



red. Andrzej Z. Kotarba

Zanieczyszczenie światłem. Źródła, obserwacje, skutki.
Centrum Badań Kosmicznych PAN, Warszawa, 2019
ss. 55–68



Nocna zmiana: w jaki sposób zanieczyszczenie światłem wpływa na mutualistyczne relacje roślin i ich zapylaczy?

Marcin Zych, Justyna Ryniewicz

*Ogród Botaniczny Uniwersytetu Warszawskiego, Aleje Ujazdowskie 4, 00-478 Warszawa
e-mail: mzych@biol.uw.edu.pl, j.ryniewicz@biol.uw.edu.pl*

Zarys treści: Zapylenie kwiatów przez zwierzęta jest jednym z fundamentalnych procesów ekologicznych, decydujących o stabilności wielu ekosystemów lądowych. Jednakże w ciągu ostatnich dekad zapylacze narażone są na wiele zmian środowiskowych, które przyczyniają się do spadku liczebności i różnorodności tych organizmów. Wzrastające zanieczyszczenie światłem, będące konsekwencją postępującej urbanizacji, zdaje się być kolejnym czynnikiem, z którym muszą mierzyć się zapylacze. Starsze, mniej wydajne typy oświetlenia są stopniowo zastępowane nowszymi (np. LED, lampy metalohalogenkowe), charakteryzującymi się szerszym spektrum emitowanych długości fal elektromagnetycznych, które mogą szczególnie intensywnie oddziaływać na dziko żyjące organizmy. Rośnie liczba badań uwzględniających wpływ sztucznego światła na fizjologię i zachowanie organizmów oraz interakcje między nimi. Wśród zwierząt do najbardziej narażonych na oddziaływanie antropogenicznego światła należą te aktywne nocą. Jednakże według najnowszych badań negatywny wpływ zanieczyszczenia światłem może pośrednio oddziaływać również na gatunki aktywne w ciągu dnia, prowadząc do poważnych zmian w całych ekosystemach. Dotychczas zgromadzono bardzo niewiele danych dotyczących nocnych zapylaczy i ich interakcji z roślinami. Większość z nich skupia się na ćmach, pomijając inne grupy zwierząt. Istnieje pilna potrzeba prowadzenia badań nad nocnymi zapylaczami, zwłaszcza uwzględniając to nowe zagrożenie, które znacząco może przyczynić się do spadku ich liczebności.

Słowa kluczowe: zanieczyszczenie sztucznym światłem, usługi ekosystemowe, spadek populacji owadów, zapylenie, sieci zapyleń



Udostępniono na licencji CC BY-NC 4.0 2019 © Autor/Autorzy i CBK PAN

1. Wstęp

Zapylenie kwiatów przez zwierzęta jest jednym z fundamentalnych procesów ekologicznych, decydujących o stabilności wielu ekosystemów lądowych. Wzajemne relacje ekologiczne roślin i ich zapylaczy są efektem długotrwałych procesów koewolucyjnych, trwających od milionów lat, a badanych od kilku stuleci. Zapylenie roślin jest procesem mutualistycznym, zapewniającym korzyści każdej ze stron. Dzięki niemu rośliny, które do rozmnażania płciowego wymagają wektorów pyłku, mogą wyprodukować potomstwo o nowej kombinacji genów i większym prawdopodobieństwie dostosowania się do zmieniających się warunków, zwierzęta zaś zyskują pożywienie zasobne w niezbędne składniki odżywcze. Rośliny kwiatowe wykształciły wiele cech i mechanizmów przyciągających zapylacze, jak wydzielanie zapachu, atrakcyjne dla zwierząt barwy kwiatów, podniesienie temperatury wewnątrz kwiatu czy produkcja nektaru oraz pyłku, będąca dla nich dużym wydatkiem energetycznym. Prawie 90% roślin kwiatowych zapyłanych jest przez zwierzęta (Ollerton i in., 2011).

Proces zapylenia roślin przez zwierzęta ma także kluczowe znaczenie dla globalnego zaopatrzenia w żywność. Wartość realizowanych przez nie usług ekosystemowych jest bardzo wysoka: 35% całkowitej produkcji żywności wymaga zapylenia przez zwierzęta, zaś 75% wiodących upraw roślin spożywczych charakteryzuje się zwiększonym plonem owoców lub nasion, gdy wektorami pyłku są zapylacze (deponujące na słupkach kwiatów pyłek pobrany również z innych osobników) (Klein i in., 2007). Uprawy zapyłane przez zwierzęta dostarczają także niezbędnych składników odżywczych, np. 98% witaminy C, 55% kwasu foliowego czy 70% witaminy A (Eilers i in., 2011). Oszacowano, że wartość usług zwierząt zapyłających na całym świecie w roku 2005 wyniosła ok. 153 mld euro (Gallai i in., 2009). W Polsce zaś wartość usług zapylaczy dla 19 istotnych roślin uprawnych oszacowana została na 3 mld zł (Zych i Jakubiec, 2006).

Niestety, w ciągu ostatnich dekad ta kluczowa dla ekosystemów funkcja, jaką pełnią zwierzęta, jest zagrożona. Spadek liczby i różnorodności zapylaczy odnotowuje się na wszystkich kontynentach z wyjątkiem Antarktydy. O poziomie usług zapylaczy stanowią zarówno gatunki udomowione (np. pszczoła miodna, *Apis mellifera*), jak i dziko żyjące, a wszystkie one mogą doświadczać negatywnego wpływu zmian w środowisku (Biesmeijer i in., 2006; Aizen i in., 2009; Potts i in., 2010). Utrata siedlisk, zmiany klimatyczne, stosowanie pestycydów, ektopasożyty i inne patogeny czy pojawianie się obcych gatunków inwazyjnych to tylko niektóre czynniki wpływające na trwający od kilku dekad globalny spadek liczebności i różnorodności zapylaczy (Potts i in., 2010). Zjawisko to jest obserwowane i badane od XX wieku, zostało zaś określone mianem kryzysu zapyleń (Buchmann i Nabhan, 1996).

Ostatnio do listy tych czynników dopisuje się także zanieczyszczenie światłem, które według najnowszych badań może wywierać szkodliwy wpływ na zapylacze oraz świadczone przez nie usługi ekosystemowe, prowadząc do zaburzeń interakcji międzygatunkowych, co może z kolei dać efekt kaskadowy (Macgregor i in., 2017; Knop i in., 2017). Efekt ten, jako skutek wyginięcia kluczowych dla funkcjonowania ekosystemu gatunków (tzw. gatunków zwornikowych), prowadzi do zakłóceń interakcji między organizmami, a w konsekwencji do ubytku kolejnych taksonów.

