne. Znany jest przykład pochodzący z hodowli ryb w systemie klatkowym w jeziorze Fuschlsee w Austrii (Sichrowsky i współaut. 2013). Nocne sztuczne oświetlenie wykorzystywane jest w hodowlach ryb w celu zwiększania przyrostów ich biomasy. U hodowanych w klatkach przez 3 miesiące w obecności sztucznego światła w nocy ryb z rodzaju *Coregonus* zauważono wysoki stopień zapasożycenia *Trienophorus crassus* Forel, 1868 i *Protocepalus exiguus* La Rue, 1911. Było to związane z fototaksją dodatnią widłonogów *Cyclops abysosorum* Sars, 1863 zarażonych larwami wymiennych pasożytów, które były następnie zjadane przez ryby. *T. crassus* wykorzystuje przedstawicieli rodzaju *Coregonus* jako żywicieli pośrednich, natomiast *P. exiguus* jako żywicieli ostatecznych. Spośród tych dwóch pasożytów do wymiernych strat ekonomicznych w komercyjnych połowach najbardziej przyczynia się *T. crassus*. Autorzy cytowanej pracy zachęcali więc do zaniechania wykorzystywania do hodowli ryb systemu klatkowego w obecności nocnego oświetlenia.

## INNE PRZYKŁADY WPLYWU EKOLOGICZNEGO ZANIECZYSZCZENIA ŚWIATŁEM NA ZWIERZĘTA

Ze względu na stałość oraz przewidywalność rytmu dzień/noc w przyrodzie, u populacji wielu organizmów wyewoluowały rytmy okołodobowe regulowane przez światło (HÖLKER i współaut. 2010).

W wyniku ekspozycji na nocne oświetlenie u miejskiej części populacji kosa (*Turdus merula* L.) stwierdzono mniejsze stężenie melatoniny (hormonu zaangażowanego w regulację rytmów okołodobowych) w osoczu w nocy, w porównaniu do części miejskiej populacji nienarażonej na ten czynnik. Zaobserwowano również większą aktywność osobników narażonych na nocne sztuczne światło rankiem i po zmierzchu. Aż o miesiąc szybciej od populacji podmiejskiej (nienarażonej 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) (DOMINONI i współaut. 2013a, b).

Innym przykładem wpływu zanieczyszczenia światłem na zwierzęta jest problem z lokalizacją samic przez samce świetlika *Lampyris noctiluca* L.. W nocy, przy natężeniu sztucznego światła 0.3 lub 0.18 lx, żaden samiec nie był w stanie zlokalizować samicy (BIRD i PARKER 2014). W tym przypadku zanieczyszczenie światłem drastycznie wpływa na dostosowanie tych chrząszczy.

## PODSUMOWANIE

Ekologiczne zanieczyszczenie światłem to zjawisko, które zostało zaproponowane jako jedno z szesnastu nowych zagrożeń dla środowiska (HÖLKER i współaut. 2010). Ważne jest więc ustalenie, czy przewidywane, na razie w teorii, skutki tego zjawiska rzeczywiście mają miejsce i w jakim stopniu wpływają na sieć powiązań między organizmami.

Wśród lepiej poznanych skutków ekologicznego zanieczyszczenia światłem można wymienić zmiany czasu i utrudnienia migracji zwierząt, umożliwienie nocnego że-

rowania drapieżników posługujących się wzrokiem lub wykorzystujących światło jako czynnik wabiący ofiary, czy pewne zmiany w behawiorze osobników będące skutkiem zmian w fizjologii (zaburzenie rytmów okołodobowych).

Nie wiadomo natomiast wiele o skali problemu zanieczyszczenia środowisk morskich (DEPLEDGE i współaut. 2010), w przypadku środowisk słodkowodnych niektóre aspekty zostały już przebadane, inne wymagają jeszcze badań.

