

ROZŚWIETLONA NOC, JASNE ZAGROŻENIE DLA PRZYRODY – WPŁYW ALAN NA PTAKI MIGRUJĄCE

DOI 10.34658/9788366741461.5

Lucyna Piłacka

Stowarzyszenie Wspierania Inwestycji Przyjaznych PTA.com
biuro.swipp@gmail.com

Liliana Schönberger

Gentoo Consulting

Aleksandra Szurlej-Kiełańska

Stowarzyszenie Wspierania Inwestycji Przyjaznych PTA.com

Streszczenie: Negatywne oddziaływanie sztucznego oświetlenia (*Artificial Light at Night* – ALAN) jest jedną z głównych, antropogenicznych przyczyn odpowiedzialnych za bezpośrednią śmiertelność ptaków migrujących nocą. Do udokumentowanego, negatywnego wpływu ALAN na ptaki zaliczane są: efekt przyciągania i efekt dezorientacji. Efekt bariery z kolei jest przedmiotem badań, jednak brakuje jak dotąd jednoznacznego stwierdzenia na temat charakteru tego zjawiska. Większość badań wskazuje, że za efekt przyciągania, przyczyniający się do kolizji z różnymi konstrukcjami na lądzie i na morzu, odpowiedzialne jest oświetlenie o barwie niebieskiej i zielonej. Jednak czerwone i białe światło również wskazywane było w badaniach jako wywierające wpływ na przyciąganie ptaków. Z uwagi na te rozbieżności, konieczne są dalsze badania, w efekcie których będzie możliwe określenie, jaka barwa światła będzie najbezpieczniejsza dla ptaków. W chwili obecnej zasadne wydaje się rekomendowanie wykorzystania źródeł światła o barwach ciepłych (żółtej, bursztynowej) o temperaturze barwowej nieprzekraczającej 3000 K.

Słowa kluczowe: zanieczyszczenie sztucznym światłem, ptaki migrujące, ochrona ptaków, kolizje ptaków, śmiertelność ptaków

1. Wstęp

Funkcjonowanie organizmów żywych, zarówno roślin, jak i zwierząt, ściśle związane jest z dobowym i sezonowym rytmem naturalnego światła. Szeroko pojęty rozwój cywilizacyjny, szczególnie na terenach silnie zurbanizowanych, stanowi jedno z głównych źródeł zanieczyszczenia środowiska, w tym zanieczyszczenia związanego ze sztucznym oświetleniem. Szacuje się, że obecnie jedynie około 18% powierzchni kontynentalnej Ziemi oświetlone jest światłem pochodzenia naturalnego [1]. W Europie nie ma już praktycznie żadnych miejsc, gdzie światło w nocy pochodzi tylko od blasku ciał niebieskich. Ostatnie ostoje naturalnie ciemnej nocy najbliżej Polski to północna Szkocja i wschodnia Ukraina, a blisko 1/3 całkowitej populacji ludzkiej zamieszkującej nasz glob utraciła możliwość obserwacji Drogi Mlecznej [1].

Wyniki wielu badań jednoznacznie wskazują, że nadmiar sztucznego oświetlenia, niezależnie od barwy czy długości fali, negatywnie wpływa na wszystkie organizmy żywe. Światło niebieskie zaburza wydzielanie melatoniny, wpływając w konsekwencji na rytm dobowy, behavior, cykl rozrodczy czy naturalne interakcje wewnątrz – i międzygatunkowe u lokalnie występujących ptaków, ssaków i ryb [2, 3, 4, 5]. Nie bez znaczenia jest również wpływ ALAN (ang. *Artificial Light at Night*) na lokalne rozmieszczenie, aktywność i skład gatunkowy innych gatunków zwierząt (ssaków, gadów, płazów, ryb, bezkręgowców) oraz roślin stanowiących pokarm czy siedlisko dla ptaków [6, 7, 8]. Skomplikowany obraz zależności i wzajemnych oddziaływań pomiędzy organizmami żywymi a środowiskiem, w którym żyją, obrazuje jak wrażliwy jest to mechanizm i jak negatywny wpływ jednego czynnika na jeden gatunek czy populację może w konsekwencji wpłynąć na inne, na różnych poziomach współzależności.