2. Nocne zapylacze

Wiedza na temat skali i znaczenia usług nocnych zapylaczy jest wciąż stosunkowo ograniczona (Knop i in., 2018). W zależności od warunków klimatycznych do nocnych zapylaczy zaliczyć można głównie motyle nocne (ćmy), chrząszcze, muchówki oraz niektóre gatunki ssaków – głównie nietoperze (Willmer, 2011).

Zapylanie nocą może być opłacalną strategią dla niektórych roślin. Badania przeprowadzone na kilku generalistycznych gatunkach roślin pokazują, że spośród ich zapylaczy ćmy, w porównaniu z owadami dziennymi, charakteryzowała wyższą efektywność zapylania (większa lub taka sama liczba zawiązywanych nasion). Wydajniejsze zapylanie przez ćmy jest spowodowane m.in. niższym stosunkiem pyłku przenoszonego przez nie z kwiatów do tego deponowanego na słupkach innych kwiatów, w porównaniu do pszczoł, które częściowo przeznaczają go również do karmienia swoich larw. Dlatego kwiaty przystosowane do zapylania przez ćmy mogą charakteryzować się mniejszym nakładem energetycznym przeznaczonym na produkcję pyłku. Ponadto zapylanie przez ćmy skutkowało wydajniejszym przebiegiem genów między populacjami roślin, związanym ze zwiększeniem dystansu, na jaki przenoszony jest pyłek (za: Macgregor i in., 2015).

Nietoperze w tropikalnych i subtropikalnych rejonach, zwłaszcza na terenie Afryki, Azji, Ameryki Północnej i Południowej, a także wysp na Oceanie Spokojnym, mogą również być istotnymi nocnymi zapylaczami, przenoszącymi znaczne ilości pyłku na duże odległości. Proces zapylania przez nietoperze dotyczy ponad 500 gatunków roślin o dużym znaczeniu ekologicznym i ekonomicznym, jak i wielu gatunków sukulentów użytkowych, np. *Agave tequilana*, roślin włóknodajnych, np. puchowiec pięciopęcikowy (*Ceiba pentandra*), roślin używanych przy produkcji drewna, np. ogorzalka (*Ochroma spp.*), czy roślin spożywczych, np. durian właściwy (*Durio zibethinus*), parkia (*Parkia spp.*) oraz dzikie gatunki banana (*Musa spp.*) (za: Fleming i in., 2009).

Jak pokazują badania przedstawiające aktywność owadów w cyklu całodobowym, proces zapylania przez nie roślin jest nieprzerwany, choć nocą liczba odwiedzających kwiaty owadów oraz ich różnorodność gatunkowa są mniejsze. Autorzy zebrali dane, z których wynika, że 16% gatunków owadów odlawiano z kwiatów nocą (owady te odpowiadały za 15% wszystkich odwiedzin na kwiatkach). Badania te prezentują również przekrój taksonomiczny aktywnych w ciągu doby głównych grup gości kwiatowych. Jak się okazuje, w ciągu dnia byli to głównie przedstawiciele z rzędu muchówek i błonkoskrzydłych, zaś w czasie nocy – przedstawiciele rzędów motyli oraz chrząszczy (których jednak większą aktywność odnotowywano w ciągu dnia). Warto podkreślić, że owady z rzędu motyli były znacznie częściej spotykane na kwiatkach w godzinach nocnych niż dziennych, zaś ich różnorodność gatunkowa była 15 razy większa po zmroku (Knop i in., 2018).

Zarówno liczebność, jak i różnorodność populacji nocnych zapylaczy podlegają znaczącemu spadkowi, co oznacza, że termin „kryzys zapyleń” prawdopodobnie odnosi się również do grupy nocnych owadów. Przykładowo, analiza danych zebranych w ciągu 40 lat w Wielkiej Brytanii dla 337 gatunków ciem o dużych rozmiarach (ang. *macro-moths*) wskazuje na spadek liczebności tych owadów w przypadku 66% uwzględnionych taksonów. Równoległe spadek liczebności i rozprzestrzenienia ciem ma miejsce także w innych krajach europejskich (za: Macgregor i in., 2015).

3. Nocne owady w sieci zapyleń

Dla prawidłowego funkcjonowania większości ekosystemów lądowych istotne są mutualistyczne oddziaływania między roślinami i ich zapylaczami, tworzące skomplikowane zależności, które łączą poszczególne gatunki. Sieci te mają określoną strukturę połączeń, charakteryzujących zależności w danej grupie organizmów, oraz częstotliwość interakcji między poszczególnymi gatunkami (Roguz i Zych, 2015). Zakłócenia funkcjonowania jednego gatunku w sieci mogą obejmować kolejne, w zależności od jej architektury. Jak wynika z globalnych analiz, wiele sieci ma zagnieżdżoną strukturę, co oznacza, że specjaliści (z niewielką liczbą połączeń w sieci) mają tendencję do interakcji z generalistami (mającymi wiele połączeń w sieci). Wynikiem zagnieżdżenia sieci jest pojawienie się asymetrii w relacji roślina–zapylnik: najwięksi specjaliści są partnerami gatunków najbardziej generalistycznych. W skrajnych przypadkach dochodzi do sytuacji, w której gatunki roślin polegają na jednym bądź kilku gatunkach zwierząt, które z kolei zależą od nich o wiele słabiej (Roguz i Zych, 2015). Kolejną powszechną cechą sieci jest modularność. Podzbiory gatunków ściśle ze sobą powiązanych (nazywane modułami sieci) są w takim wypadku jednocześnie słabo powiązane z gatunkami spoza tego podzbioru. Sieci zapyleń o całkowitej liczbie gatunków powyżej 150 są zawsze w jakimś stopniu modularne (Jędrzejewska-Szmek i Zych, 2012).