## LITERATURA

- BIRD S., PARKER J., 2014. *Low levels of light pollution may block the ability of male glow-worms (Lampyris noctiluca L.) to locate females*. J. Insect Conserv. 18, 737-743.
- CHEPESIUŁ R., 2009. *Missing the dark: health effects of light pollution*. Environ. Health Perspect. 117, A20-A27.
- DACKE M., NILSSON D., SCHOLTZ C. H., BYRNE M., WARRANT E. J., 2003. *Animal behavior: Insect orientation to polarized moonlight*. Nature 424, 33.
- DEPLEDGE M. H., GODARD-CODDING C. A. J., BOWEN R. E., 2010. *Light pollution in the sea*. Marine Pollut. Bull. 60, 1383-1385.
- DOMINONI D. M., GOYMAN 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.
- DOMINONI D., QUETTING M., PARTECKE J., 2013b. *Artificial light at night advances avian reproductive physiology*. Proc. Royal Soc. London B 280, 20123017.
- 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, 478-485.
- EFFERTZ CH., VON ELERT E., 2014. *Light intensity controls anti-predator defences in Daphnia: the suppression of life-history changes*. Proc. Royal Soc. London B 281, 20133250.
- ENDLER J. A., 1997. *Light, behavior, and conservation of forest-dwelling organisms*. [W:] *Behavioral Approaches to Conservation in the Wild*. CLEMMONS J. R., BUCHHOLZ R. (red.). Cambridge University Press, 329-353.
- GALLAWAY T., OLSEN R. N., MITCHELL D. M., 2010. *The economics of global light pollution*. Ecol. Econom. 69, 658-665.
- GLIWICZ Z. M., 1986. *A lunar cycle in zooplankton*. Ecology 67, 883-897.
- HEILING A. M., 1999. *Why do nocturnal orb-web spiders (Araneidae) search for light?* Behav. Ecol. Sociobiol. 46, 43-49.
- HENN M., NICHOLS H., ZHANG Y., BONNER T. H., 2014. *Effect of artificial light on the drift of aquatic*

- insects in urban central Texas streams*. *Freshwat. Ecol.* 29, 307-318.
- HORVÁTH G., KRISKA G., MALIK P., ROBERTSON B., 2009. *Polarized light pollution: a new kind of ecological photopollution*. *Front. Ecol. Environ.* 7, 317-325.
- HÖLKER F., WOLTER CH., PERKIN E. K., TOCKNER K., 2010. *Light pollution as biodiversity threat*. *Trends Ecol. Evol.* 25, 681-682.
- LONGCORE T., RICH C., 2004. *Ecological light pollution*. *Front. Ecol. Environ.* 2, 191-198.
- LOOSE C. J., DAWIDOWICZ P., 1994. *Trade-offs in diel vertical migration by zooplankton: the costs of predator avoidance*. *Ecology* 75, 2255-2263.
- MILSON T. P., ROCHARD J. B. A., POOLE S. J., 1990. *Activity patterns of lapwings *Vanellus vanellus* in relation to the lunar cycle*. *Ornis Scandinavica* 21, 147-156.
- 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.
- NAVARA K. J., NELSON R. J., 2007. *The dark side of light at night: physiological, epidemiological, and ecological consequences*. *J. Pineal Res.* 43, 215-224.
- 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.
- PERKIN E. K., HÖLKER F., TOCKNER K., 2013. *The effects of artificial night lighting on adult aquatic and terrestrial insects*. *Freshwater Biol.* 59, 368-377.
- PERRY G., FISHER R. N., 2006. *Night lights and reptiles: Observed and potential effects*. [W:] *Ecological Consequences of Artificial Night Lighting*. RICH C., LONGCORE T. (red.). Island Press, Washington DC, 169-191.
- PIENKOWSKI M. W., 1983. *Changes in the foraging pattern of plovers in relation to environmental factors*. *Animal Behav.* 31, 244-264.
- RIEGEL K. W., 1973. *Light pollution*. *Science* 179, 1285-1291.
- RYDELL J., 2006. *Bats and their insect prey at street lights*. [W:] *Ecological Consequences of Artificial Night Lighting*. RICH C., LONGCORE T. (red.). Island Press, Washington DC, 43-61.
- 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.
- 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.
- ROBERT M., MCNEIL R., 1989. *Comparative day and night feeding strategies of shorebirds species in a tropical environment*. *IBIS* 131, 69-79.
- 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.
- SICHROWSKY U., SCHABETSBERGER R., GASSNER H., KAISER R., BOUFANA B., PSENNER R., 2013. *Cradle or plague pit? Illuminated cages increase the transmission risk of parasites from copepods to coregonids*. *Aquaculture* 392-395, 8-15.
- SKWARŁO-SOŃTA K., 2014. *Melatonina: hormon snu, czy hormon ciemności?* *Kosmos* 63, 223-231.
- TALANDA J., 2015. *Wpływ zanieczyszczenia światłem na behavior i morfologię *Eubosmina thersites**. XXIII Zjazd Hydrobiologów Polskich, Koszalin (poster).
- TINKLER E., MONTGOMERY W. I., ELWOOD R. W., 2009. *Foraging ecology, fluctuating food availability and energetics of wintering brent geese*. *J. Zool.* 278, 313-323.
- VAN OSCH T. H. J., 2010. *Intelligent dynamic road lighting and perceived personal safety of pedestrians*. Praca magisterska. Eindhoven University of Technology, The Netherlands.
- VERHEIJEN F. J., 1985. *Photopollution: artificial light optic spatial control systems fail to cope with incidents, causations, remedies*. *Exp. Biol.* 44, 1-18.
- WIDDER E. A., 2010. *Bioluminescence in the ocean: Origins of biological, chemical, and ecological diversity*. *Science* 328, 704-708.