Obecnie, prowadzi się wiele badań dokumentujących zmiany, jakie powoduje długotrwała ekspozycja na ALAN w przypadku populacji lęgowych ptaków. Wiemy jednak, że negatywny wpływ nadmiaru sztucznego światła dotyczy także ptaków migrujących nocą z lęgowisk na zimowiska (migracja jesienna) oraz z zimowisk na lęgowiska (migracja wiosenna) i stanowi jedną z głównych przyczyn bezpośredniej śmiertelności ptaków na skutek działalności człowieka. Przywabione i zdezorientowane światłami miast ptaki, krążąc wokół takich punktów, w efekcie często rozbijają się o budynki i inne elementy infrastruktury. Monitoring śmiertelności prowadzony w Minneapolis (USA) wykazał, że liczba znalezionych martwych ptaków była wyższa przy budynkach silniej oświetlonych [9] co wskazuje istotny wpływ ALAN na prawdopodobieństwo wystąpienia kolizji. Dodatkowo, przy niekorzystnych warunkach pogodowych, gdy naturalne „drogowskazy” zasłonięte są przez chmury czy mgłę, migrujące ptaki zmuszone są obniżyć pułap lotu, co również często skutkuje śmiertelnymi kolizjami z oświetloną, gęstą zabudową w centrach miast.

Zjawisko przyciągania ptaków przez sztuczne światło obserwowano już w XIX wieku i dotyczyło ono w głównej mierze latarni morskich i oświetlonych punktowo statków [10]. Na tej podstawie zaobserwowano również zmienność skali śmiertelności migrujących ptaków w zależności od lokalizacji latarni, co w dalszej kolejności

pozwoili m.in. na wyodrębnienie ważniejszych szlaków migracyjnych [11, 12]. Obecnie, pomimo że zjawisko kolizji ptaków z oświetlonymi elementami infrastruktury rzadko dotyczy latarni morskich, termin określany właśnie „efektem latarni morskiej” nadal funkcjonuje i wymieniany jest poza efektem przezroczystości i efektem lustra, jako jedna z przyczyn kolizji ptaków z przeszkleniami [13]. W związku z dynamicznym rozwojem obszarów zurbanizowanych i przeważającym wpływem ALAN związanym z oświetlonymi, rozległymi obszarami miejskimi, sugerujemy zastąpienie powyższego sformułowanie, terminem „efektu kopuły”, znacznie precyzyjniej obrazującym aktualne zagrożenia. Sformułowanie zawierające słowo „kopuła”, bezpośrednio odnosi się do kształtu, jakiego przybiera łuna świetlna nad miastami (w przeciwieństwie do punktowego, pulsującego oświetlenia latarni morskiej).

Przywabione sztucznym światłem i zdezorientowane ptaki często ulegają kolizjom z różnymi elementami infrastruktury (budynki, wieże telekomunikacyjne, przewody elektryczne itp.) lub padają z wyczerpania, krążąc wokół punktów świetlnych. Ostatnie badania wykazały, że niektóre grupy gatunków migrujących nocą częściej ulegają kolizjom i są bardziej podatne na negatywne efekty związane z ALAN [14]. W wyniku analiz danych zebranych w trakcie 40-letniego monitoringu śmiertelności ptaków w Chicago i Cleveland wykazano, że największy udział wśród ofiar kolizji miały gatunki ptaków, które regularnie odzywają się podczas nocnej migracji i intensywnie komunikują się z innymi osobnikami w stadzie za pomocą krótkich głosów kontaktowych – są to głównie drozdy *Turdidae*, lasówki *Parulidae* i pasówki *Passerela* [15]. Ten sposób porozumiewania się podczas migracji pomaga stadu w nawigacji, orientacji i podejmowaniu wspólnych decyzji, jednak udowodniono, że zwiększa również ryzyko kolizji na skutek ALAN poprzez grupową dezorientację i przywabianie innych osobników. Okazuje się jednak, że inne gatunki ptaków, nieodzywające się podczas nocnych przelotów, nie były wrażliwe na te sygnały. Spośród gatunków występujących w Europie głosami kontaktowymi podczas nocnych przelotów posługują się m.in. drozdy *Turdus* sp., zniczki *Regulus ignicapillus*, mysikróliki *Regulus regulus* [16] czy niektóre gatunki siewkowych Charadriiformes, co zdawałoby się potwierdzać powyższą teorię, gdyż przedstawiciele tych grup gatunków często stanowią wysoki odsetek ofiar kolizji (obserwacje własne – dane niepublikowane).