Czynniki prowadzące do zmian zachodzących w środowisku (głównie przy udziale człowieka) mogą wpływać na skład i równowagę sieci. Usunięcie gatunku zapylnika z sieci może ujemnie oddziaływać na różnorodność roślin, podobnie jak usunięcie rośliny może negatywnie oddziaływać na zapylnice. Przypuszcza się, że zagnieżdżone sieci cechują się wysoką tolerancją na utratę przypadkowych gatunków, ale mogą być wrażliwe na usunięcie niektórych gatunków o wysokiej liczbie połączeń, choć na potwierdzenie tych hipotez brakuje ciągle jednoznacznych danych eksperymentalnych. Generalnie uważa się, że ok. 15% gatunków jest kluczowych dla utrzymania struktury takiej sieci – mogą to być te o wielu połączeniach w obrębie modułu, w którym się znajdują, gatunki łączące poszczególne moduły albo jedno i drugie. Wyginięcie tych kluczowych gatunków może powodować rozpad sieci i zainicjować kaskadowe ginięcie gatunków (Olesen i in., 2007).

W niewielu badaniach, jak dotychczas, skupiono się na nocnych sieciach tworzonych przez rośliny i ich zapylnice, gdyż po zmroku widoczność owadów jest bardzo ograniczona. Jednak żeby w pełni zrozumieć funkcjonowanie mutualistycznych sieci zapyleń, należy poznać rolę odgrywaną przez nocne zapylnice (za: Macgregor i in., 2015). Przykładem takich badań może być przeprowadzona w lasach iglastych na terenie Szkocji analiza sieci zapyleń uwzględniających ćmy oraz skalę ich usług jako zapylników. Ćmy odławiano w pułapki świetlne, po czym identyfikowano i liczone pyłek zebrany z powierzchni ich ciała. Okazało się, że tylko 25% gatunków ciem przenosiło pyłek należący do 12 gatunków roślin. Zdecydowana większość (97%) transportowała pyłek należący do jednego gatunku rośliny. Nocne sieci zapyleń charakteryzowały się podobnymi zasadami funkcjonowania jak dzienne: istotnym zagnieżdżeniem, asymetrią interakcji, wysoką zależnością od gatunków generalistycznych i wysoką zmiennością liczby gatunków i ich interakcji w czasie (zarówno w ciągu sezonu wegetacyjnego, jak i między latami). Po uzupełnieniu dziennych sieci zapyleń o nocne wzrosła liczba roślin biorących w nich udział, wzrosła również liczba owadów, do których dołączono gatunki ciem, oraz liczba

połączeń w sieci (o blisko 100% w pierwszym roku badań i 15% w drugim) (Devoto i in., 2011). Mimo że badania uwzględniały tylko jeden rząd nocnych owadów przenoszących pyłek, a ich odsetek spośród wszystkich odłowionych był niewielki, okazuje się, że interakcje zapylaczy z roślinami po zmroku stanowią znaczny procent ogółu połączeń w sieci.

Istnieje również niewiele danych na temat zmniejszającej się liczebności owadów odwiedzających kwiaty nocą. Większość badań oceniających interakcje zapylaczy z kwiatami dotyczy owadów aktywnych w ciągu dnia, głównie z rzędów błonkoskrzydłych i muchówek. Owady inne niż pszczoły czy muchówki z rodziny bzygowatych, w tym także te aktywne nocą, przyczyniają się znacząco do zapylania roślin, działając też komplementarnie w stosunku do lepiej przebadanych grup. Może to korzystnie wpływać na funkcjonowanie ekosystemu w przypadku zmian środowiskowych, gwarantując jego większą stabilność. We wspomnianych badaniach (Knop i in., 2018) uwzględniono również pory odwiedzin gości kwiatowych, pojawiających się na siedmiu gatunkach roślin w ciągu całej doby. Okazało się, że tylko dwa z nich odwiedzane były wyłącznie za dnia, natomiast pięć pozostałych także nocą.

4. Wzrost zanieczyszczenia światłem

Według danych z 2016 r. problem zanieczyszczenia światłem obejmuje 23% powierzchni obszarów lądowych (pomiędzy równoleżnikami 75°N i 60°S). Dodatkowo biorąc pod uwagę poszczególne kraje, prawie 85% Wielkiej Brytanii i aż 100% obszarów Holandii charakteryzuje się obecnością sztucznego światła w nocy (Falchi i in., 2016). Jednym z głównych źródeł zanieczyszczenia światłem są lampy uliczne (Macgregor i in., 2017).

Światło emitowane przez Słońce różni się zakresem spektrum długości fal od antropogenicznego. Badania przeprowadzone w latach 2012–2016, przy pomocy specjalnie wykalibrowanego radiometru do detekcji fal pochodzących ze sztucznego oświetlenia VIIRS (Visible Infrared Imager Radiometer Suit), wskazują wzrost o 2,2% rocznie powierzchni obszarów oświetlonych nocą, jak również wzrost intensywności emitowanego światła o 1,8% rocznie (Kyba i in., 2017). Jednakże dane te są prawdopodobnie niedoszacowane, gdyż urządzenie pomiarowe nie było zdolne do prawidłowej detekcji fal świetlnych odpowiadającej zakresowi światła niebieskiego. Ma to o tyle istotne znaczenie, że w ostatnich czasach mamy do czynienia ze zmianą oświetlenia wysoko- i niskociśnieniowych lamp sodowych (emitujących węższe spektrum światła o barwie żółtej i pomarańczowej) na lampy emitujące światło białe, o szerszym spektrum długości fal, z których najnowszym typem jest LED, a nieco starszymi wysokociśnieniowe lampy rtęciowe oraz metalohalogenkowe. Zmiana ta jest motywowana wyższą wydajnością energetyczną, dłuższą żywotnością oraz lepszą widocznością dla człowieka.

Niestety nowsze lampy emitują również duże ilości fal elektromagnetycznych, odpowiadających zakresowi niebieskiego światła, które najbardziej się rozprasa i w największym stopniu odpowiada za powstawanie poświaty (ang. *sky glow*). Uważane jest ono także za najniebezpieczniejszą formę zanieczyszczenia świetlnego. Poza najnowszymi lampami LED, źródła emitujące zwłaszcza białe światło w swoim spektrum często posiadają także fale elektromagnetyczne odpowiadające zakresowi ultrafioletu (UV). Dodatkowo, powszechna dostępność tańszych i wydaj-

niejszych lamp LED powoduje wzrost ich użycia, co przekłada się na zwiększone zanieczyszczenie świetlne (Kyba i in., 2017).