JOANNA TAŁANDA

*Zakład Hydrobiologii*

*Instytut Zoologii*

*Wydział Biologii*

*Uniwersytet Warszawski*

*Żwirki i Wigury 101, 02-089 Warszawa*

## EKOLOGICZNE ZANIECZYSZCZENIE ŚWIATŁEM, CZYLI KIEDY SZTUCZNE ŚWIATŁO W NOCY ZABURZA NATURALNY CYKL ŚWIATŁA I CIEMNOŚCI W EKOSYSTEMIE

### Streszczenie

Rola naturalnego światła w życiu organizmów jest już stosunkowo dobrze poznana. Ze względu na stałość oraz przewidywalność rytmu dzień/noc w ekosystemie u populacji wielu organizmów wyewoluowały cykle okołodobowe regulowane przez światło. Sztuczne światło w nocy związane z działalnością człowieka jest nowym czynnikiem w środowisku. Gdy powoduje zaburzenie cyklu światła i ciemności w ekosystemie mówimy o ekologicznym zanieczyszczeniu światłem. W niniejszej pracy omówiono różnice pomiędzy ekologicznym zanieczyszczeniem światłem i fotozanieczyszczeniem oraz przedyskutowano traktowanie zanieczyszczenia światłem spolaryzowanym jako rodzaj ekologicznego zanieczyszczenia światłem. Przedstawiono również wiele przykładów wpływu ekologicznego zanieczyszczenia światłem na różne aspekty ekologii i fizjologii organizmów.

JOANNA TAŁANDA

*Department of Hydrobiology*

*Institute of Zoology*

*Faculty of Biology*

*University of Warsaw*

*Żwirki i Wigury 101, 02-089 Warszawa*

## ECOLOGICAL LIGHT POLLUTION – WHEN ARTIFICIAL LIGHT AT NIGHT DISRUPTS NATURAL CYCLE OF LIGHT AND DARKNESS IN ECOSYSTEM

### Summary

The role of natural light in life of organisms is relatively well known. Consistency and predictability of day/night rhythm in environment caused evolution of diurnal cycles regulated by light in populations of many organisms.

Artificial light at night is connected with human activities and is a new factor in environment. When it causes disruption of light and darkness cycle, it leads to ecological light pollution.

In this paper differences between ecological light pollution and photopollution are presented. Polarized light pollution as a kind of ecological light pollution is discussed. Also many examples of influence of ecological light pollution on ecology and physiology of organisms are presented.