Pomimo rosnącej liczby dowodów na temat negatywnego wpływu zanieczyszczenia światłem na środowisko, całkowita powierzchnia Ziemi narażona jest na zanieczyszczenie światłem, a intensywność ALAN wzrasta w ciągłym tempie [17]. Miejskie źródła ALAN mają szeroki wpływ na zachowania migracyjne i mogą odgrywać rolę w kształtowaniu tras migracyjnych poszczególnych gatunków, co dodatkowo podkreśla potrzebę lepszego zrozumienia wpływu tego zjawiska na populacje ptaków wędrownych. Gatunki ptaków należące do migrantów długodystansowych, przemieszczających się nocą są bardziej narażone na negatywne oddziaływanie ALAN podczas migracji niż podczas innych faz cyklu rocznego (okres lęgowy, zimowanie). Największe koncentracje ALAN występują zazwyczaj na obszarach miejskich, które zajmują około 0,5% powierzchni lądów na świecie i są skoncentrowane głównie

między 30°N a 45°N [18]. Wiele gatunków nocnych migrantów rozmnaża się w lasach borealnych na północ od 50° szerokości geograficznej, na przykład na północ od granicy USA z Kanadą, a zimuje na obszarach tropikalnych na południe od Zwrotnika Raka (25°N). W związku z tym, podczas migracji ptaki te przemierzają szerokości geograficzne o najwyższym stopniu rozwoju urbanistycznego na świecie, wyruszając z obszarów o niskim poziomie zanieczyszczenia światłem i wracając do nich [19].

Z punktu widzenia ochrony ptaków migrujących istotne jest więc ograniczenie zanieczyszczenia światłem sztucznym, szczególnie w miejscach, które zanieczyszczenie to generują w najwyższym stopniu, a jednocześnie stanowią element sieci korytarzy ekologicznych o znaczeniu regionalnym i ponadregionalnym. Bazując na dostępnej wiedzy, możliwe jest wskazanie potencjalnie newralgicznych punktów na terenie Polski. Jednym z takich miejsc jest, między innymi, pas nadmorski w rejonie aglomeracji Trójmiasta czy dolina Odry w rejonie Wrocławia [13].

Pilotażowe badania, z wykorzystaniem radarów ornitologicznych wykazały, że w ciągu jednej nocy (październik 2018 roku) nad Gdańskiem przeleciało blisko 350 000 ptaków [20]. Jednocześnie, w okresie migracji jesiennej śmiertelność ptaków w wyniku kolizji z przeszkloną zabudową w obrębie Trójmiasta jest wyraźnie zauważalna, co potwierdzają obserwacje własne i doniesienia medialne. Powinno to więc stanowić przyczynek do dyskusji nad kierunkiem rozwoju zabudowy w rejonie pasa nadmorskiego, czy ograniczeniem ALAN w okresie intensywnej migracji ptaków, a także punkt wyjścia do dalszych badań.

2. Oddziaływanie ALAN na ptaki migrujące

Nie do końca znane są mechanizmy skutkujące przyciąganiem czy dezorientacją nocnych migrantów w wyniku oddziaływania sztucznych źródeł światła. Większość badań wskazuje pierwotnie na efekt związany z dodatnią fototaksją, czyli zjawiskiem reakcji przyciągania w kierunku bodźców świetlnych, co jest szczególnie silnie zaznaczone w przypadku ptaków obserwowanych podczas jesiennej migracji [21]. W dalszej kolejności, ptaki, które wpadną w „pułapkę świetlną” ulegają dezorientacji na skutek zaburzenia podstawowych mechanizmów orientacji w przestrzeni: nawigacji według planet i gwiazd oraz zdolności postrzegania pola magnetycznego [22]. Silne, rozproszone sztuczne światło zaburza absorpcję naturalnego światła przez białko fotoreceptorowe znajdujące się w siatkówce (rodopsynę), co w konsekwencji niejako oślepia ptaki i nie pozwala im dostrzec stosunkowo słabego światła pochodzącego z gwiazd i słabego, niebieskiego światła (niezbędnego do „odczytania” pola magnetycznego Ziemi), odbijającego się od punktów orientacyjnych.

Nie do końca jasny jest również mechanizm utrzymujący ptaki w świetlnej pułapce [23]. Wiadomo jednak, że efekt ten można w prosty sposób zminimalizować lub całkowicie zredukować poprzez wyłączenie szkodliwego źródła światła. Obserwacje prowadzone w Nowym Jorku potwierdziły, że już po 20–30 minutach od wyłączenia

instalacji świetlnej *Tribute in Light*, upamiętniającej zamachy terrorystyczne z 11 września 2001 roku, ptaki „uwalniały” się z pułapki i odlatywały [24]. Efekt ten jest więc praktycznie natychmiastowy, co pozwala zakładać, że jakiegokolwiek ograniczenie nadmiernego oświetlenia, szczególnie na trasach migracji ptaków, znacząco przyczyni się do ograniczenia ich śmiertelności.