5. Konsekwencje zanieczyszczenia światłem

Zanieczyszczenie światłem jest szczególnie niebezpieczne dla organizmów prowadzących nocny tryb życia i wpływa na nie wielorako: od bezpośrednich interakcji, np. kontaktu fizycznego z latarniami (powodującego uszkodzenie ich ciał), przez wzrost promieniowania tła (prowadzący do powstawania poświaty), po zmianę postrzegania fotoperiodu (za: Macgregor i in., 2015). Obecność antropogenicznego światła w nocy powoduje zaburzenia naturalnego rytmu okołodobowego i całorocznego, co w konsekwencji może wpływać na cały szereg interakcji między gatunkami, procesy fizjologiczne i zachowanie organizmów. Sztuczne światło może też oddziaływać na niektóre organizmy aktywne w dzień, wydłużając ich aktywność i wywołując powstawanie międzygatunkowej konkurencji z gatunkami aktywnymi w nocy (za: Rowse i in., 2016).

Podczas gdy dla ludzi „widzialne światło” to fale elektromagnetyczne z zakresu od 400 nm do 700 nm, ptaki, ryby i bezkręgowce, posiadające inny zakres widzialności fal elektromagnetycznych, dostrzegają także światło w zakresie promieniowania ultrafioletowego (UV). Niedawno przeprowadzone badania sugerują, że wiele ssaków jest również zdolnych do detekcji światła UV. Dotyczy to np. nietoperzy (Douglas i Jeffery, 2014), które odgrywają istotną rolę jako zapylacze w wielu ekosystemach.

Obecność sztucznych źródeł światła może również wpływać bezpośrednio na rośliny, zaburzając ich fotoperiod. Cathey i Campbell (1975) w swoich badaniach uwzględniających 22 gatunki roślin ozdobnych ustalili, że obecność sztucznego światła nocą wpływała na opóźnienie bądź przyspieszenie czasu kwitnienia oraz szybszy lub wolniejszy wzrost, w zależności od gatunku. Może to oddziaływać na sukces reprodukcyjny roślin i ich przetrwanie w danym ekosystemie (Cathey i Campbell, 1975). Inne badania, do których dane zbierano 13 lat, dowiodły, że pęknięcie pąków drzew liściastych następowało 7,5 dnia wcześniej na obszarach zanieczyszczonych w nocy światłem (French-Constant i in., 2016). Rośliny narażone na stały kontakt ze sztucznym światłem mogą też produkować mniej kwiatów. W przypadku komonicy błotnej (*Lotus pedunculatus*) było to od 10 do 25% mniej kwiatostanów (Bennie i in., 2015).

Niewiele obecnie wiadomo na temat skutków oddziaływania zanieczyszczenia światłem na dynamikę populacji, całe ekosystemy oraz sieci interakcji między gatunkami. Wzrastające zanieczyszczenie światłem zaczyna być rozpatrywane jako nowe zagrożenie dla ekosystemów lądowych, mogące wywoływać trudne do przewidzenia skutki, które dla jednych gatunków mogą okazać się korzystne, będąc niekorzystnymi dla innych (za: Macgregor i in., 2015).

6. Wpływ zanieczyszczenia światłem na owady

Większość mechanizmów i skutków przyciągania owadów przez antropogeniczne źródła światła jest wciąż niepoznana. Powstało kilka teorii próbujących je wyjaśnić. Według jednej z nich, opracowanej przez Buddenbrooka (1937), owady posiadają ewolucyjnie rozwinięty mechanizm nawigacji w oparciu o światło. Decyduje on o torze, po jakim się poruszają, by osiągnąć określony kąt w stosunku do świecącego obiektu, którym naturalnie jest księżyc lub gwiazdy. W pobliżu sztucznego

źródła światła owady poruszają się po spiralnym torze wokół niego, co często prowadzi do bezpośredniego kontaktu owada ze świecącym obiektem (Altermatt i in., 2009). Kluczowym czynnikiem determinującym atrakcyjność źródła światła dla owadów jest emisja światła zawierającego w swoim spektrum fale elektromagnetyczne odpowiadające ultrafioletowi i kolorowi niebieskiemu (Barghini i Souza de Medeiros, 2012).

Fakt przyciągania owadów przez światło znany jest od dawna, ale zjawisko to i konsekwencje, jakie może za sobą nieść, są stosunkowo nowym tematem rozważań naukowych. Istnieją silne argumenty potwierdzające negatywne oddziaływanie sztucznych źródeł światła na populacje owadów. Oszacowano np., że lampy uliczne, w niemieckim mieście zamieszkałym przez blisko 240 tys. osób, mogą być przyczyną śmierci nawet 360 milionów owadów rocznie (Eisenbeis, 2006).

Długości fal świetlnych odpowiadające UV, zwłaszcza blisko granicy światła widzialnego dla człowieka (400 nm), są szczególnie ważne dla zapyłaczy, których spektrum widzenia je obejmuje. Światło UV umożliwia owadom zobaczenie niewidocznego dla człowieka obrazu większości kwiatów, ukazującego specjalne wskazówki-wzory (ang. *nectar guides*), które ułatwiają zapyłaczom odnalezienie nagród kwiatowych (nektaru i pyłku). Sztuczne światło może zaś powodować zaburzenia widzenia ich przez owady (za: Macgregor i in., 2015).

Badanie przeprowadzone we wschodniej Brazylii (w São Paulo) z zastosowaniem źródeł światła o różnym kolorze (wysokociśnieniowych lamp rtęciowych emitujących białe światło oraz wysokociśnieniowych lamp sodowych emitujących żółte światło) wskazuje, że większą atrakcyjnością dla aktywnych nocą owadów charakteryzowały się lampy emitujące białe światło. Dla obydwu typów lamp zastosowanie filtra UV znacząco redukowało liczbę owadów odławianych w pułapki świetlne. Dodatkowo owadami, które najczęściej odławiano nocą, były muchówki i chrząszcze. Motyle nocne, które są najlepiej przebadaną grupą owadów w kontekście wpływu na nie zanieczyszczenia świetlnego, były dopiero szóstym najczęściej odławianym rzędem owadów (Barghini i Souza de Medeiros, 2012). Podobne wyniki pod względem składu taksonomicznego owadów otrzymali badacze z Niemiec (Eisenbeis, 2006). Dalsze analizy wpływu zanieczyszczenia światłem na organizmy powinny zatem skupiać się na wszystkich grupach owadów, co przyczyni się do lepszego poznania tego zjawiska i związanych z nim zagrożeń.