Spośród rozpoznanych negatywnych oddziaływań ALAN na ptaki migrujące, najczęściej wymieniane są efekt przyciągania, dezorientacji oraz efekt bariery. Charakter tych oddziaływań może bezpośrednio wpływać na poziom śmiertelności, jak i przyczynić się do niego pośrednio, poprzez np. zwiększanie nakładów energetycznych w czasie wędrówek w wyniku dezorientacji i zmiany szlaku migracyjnego [25].

Najlepiej rozpoznany i zbadany efektem ALAN jest efekt przyciągania [24]. Przemierzające się w nocy ptaki migrujące wykorzystują ciała niebieskie jako pomoc w nawigacji i utrzymaniu właściwego kierunku lotu. Ptaki napotykające na swojej drodze źródła sztucznego światła: pojedyncze (np. statek na morzu, wieża przekaźnikowa), zgrupowane (np. farma wiatrowa), czy w postaci iluminacji obejmującej rozległe obszary (miasto, obszary zurbanizowane), mogą zmieniać trajektorię lotu dopasowując kierunek lotu do źródła sztucznego światła, które błędnie interpretują jako gwiazdy [26]. Efekt ten jest szczególnie nasilony w czasie zamglenia i dużego zachmurzenia oraz opadów [27, 28, 29, 30, 31], kiedy ciała niebieskie są niewidoczne, a ptaki obniżają pułap lotu ze względu na niekorzystne warunki atmosferyczne. Efekt przyciągania jest zdecydowanie mniej zaznaczony w czasie jasnych nocy około pełni księżyca [32]. Ptaki przyciągane do źródeł ALAN ulegają kolizjom z konstrukcjami, na których zainstalowane są oprawy oświetleniowe, bądź krążą („błądzą”) wokół źródła światła, tracąc w ten sposób energię potrzebną na odbycie wędrówki [33].

Do najbardziej spektakularnych, a przy tym najbardziej dramatycznych przykładów przyciągania ptaków migrujących przez ALAN jest *Tribute in Light* w Nowym Jorku, które ma upamiętniać wydarzenia z 11 września 2001 roku w formie silnych snopów światła generowanych przez reflektory usytuowane w miejscu, gdzie stały budynki World Trade Center. Światło skierowane pionowo w górę w ciągu trwania wydarzenia przyciąga do 160 000 migrujących ptaków [24, 34]. Ptaki „schwyte” w strumień światła traciły orientację i nie mogąc wydostać się poza obszar oddziaływania reflektorów, często utrzymywały się w powietrzu aż do pełnego wyczerpania i śmierci. Podobne zjawiska obserwowane są bardzo licznie w przypadku ptaków morskich na platformach wiertniczych czy statkach, które znajdują się na trasie przelotu, a także w strefie przybrzeżnej (dotyczy głównie rurkonosych), gdzie zdeorientowane ptaki po zderzeniu z elementami oświetlonej infrastruktury, bądź budynków, nie są w stanie podjąć lotu samodzielnie, przez co padają ofiarą psów, kotów i innych drapieżników [29, 35, 36, 37].

Efekt dezorientacji jest bezpośrednio związany z efektem przyciągania. Jak już wspomniano, przemierzające się ptaki są przyciągane w kierunku źródła światła. Przestrzenna dezorientacja ptaków migrujących to czasowa niezdolność do obierania pożądanego kierunku przemieszczania się. Efekt występuje wówczas, gdy dany

osobnik nie kontynuuje wędrówki w oczekiwanym kierunku, a zamiast tego, rozpoczyna krążenie bądź chaotyczne przemieszczanie się w kierunku od i do źródła światła [28, 36, 38]. Szczególnie narażone na to są ptaki młodociane, które swoją pierwszą wędrówkę na zimowiska odbywają z wieloma niepotrzebnymi przystankami, zbaczając z najkrótszej trasy, czy wręcz wędrując w złym kierunku [26, 39, 40]. Z jednej strony jest to tłumaczone brakiem doświadczenia, z drugiej, związane jest z większą siłą oddziaływania fałszywych wskazówek nawigacyjnych na ptaki młode. Choć ptaki migrujące z zasady są przyciągane do źródeł ALAN w zurbanizowanych regionach, to szczególnie zaznaczony jest ten efekt w czasie migracji jesiennej, kiedy oprócz ptaków dorosłych wędrówkę odbywają po raz pierwszy młodociane osobniki. W czasie migracji wiosennej efekt przyciągania do terenów zurbanizowanych jest nadal widoczny, jednak w mniejszej skali niż ma to miejsce jesienią.

O odwrotnym działaniu do efektu przyciągania przez ALAN, czyli o efekcie bariery, słyszy się rzadko. Jak dotąd dostępne badania ptaków migrujących i zależności pomiędzy ich zachowaniem a ALAN wskazują niemal jednogłośnie, że źródła sztucznego światła w nocy przywabiają ptaki, a nie je odstrasza. Niemniej jednak w czasie badań przy użyciu radarów w Zatoce Meksykańskiej zespołu Cabrera–Cruz zauważono, że ptaki lądują na odpoczynek w większych odległościach od terenów zurbanizowanych (będących źródłem ALAN) wiosną, niż jesienią [19]. Badania te nie dają jednak jednoznacznej odpowiedzi, z czego wynika ta różnica i czy ptaki rzeczywiście unikają ALAN w czasie wiosny. Porównywanie wyników otrzymanych wiosną i jesienią może nie być obiektywne, gdyż sezony nie są porównywalne, w związku z dużą proporcją osobników młodocianych biorących udział w migracji jesiennej (które są podatniejsze na działanie sztucznego światła).

Pomimo dużej liczby artykułów poświęconych tematowi oddziaływania ALAN na ptaki w czasie migracji, szczególnie w ostatnich 20 latach [23], oraz niemal jednogłośnie przekonania o negatywnym oddziaływaniu ALAN na ptaki migrujące, nie można pominąć faktu, że metodyka i zakres badań niemal w każdym przypadku są inne, co utrudnia formułowanie jednoznacznych wniosków.

Większość dotychczasowych badań prowadzona jest głównie w Ameryce Północnej i Europie, a przedmiotem badań są najczęściej ptaki wróblowe, siewkowe lub rurkonose [23]. Badania różnią się również w zakresie zagadnień technicznych ALAN, czyli długości fal, koloru, źródła światła, czy w końcu wartości strumienia świetlnego i jego jednostki.

Niemniej jednak, badania nad śmiertelnością w wyniku kolizji dostarczają ewidentnych dowodów na negatywne oddziaływanie oświetlonych w czasie nocy struktur lądowych, takich jak wieże przekaźnikowe i budynki [9, 41, 42, 43, 44]. Takiego samego oddziaływania należy spodziewać się w przypadku struktur morskich, jak platformy wiertnicze, latarnie morskie oddalone od brzegu, elektrownie wiatrowe oraz oświetlone jednostki pływające, jednak z racji, że zebranie prób w postaci martwych ptaków jest na morzu niemożliwe, doniesienia na temat śmiertelnych kolizji są natury anegdotycznej. Istnieje jednak szereg badań poświęconych głównie ptakom migrującym potwierdzających efekt przyciągania ptaków do ALAN na morzu [35, 37,

45, 46], przy czym nie ma w nich zgodności, co do barwy światła, która przyciąga ptaki najbardziej. Zdecydowana większość badań wskazuje, że efekt przyciągania, a zatem również śmiertelność, zarówno w przypadku struktur lądowych, jak i morskich, są zdecydowanie większe w przypadku światła o barwie niebieskiej i zielonej [47, 48, 49, 50]. Dwie prace wskazują na większe przyciąganie przez światło czerwone i białe, i zalecają źródła światła emitujące promieniowanie o barwie zielonej, jako najbezpieczniejszej dla ptaków [51, 52]. Autorzy tych prac powołują się na badania, w których zaobserwowano powiązanie pomiędzy ekspozycją na ciepłe barwy światła (żółtą i czerwoną) a zaburzeniami magnetorecepcji [53]. Jeśli wzięte zostaną pod uwagę liczne badania dotyczące oddziaływania poszczególnych barw światła na ptaki lęgowe (choć tutaj również istnieje pewna rozbieżność), większość badań wskazuje na negatywny wpływ światła niebieskiego i mniejsze oddziaływania w przypadku barwy białej i czerwonej [54, 55, 56].

3. Działania minimalizujące negatywne skutki ALAN

Definicja oświetlenia przyjaznego dla naturalnie ciemnego nieba zmieniła się na przestrzeni lat głównie z uwagi na wzrost świadomości na temat skutków zanieczyszczenia światłem, ale także z uwagi na dynamiczny rozwój technologii wykorzystywanej w branży elektrycznej. Ochrona ptaków przed negatywnymi skutkami oddziaływania efektu latarni morskiej lub kopuły świetlnej wydaje się stosunkowo łatwa do wprowadzenia, bazując na odpowiednim projekcie oświetlenia oraz zarządzaniu oświetleniem wewnętrznym i zewnętrznym.