Zanieczyszczenie światłem może intensywnie przyczyniać się do zagrożenia różnorodności biologicznej owadów (Conrad i in., 2006). Przyciąganie z daleka gatunków, dla których światło jest atraktantem, podnosi prawdopodobieństwo eliminowania dużej liczby owadów z ekosystemu, a nawet ich lokalnego wymierania (Eisenbeis i in., 2006), co prowadzić może do istotnych zmian w sieciach zapyleń. Intensywność, z jaką owady kierują się ku źródłom światła, zależy od spektrum długości emitowanych przez nie fal: największe zagęszczenia owadów odnotowywane są przy wysokociśnieniowych lampach rtęciowych (światło białe), znacznie mniejsze przy wysokociśnieniowych lampach sodowych (światło żółte). Jeszcze mniej owadów przyciągają nowe lampy LED (światło białe o cieplej bądź chłodnej barwie), najmniejszym zaś zainteresowaniem cieszą się niskociśnieniowe lampy sodowe (światło pomarańczowe) (za: Rowse i in., 2016). Owady, które znajdują się w pobliżu sztucznego źródła światła, są łatwym do zdobycia pokarmem dla nietoperzy. Ssaki te najchętniej polują na duże owady, szczególnie ćmy, co negatywnie wpływa

na liczebność tych ostatnich. Dodatkowo owady oślepienie przez światło bądź po bezpośrednim kontakcie z jego źródłem, tracą umiejętność unikania drapieżników, często też pozostają w bezruchu na ziemi (za: Rowse i in., 2016), gdzie narażone są na atak ze strony innych zwierząt.

Sukces reprodukcyjny ciem może także podlegać negatywnemu wpływowi sztucznego światła nocą. Nawet niski poziom sztucznego światła powoduje zahamowanie uwalniania feromonów przez samice z rodziny *Geometridae*. Ponadto uliczne lampy mogą odciągać uwagę samców od uwalnianych przez samice feromonów, wpływając tym samym na ograniczenie kojarzenia osobników. Sztuczne światło może również wpływać na składanie mniejszej liczby jaj przez samice lub powodować, że będą one składane w niedogodnych lokalizacjach, w pobliżu źródeł światła – co może przyczynić się do zwiększonej konkurencji pokarmowej wśród potomstwa (za: Macgregor i in., 2015).

U larw motyli nocnych i dziennych, prowadzących w stadium larwalnym nocny tryb życia, nawet niewielka ilość sztucznego światła może powodować spadek masy i – w przypadku samców – wcześniejsze przepoczwarczenie się. Badania na przedstawicielach rodziny sówkowatych (*Noctuidae*) wykazały także, że światło może hamować rozwój ontogenetyczny w przypadku obu płci. Wykazano również, że sztuczne oświetlenie może powodować opóźnienie lub nawet unikanie rozpoczęcia nocnej aktywności ciem, jak również skutkować zmianami w ich lokalnym rozmieszczeniu i składzie gatunkowym (za: Macgregor i in., 2015).

Wiele niezwiązanych z obecnością sztucznego światła czynników ekologicznych może decydować o lokalnym spadku liczby owadów. Aby je zidentyfikować, autorzy kolejnej publikacji przeprowadzili analizę danych zbieranych przez 30 lat na terenie Holandii, dotyczących dużych ciem. Prawie 500 gatunków uwzględnionych w badaniach podzielono ze względu na różnice w poziomie fototaksji oraz w rytmie okołodobowym. Zaobserwowano większe negatywne zmiany w populacjach motyli nocnych wśród gatunków aktywnych nocą, niż wśród tych aktywnych za dnia, oraz wykazujących pozytywną fototaksję, w odróżnieniu od tych nieprzyciąganych przez światło. Wykazano, że obecność sztucznego światła prowadzi do szybkiego spadku liczebności w populacjach motyli nocnych na obszarach o wysokiej jasności nieba, wynikającej z powszechnej obecności nocnego oświetlenia (jak wspomniano wcześniej, 100% obszaru Holandii jest zanieczyszczone światłem) (Langevelde i in., 2017).

Na drodze doboru naturalnego ómy mogą też przystosować się do unikania sztucznego światła, choć jest to nieczęste, mało przebadane i prawdopodobnie powolne zjawisko. W przypadku namiotnika trzmieliniaczka (*Yponomeuta cagnagella*) zaobserwowano ograniczone kierowanie się w stronę źródeł światła wśród owadów z terenów zurbanizowanych, w porównaniu z tymi z terenów wiejskich (Altermatt i Ebert, 2016).

7. Wpływ zanieczyszczenia światłem na nietoperze

Nietoperze jako zwierzęta aktywne nocą mogą silnie doświadczać obecności sztucznego światła. Dodatkowo wiele gatunków tych zwierząt odżywia się owadami, które również narażone są na skutki działania antropogenicznego oświetlenia. Jego wpływ na nietoperze i owady, na które polują, zależy od spektrum światła produkowanego przez lampy uliczne – lampy emitujące światło ultrafioletowe

przyciągają więcej owadów, czego skutkiem jest pojawianie się tam większej liczby owadożernych nietoperzy. Odmienne reakcje poszczególnych gatunków nietoperzy na oświetlenie są m.in. wynikiem różnic w ich morfologii i sposobie lotu. Szybko latające gatunki nietoperzy często żywią się w pobliżu latarni, natomiast te słabiej latające, które narażone są na atak drapieżników, żerują w bardziej ograniczonych przestrzeniach, często unikając światła (Jones i Rydell, 1994). Z badań przeprowadzonych na terenie Wielkiej Brytanii, uwzględniających trzy gatunki nietoperzy, wynika, że aktywność karlika małego (*Pipistrellus pipistrellus*) była znacznie wyższa w pobliżu źródeł światła świecących na biało (lamp metalohalogenkowych), niż niskociśnieniowych lamp sodowych emitujących pomarańczowe światło. Pozostałe dwa gatunki nietoperzy: karlik drobny (*Pipistrellus pygmaeus*) i mroczek (*Eptesicus spp.*) raczej unikały oświetlonych obszarów (Stone i in., 2015).

Światło, jak widać, może być barierą dla niektórych gatunków, uniemożliwiając im przemieszczanie się i ograniczając przepływ genów, podczas gdy dla innych może działać sprzyjająco (Stone i in., 2015). Poza bezpośrednim wpływem sztucznego światła na nietoperze (mogącym powodować zmiany fizjologiczne w ich organizmach), jego oddziaływanie na te zwierzęta może być także pośrednie (zarówno w przypadku poszukiwania w jego obecności pożywienia, jak i unikania ataku ze strony drapieżników). Zmiany w zagęszczeniu owadów, które skupiają się w pobliżu sztucznych źródeł światła, ułatwiają zdobywanie pokarmu niektórym gatunkom nietoperzy. Inne gatunki, unikające światła, może jednak spotkać utrudnienie w poszukiwaniu pożywienia, co skutkować będzie przeznaczeniem większej ilości czasu i energii na jego zdobycie. Dodatkowo nietoperze odżywiające się owadami przebywającymi w pobliżu lamp mogą wpływać na zmniejszanie populacji tych bezkręgowców.

Niestety, jak dotąd nie wiemy nic o wpływie sztucznych źródeł światła na proces zapylania roślin przez nietoperze (za: Rowse i in., 2016).

8. Wpływ zanieczyszczenia światłem na usługi ekosystemowe zapylaczy

Niewiele wiadomo o wpływie sztucznego światła nocą na owady w kontekście ich udziału jako zapylaczy roślin. Dotychczasowe badania wskazują, że zanieczyszczenie światłem może oddziaływać bardzo negatywnie zarówno na liczebność zapylaczy, jak i przebieg samego procesu zapylania.

Jak wspomniano wcześniej, ćmy w pobliżu sztucznych źródeł światła przemieszczają się w ich kierunku, co w konsekwencji odwołuje je od zapylania roślin. Badania przeprowadzone w obecności wysokociśnieniowych lamp sodowych wykazały, że w ich pobliżu nad powierzchnią ziemi (na poziomie roślinności) liczba odławianych ciem była nawet do 50% niższa niż na terenach nieoświetlonych. Tendencja ta była obecna w przypadku każdej przeanalizowanej indywidualnie rodziny. Różnorodność gatunkowa ciem w obecności lamp była przeciętnie o ponad 25% niższa. Dowiedziono również, że na oświetlonych obszarach aktywność latających ciem na wysokości powyżej 3 m (na poziomie oświetlenia ulicznego) była o 70% wyższa. Zmiany w rozmieszczeniu tych owadów mogą skutkować różnicami w depozycji pyłku na znamionach kwiatów, w zależności od dystansu dzielącego rośliny od źródła światła (Macgregor i in., 2017). Potwierdza to przypuszczenia, że w pobliżu sztucznego źródła światła ćmy kierują się w jego stronę, na większe wysokości,

a ich zagęszczenie spada wraz z odległością od lampy. Ładunki pyłku przenoszone na ciałach owadów odlawianych z poziomu roślinności, jak i stopień zróżnicowania gatunków roślin, z których pochodził ten pyłek, nie były zależne od obecności sztucznego światła. Wykazano jednak, że wśród owadów odlawianych z poziomu oświetlenia ulicznego prawdopodobieństwo transportu przez nie pyłku było niższe na oświetlonych obszarach. Oznacza to mniejszą skłonność owadów do świadczenia usług jako zapylacze w pobliżu sztucznego oświetlenia. Dlatego antropogeniczne źródła światła wpływają nie tylko na zachowanie owadów, ale również na organizmy, z którymi wchodzi one w interakcje. Badania te dowodzą również, że na obszarach rolniczych w strefie klimatu umiarkowanego duża i zróżnicowana taksonomicznie grupa ciem jest zaangażowana w proces transportu pyłku pochodzącego od wielu gatunków roślin. Podkreśla to istotność tej grupy zapylaczy w usługach ekosystemowych (Macgregor i in., 2017).

Ciekawe wyniki uzyskano podczas badań prowadzonych w zbiorowiskach łąkowych w strefie klimatu umiarkowanego. Połowa terenów objętych eksperymentem oświetlana była w nocy lampami LED, zaś pozostała część (kontrolna) niepoddana była działaniu sztucznego oświetlenia. Dowiedziono, że zanieczyszczenie światłem może negatywnie wpływać na mutualistyczne sieci zapyleń roślin i owadów oraz sukces reprodukcyjny roślin. Na oświetlonych nocą łąkach liczba odwiedzin kwiatów przez aktywne po zmierzchu owady zmniejszyła się o 62% w porównaniu z obszarami kontrolnymi, a różnorodność gatunkowa tych owadów uległa spadkowi o 29%, co wskazuje na równomierny wpływ oświetlenia w nocy na wszystkie badane taksony. Obecność światła po zmierzchu skutkowała również 13-procentową redukcją zawiązywanych owoców w przypadku uwzględnionego w badaniach gatunku ostrożeńca warzywnego (*Cirsium oleraceum*), odwiedzanego przez owady zarówno w ciągu dnia, jak i w nocy. Spadek sukcesu reprodukcyjnego rośliny świadczy o negatywnym wpływie sztucznego światła na usługi nocnych zapylaczy, które nie mogą być kompensowane przez inne owady w ciągu dnia. Według autorów badań (Knop i in., 2018) negatywny wpływ sztucznego światła w nocy na liczbę odwiedzin kwiatów przez owady jest prawdopodobnie spowodowany kilkoma czynnikami: zmianami w zachowaniu owadów przyciąganych przez światło, reakcjami fizjologicznymi zachodzącymi w organizmach owadów (których przykłady podano wyżej) oraz w roślinach (choć mechanizmy te zostały do tej pory mało poznane – Bennie i in., 2016).

Wykazano także znaczący spadek stopnia generalizacji roślin (obliczany jako średnia ważona z liczby efektywnych gatunków zapylaczy roślin w przeliczeniu na gatunek rośliny) na oświetlanych łąkach, co zostało wytłumaczone niższą liczbą interakcji roślin z owadami. Stopień generalizacji owadów odwiedzających (obliczany jako średnia ważona z liczby roślin odwiedzanych przez owady w przeliczeniu na liczbę gatunków zapylaczy) nie zmieniał się pod wpływem światła, co oznacza, że goście kwiatowi na łąkach oświetlonych nie byli bardziej wybiórczy. Badania wskazały także na znaczące różnice w budowie nocnych sieci interakcji (w liczbie tworzących je gatunków i powiązań) między oświetlanymi i nieoświetlanymi łąkami. Okazało się, że zagnieżdzenie nocnych sieci jest znacznie wyższe w przypadku obszarów niepoddanych wpływowi sztucznego światła nocą, co świadczy o destabilizującym wpływie sztucznych źródeł światła na interakcje roślin i ich zapylaczy. Ponieważ obecność sztucznego światła wpływa na nocne owady, w efekcie przycy-