Wiele z rozwiązań technicznych i zasad użytkowania oświetlenia zdefiniowanych na przestrzeni lat przez naukowców i podmioty zaangażowane w walkę z zanieczyszczeniem światłem nocnego nieba z powodzeniem może służyć równocześnie ochronie ptaków. Należą do nich głównie: ograniczenie liczby punktów oświetleniowych i minimalizowanie oświetlonych powierzchni i znajdujących się na nich obiektów w porze wieczorno-nocnej [57], a także sterowanie oświetleniem znajdujące szerokie zastosowanie w celu podniesienia komfortu użytkownika budynku oraz w celu zminimalizowania zużycia energii [58].

W przypadku oświetlenia wewnętrznego, podstawowe zasady redukujące zanieczyszczenie świetlne w porze wieczorno-nocnej to:

- wyłączenie zbędnego oświetlenia wewnętrznego na przestrzeniach, które nie są aktualnie użytkowane oraz w miejscach, w których nie wymagają tego względy bezpieczeństwa [59, 60] lub przepisy przeciwpożarowe [13];
- wykorzystanie tzw. oświetlenia zadaniowego – celem skrócenia czasu, w którym włączone są wszystkie oprawy oświetleniowe w danym budynku [60];
- wykorzystanie rolet, żaluzji i zasłon w przypadku wykorzystywania oświetlenia wewnątrz budynku – celem ograniczenia strumienia świetlnego wydostającego się na zewnątrz;
- ponadto idealnym zastosowaniem automatyki budynkowej może być jej wykorzystanie do sterowania czasem wyłączenia oświetlenia, zmiany oświetlenia

dziennego na nocne (różniące się wartością strumienia świetlnego lub liczbą punktów oświetleniowych), uruchamianie rolet i zasłon w przypadku oświetlenia wewnętrznych powierzchni [13].

W przypadku oświetlenia zewnętrznego podstawowe zasady to:

- oświetlenie w porze wieczorno-nocnej tylko tej przestrzeni, w której oświetlenie wymagane jest z uwagi na bezpieczeństwo (np. ciągi piesze, parkingi) [13, 60];
- instalowanie opraw oświetleniowych o jak najmniejszej emisji strumienia świetlnego w górną półprzestrzeń [57, 59, 60];
- unikanie zbędnego oświetlenia w postaci podświetlania elewacji (szczególnie od dołu w górę) [57, 59, 60] i zieleni [13];
- dostosowanie natężenia oświetlenia do minimalnych wartości regulowanych normą PN-EN 12464-2 *Technika świetlna. Oświetlenie miejsc pracy. Część 2: Miejsca pracy na zewnątrz* [13] z uwzględnieniem ogólnego współczynnika utrzymania o wartości obliczonej dla wybranego sprzętu oświetleniowego;
- instalowanie w oprawach oświetleniowych (tam, gdzie jest to możliwe) źródeł światła o barwie bursztynowej lub żółtej [57];
- rezygnacja z wszelkiego typu reklam świetlnych bądź ograniczenie ich stosowania do miejsc uczęszczanych licznie przez mieszkańców w godzinach nocnych (np. dworce kolejowe, węzły przesiadkowe);
- instalowanie opraw oświetleniowych (tam, gdzie jest to możliwe) wyposażonych w czujniki ruchu [13, 59].

Pomimo licznych badań i analiz danych literaturowych, naukowcom nadal nie udało się jednoznacznie określić najkorzystniejszej barwy, która zastosowana w projekcie oświetlenia, byłaby optymalną w kontekście negatywnego oddziaływania na ptaki. Rzadko badano wpływ oddziaływania na ptaki fioletowej długości fali, pomimo że barwa ta jest postrzegana przez większość gatunków [62].

Oczekuje się, że źródła LED o niskich temperaturach barwowych, w których komponent światła niebieskiego został zredukowany jak i bursztynowe diody LED (ang. *amber LED*) mają mniejszy wpływ na organizmy żywe, między innymi na ptaki, bezkręgowce i żółwie morskie, w porównaniu do wysokoprężnych lamp sodowych [63]. Część autorów badań wykazuje, że wykorzystywanie bursztynowych diod LED ma negatywny wpływ na sen ptaków występujących na terenach miejskich [64].