niając się do spadku sukcesu reprodukcyjnego roślin, na jego działanie pośrednio narażone są też owady odwiedzające kwiaty w dzień, których baza pokarmowa będzie się kurczyć (co jest konsekwencją spadku produkcji nasion). Po przeanalizowaniu połączonych nocnych i dziennych sieci interakcji uznano, że zanieczyszczenie światłem może mieć również pośredni wpływ na owady odwiedzające kwiaty w ciągu dnia. Autorzy tych badań konkludują, że nocne i dzienne zapylacze działają jako komplementarne grupy w ekosystemie, pośrednio połączone przez oddziaływania z roślinami. Obecność sztucznego światła w nocy, wpływając na zachowanie nocnych owadów, może przyczynić się do szybszego spadku liczebności i różnorodności także dziennych owadów (Knop i in., 2018).

9. Podsumowanie

Zanieczyszczenie światłem wpływa na zachowanie oraz fizjologię zapylaczy, co przekłada się na poziom świadczonych przez nie usług ekosystemowych. Na obszarach sztucznie oświetlonych może następować znaczna redukcja częstości odwiedzin na kwiatkach i wielkości sieci zapyleń, co skutkuje spadkiem sukcesu reprodukcyjnego roślin oraz zwierząt i pociągać może za sobą nieodwracalne zmiany w ekosystemach. Negatywny wpływ zanieczyszczenia światłem na aktywność nocnych zapylaczy nie jest prawdopodobnie kompensowany przez inne owady w ciągu dnia. Stanowi więc rosnące realne zagrożenie dla wielu ekosystemów łądowych.

Bibliografia

- Aizen, M.A., Garibaldi, L.A., Cunningham, S.A., Klein, A.M. (2009). *How much does agriculture depend on pollinators? Lessons from long-term trends in crop production*. *Annals of Botany*, **103**, 1579–1588. DOI: 10.1093/aob/mcp076.
- Altermatt, F., Baumeyer, A., Ebert, D. (2009). *Experimental evidence for male biased flight-to-light behaviour in two moth species*. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, **130**, 259–265. DOI: 10.1111/j.1570-7458.2008.00817.x.
- Altermatt, F., Ebert, D. (2016). *Reduced flight-to-light behaviour of moth populations exposed to long-term urban light pollution*. *Biology Letters*, **12**. DOI: 10.1098/rsbl.2016.0111.
- Barghini, A., de Medeiros, B.A.S. (2012). *UV Radiation as an Attractor for Insects*. *Leukos*, **9**, 47–56. DOI: 10.1582/LEUKOS.2012.09.01.003
- Bennie, J., Davies, T.W., Cruse, D., Gaston, K.J. (2016). *Ecological effects of artificial light at night on wild plants*. *Journal of Ecology*, **104**, 611–620. DOI: 10.1111/1365-2745.12551.
- Bennie, J., Davies, T.W., Cruse, D., Inger, R., Gaston, K.J. (2015). *Cascading effects of artificial light at night: resource-mediated control of herbivores in a grassland ecosystem*. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, **370**. DOI: 10.1098/rstb.2014.0131.
- Biesmeijer, J.C., Roberts, S.P.M., Reemer, M., Ohlemüller, R., Edwards, M., Peeters, T., Schafers, A.P., Potts, S.G., Kleukers, R., Thomas, C.D., Settele, J., Kunin, W.E. (2006). *Parallel declines in pollinators and insect-pollinated plants in Britain and the Netherlands*. *Science*, **313**, 351–354. DOI: 10.1126/science.1127863.
- Brittain, C.A., Vighi, M., Bommarco, R., Settele, J., Potts, S.G. (2010). *Impacts of a pesticide on pollinator species richness at different spatial scales*. *Basic and Applied Ecology*, **11**, 106–115. DOI: 10.1016/j.baae.2009.11.007.
- Buchmann, S.L., Nabhan, G.P. (1996). *The forgotten pollinators*. Island Press, Waszyngton.
- Buddenbrook, W. von (1937). *Grundriss der Vergleichenden Physiologie*. Gebrüder Borntraeger, Berlin.
- Cathey, H.M., Campbell, L.E. (1975). *Effectiveness of five vision-lighting sources on photo-regulation of 22 species of ornamental plants*. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, **100**, 65–71.

- Conrad, K.F., Warren, M.S., Fox, R., Parsons, M.S., Woiwod, I.P. (2006). *Rapid declines of common, widespread British moths provide evidence of an insect biodiversity crisis*. *Biological Conservation*, **132**, 279–291. DOI: 10.1016/j.biocon.2006.04.020.
- Devoto, M., Bailey, S., Memmott, A.J. (2011). *The ‘night shift’: nocturnal pollen-transport networks in a boreal pine forest*. *Ecological Entomology*, **36**, 25–35. DOI: 10.1111/j.1365-2311.2010.01247.x.
- Douglas, R.H., Jeffery, G. (2014). *The spectral transmission of ocular media suggests ultraviolet sensitivity is widespread among mammals*. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, **281**. DOI: 10.1098/rspb.2013.2995.
- Eilers, E.J., Kremen, C., Greenleaf, S.S., Garber, A.K., Klein, A.-M. (2011). *Contribution of Pollinator-Mediated Crops to Nutrients in the Human Food Supply*. *PLoS ONE*, **6**, e21363. DOI: 10.1371/journal.pone.0021363.
- Eisenbeis, G. (2006). *Artificial night lighting and insects: Attraction of insects to streetlamps in a rural setting in Germany*. [w:] *Ecological Consequences of Artificial Night Lighting*, [red.] C. Rich i T. Longcore. Island Press, Waszyngton, 281–304.
- Falchi, F., Cinzano, P., Duriscoe, D., Kyba, C., Elvidge, C., Baugh, K., Portnov, B., Rybnikova, N., Furgoni, R. (2016). *The new world atlas of artificial night sky brightness*. *Science Advances*, **6**. DOI: 0.1126/sciadv.1600377
- French-Constant, R.H., Somers-Yeates, R., Bennie, J., Economou, T., Hodgson, D., Spalding, A., McGregor, P.K. (2016). *Light pollution is associated with earlier tree budburst across the United Kingdom*. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 283. DOI: 10.1098/rspb.2016.0813.
- Fleming, T.H., Geiselman, C., Kress, W.J. (2009). *The evolution of bat pollination: a phylogenetic perspective*. *Annals of Botany*, **104**, 1017–1043. DOI: 10.1093/aob/mcp197.
- Gallai, N., Salles, J.-M., Settele, J., Vaissière, B.E. (2009). *Economic valuation of the vulnerability of world agriculture confronted with pollinator decline*. *Ecological Economics*, **68**, 810–821. DOI: 10.1016/j.ecolecon.2008.06.014.
- Jędrzejewska-Szmek, K., Zych, M. (2012). *Zapłqtani w sieci (mutualistycznej)*. *Kosmos*, **61**, 517–527.
- Jones, G., Rydell, J. (1994). *Foraging strategy and predation risk as factors influencing emergence time in echolocating bats*. *Philosophical Transactions: Biological Sciences*, **346**, 445–455.
- Klein, A.-M., Vaissière, B.E., Cane, J.H., Steffan-Dewenter, I., Cunningham, S.A., Kremen, C., Tscharntke, T. (2007). *Importance of pollinators in changing landscapes for world crops*. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, **274**. DOI: 10.1098/rspb.2006.3721.
- Knop, E., Zoller, L., Ryser, R., Gerpe, C., Hörler, M., Fontaine, C. (2017). *Artificial light at night as a new threat to pollination*. *Nature*, **548**, 206–209. DOI: 10.1038/nature23288.
- Knop, E., Gerpe, C., Ryser, R., Hofmann, F., Menz, M.H., Trösch, S., Ursenbacher, S., Zoller, L., Fontaine, C. (2018). *Rush hours in flower visitors over a day–night cycle*. *Insect Conservation and Diversity*, **11**, 267–275. DOI: 10.1111/icad.12277.
- Kyba C.C.M., Kuester, T., Sánchez de Miguel, A., Baugh, K., Jechow, A., Hölker, F., Bennie, J., Elvidge, C.D., Gaston, K., Guanter, L. (2017). *Artificially lit surface of Earth at night increasing in radiance and extent*. *Science Advances*, **3**, e1701528. DOI: 10.1126/sciadv.1701528.
- Langevelde, F. von, Braamburg-Annegarn, M., Huigens, M.E., Groendijk, R., Poitevin, O., van Deijk, J.E., Ellis, W.N., Grunsven, R.H.A., de Vos, R., Vos, R.A., Franzén, M., WallisDeVries, M.F. (2017). *Declines in moth populations stress the need for conserving dark nights*. *Global Change Biology*, **24**, 925–932. DOI: 10.1111/gcb.14008.
- Macgregor, C.J., Pocock, M.J.O., Fox, R., Evans, D.M. (2015). *Pollination by nocturnal Lepidoptera, and the effects of light pollution: a review*. *Ecological Entomology*, **40**, 187–198. DOI: 10.1111/een.12174
- Macgregor, C.J., Evans, D.M., Fox, R., Pocock, M.J.O. (2017). *The dark side of street lighting: impacts on moths and evidence for the disruption of nocturnal pollen transport*. *Global Change Biology*, **23**, 697–707. DOI: 10.1111/gcb.13371.
- Ollerton, J., Winfree, R., Tarrant, S. (2011). *How many flowering plants are pollinated by animals?* *Oikos*, **120**, 321–326. DOI: 10.1111/j.1600-0706.2010.18644.x.
- Olesen, J.M., Bascompte, J., Dupont, Y.L., Jordano, P. (2007). *The modularity of pollination networks*. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, **104**, 19891–19896. DOI: 10.1073/pnas.0706375104.

- Potts, S.G., Biesmeijer, J.C., Kremen, C., Neumann, P., Schweiger, O., Kunin, W.E. (2010). *Global pollinator declines: trends, impacts and drivers*. Trends in Ecology and Evolution, **25**, 345-353. DOI: 10.1016/j.tree.2010.01.007.
- Roguz, K., Zych, M. (2015). *Gatunki obce i inwazyjne w mutualistycznych sieciach zapyleń*. [w:] Inwazyjne gatunki obcego pochodzenia zagrożeniem dla rodzimej przyrody. [red.:] L. Krzysztofiak, A. Krzysztofiak. Stowarzyszenie Człowiek i Przyroda, Krzywe.
- Rowse, E.G., Lewanzik D., Stone E.L., Harris S., Jones G. (2016). *Dark Matters: The Effects of Artificial Lighting on Bats*. [w:] Bats in the Anthropocene: Conservation of Bats in a Changing World. [red.:] C. Voigt, T. Kingston T. Springer, Cham. DOI: 10.1007/978-3-319-25220-9_7.
- Stone, E.L., Wakefield, A., Harris, S., Jones, G. (2015). *The impacts of new street light technologies: experimentally testing the effects on bats of changing from low-pressure sodium to white metal halide*. Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences, **370**. DOI: 10.1098/rstb.2014.0127.
- Willmer, P. (2011). *Pollination and Floral Ecology*. Princeton University Press, Princeton i Oxford.
- Zych, M., Jakubiec, A. (2006). *How much is a bee worth? Economic aspects of pollination of selected crops in Poland*. Acta Agrobotanica, **59**, 289-299.

ENG **Night shift: how light pollution affects the mutualistic interactions between plants and their pollinators?**

Abstract: Animal pollination of angiosperm flowers is one of the fundamental ecological processes that determine the stability of many terrestrial ecosystems. During the last decades pollinators, however, experience many environmental changes that result in decline in their abundance and diversity. Increasing light pollution seems to be another factor that pollinators must face. Over the last decades, light pollution increased as a consequence of urbanization. Older types of lightning are gradually replaced with newer ones (as LED or metal halide lamps) characterized by a wider spectrum of wavelengths which impact on wildlife can be particularly intensive. There is a growing number of evidence concerning the physiological and behavioural influence of light pollution on living organisms and interactions between them. Nocturnal animals belong to the most threatened group. However, according to new research negative influence of light pollution may be also transferred to diurnal species causing serious changes to the entire ecosystems. The data concerning night pollinators and their interactions with plants is very limited, and most of them address moths, omitting other pollinator groups. There is an urgent need to study nocturnal pollinators, especially taking into consideration this new threat that can significantly contribute to their decline.

Key words: artificial light pollution, ecosystem services, declines in insect populations, pollination, pollination networks