Cytowana literatura nie odnosi się do ptaków migrujących jednak wskazuje na szereg zależności i złożoność problemu zanieczyszczenia światłem w odniesieniu do barwy światła najkorzystniejszej dla ptaków. Jako mające negatywny wpływ na dziko występujące gatunki, wskazywane jest światło niebieskie lub błękitne [63] oraz białe [54, 55, 56]. Jednocześnie, wykazano, że w przypadku barwy czerwonej istotnie mniejszy, negatywny wpływ ma emitowanie światła w sposób pulsacyjny, niż ciągły [65]. Badania te przeprowadzono w związku ze stwierdzoną kolizyjnością ptaków z wieżami komunikacyjnymi i potwierdzono, że wprowadzenie migającego światła zmniejszyło śmiertelność ptaków od 50% do 71%.

Część wytycznych, skupiających się na minimalizowaniu zanieczyszczenia światłem, wskazuje jako alternatywne rozwiązanie w ograniczaniu bezpośredniej

emisji światła ku górze nasadzenia drzew, których korony miałyby sprzyjać „blokowaniu” światła w porze wieczorno–nocnej [57, 66]. Należy mieć jednak na uwadze, że zarówno instalowanie opraw oświetleniowych przy drzewach i krzewach, jak i oświetlenie zieleni w celu podkreślenia jej walorów estetycznych, w negatywny sposób wpływa na możliwość wykorzystywania jej w porze wieczorno–nocnej jako siedliska żerowania lub odpoczynku, a także jako miejsca rozrodu, np. gniazd ptaków. Ponadto oświetlenie zieleni może również bezpośrednio wpływać na wzrost niektórych gatunków roślin oraz aktywność organizmów nocą [4, 12, 62, 67, 68].

Jak wykazują badania brytyjskich naukowców, zajmujących się wpływem oświetlenia ulicznego na stan wzrostu zieleni przyulicznej i aktywność charakterystycznych dla nich bezkręgowców, zanieczyszczenie światłem może wpływać na środowisko naturalne w bardzo złożony, trudny do przewidzenia sposób [62]. W powyższych badaniach bursztynowe diody LED powodowały zahamowanie wzrostu części gatunków roślin i miały wpływ na podwyższoną aktywność konkretnych gatunków bezkręgowców. W świetle powyżej zacytowanych badań należy stwierdzić, że oświetlanie zieleni w istotnym sposób zaburza cykl dobowy organizmów i uniemożliwia ich prawidłowe funkcjonowanie. W związku z powyższym wydaje się zasadne całkowite unikanie lokalizacji opraw oświetleniowych, niezależnie od ich funkcji, w bezpośredniej bliskości zieleni, w tym żywopłotów i ogrodów.

Przytaczając rozwiązania minimalizujące zanieczyszczenie sztucznym światłem nocnego nieba, nie sposób pominąć wytycznych i legislacji dotyczących zrównoważonego budownictwa i projektowania budynków przyjaznych ptakom. W USA i Kanadzie, ale również w Wielkiej Brytanii powszechne stało się wdrażanie przez lokalne władze dobrych praktyk lub norm, wskazujących na niezbędny zakres rozwiązań, skupiających się między innymi na minimalizowaniu ryzyka zanieczyszczenia światłem [59, 60, 69]. Dokumenty te w dość precyzyjny sposób wskazują wymagania techniczne dla oświetlenia zewnętrznego, zarówno pod kątem typów opraw oświetleniowych, dopuszczalnej wysokości montażu opraw oświetleniowych, maksymalnego dopuszczalnego kąta nachylenia oprawy oświetleniowej celem oświetlenia danej powierzchni.

Do wytycznych (wzorowanych na Kanadzie, USA czy Wielkiej Brytanii), które warto zaimplementować na polskim gruncie należą:

- ograniczenie maksymalnego dopuszczalnego poziomu temperatury barwowej najbliższej CCT (ang. *Correlated Color Temperature*) do 3000 K, co ogranicza komponent światła niebieskiego;
- zakaz wykorzystywania zewnętrznego oświetlenia dekoracyjnego w godzinach 23.00–5.00 przez cały rok;
- obligatoryjny montaż opraw oświetleniowych kierujących światło wyłącznie w dół w przypadku dopuszczonego oświetlenia dekoracyjnego elewacji lub oświetlenia reklamowego;
- obligatoryjne wyłączenie oświetlenia dekoracyjnego w okresie migracji ptaków (wrzesień–listopad, marzec–maj).

4. Podsumowanie i wnioski

Liczne badania poświęcone tematyce oddziaływania ALAN na ptaki migrujące potwierdzają jednoznacznie jego negatywny wpływ na przebieg sezonowych wędrówek we wszystkich badanych grupach taksonomicznych ptaków wędrownych. Powinno to być wystarczająco silną przesłanką i stanowić jednoznaczny impuls do wprowadzania działań minimalizujących negatywne oddziaływania w szerokiej skali przestrzennej. Przykłady dobrych praktyk, płynące głównie z USA i Kanady [70], mogą stanowić inspirację do wprowadzenia podobnych sprawdzonych działań na terenie Polski.

Obecnie prowadzone są prace nad europejskim modelem predykcyjnym GloBAM, który w oparciu o systemy radarowe z dużym prawdopodobieństwem pozwalałyby przewidywać przemieszczanie się ptaków migrujących nad Europą [71], co umożliwiłoby wczesną reakcję i wygaszanie szczególnie opraw oświetleniowych o bardzo intensywnym strumieniu świetlnym w aglomeracjach miejskich. Jak wiadomo, oddziaływania negatywne ALAN dotyczą nie tylko ptaków migrujących, ale praktycznie wszystkich badanych pod tym kątem organizmów. W ostatnich dwudziestu latach liczba artykułów naukowych w tematyce oddziaływań ALAN na organizmy rosła systematycznie – jedynie w odniesieniu do oddziaływań na ptaki obecnie publikowanych jest około 25 artykułów rocznie [23]. Ogromna liczba badań potwierdza, jak ważny jest to temat, jednak nadal pozostaje dużo pytań bez jednoznacznej odpowiedzi.

Niezbędne jest dalsze prowadzenie badań w kierunku znalezienia odpowiedzi, jaka barwa światła ma największe znaczenie dla przyciągania ptaków migrujących do źródła ALAN. Badania powinny dokładnie opisywać zagadnienia techniczne, aby prace mogły zostać powielane w innym miejscu i w odniesieniu do innych grup ptaków. Sposób prowadzenia obserwacji reakcji przelatujących ptaków w nocy nastrocza oczywistych trudności, dlatego również ten aspekt w cytowanych badaniach bardzo się różnił. Stosowana w niektórych projektach analiza akustyczna pozwala na identyfikację gatunków przyciąganych przez ALAN, ale tylko tych, które są aktywne głosowo w czasie przelotu [15, 16]. Łapanie ptaków w sieci w pobliżu źródła światła pozwala na poznanie struktury gatunkowej jedynie tych ptaków, które najbardziej reagują na światło i przyciągane są do samego źródła, jednak nie daje informacji na temat ptaków przywabionych, ale pozostających w locie. Obserwacje z platform wiertniczych i statków dotyczą bardzo małej powierzchni i również nie dają informacji na temat ptaków znajdujących się w zasięgu oddziaływania światła, ale niewidocznych z poziomu platformy czy też jednostki pływającej.

Najdokładniejszą metodą wydaje się badanie przelatujących ptaków przy użyciu radaru poziomego, który pozwala na śledzenie trajektorii lotu z dużą dokładnością, a zatem umożliwia obserwację reakcji poszczególnych osobników na światło o wybranej do badań długości fal i częstotliwości. Badania przy użyciu radaru pionowego informowałyby o intensywności migracji na wysokościach nawet do 1500 metrów nad poziomem morza [72], co umożliwiłoby wiarygodne estymacje liczebności ptaków

narażonych na oddziaływanie ALAN. Na obecny moment nie jest możliwe dokładne oznaczenie gatunków przy użyciu radarów (możliwa jest tylko estymacja wielkości ptaka), więc te informacje musiałyby być uzyskane w inny sposób, na przykład przez analizę akustyczną, jednak jak już wspomniano, ta metoda również ma swoje ograniczenia.

Mimo braku jednoznacznych odpowiedzi nasuwa się oczywisty wniosek, że najlepszym rozwiązaniem dla środowiska (nie tylko ptaków migrujących) jest ograniczanie sztucznego oświetlenia w czasie nocy. Istnieje szereg rozwiązań technicznych, które w prosty sposób pozwalają na zmniejszenie emisji światła. Coraz więcej krajów wprowadza odpowiednie zapisy na różnych poziomach regulacyjnych, które mają na celu zmniejszenie zanieczyszczenia świetlnego [73, 74]. Głównym celem tych zapisów jest ochrona zdrowia człowieka przed szkodliwym działaniem ALAN, jednak coraz częściej pojawiają się również prawa chroniące przyrodę. W niektórych krajach, takich jak Francja, Szwajcaria, Liechtenstein wprowadzono również regulacje dotyczące granicznej wartości temperatury barwowej najbliższej źródeł światła instalowanych w oprawach oświetleniowych dla infrastruktury publicznej, decydując się na wybór lamp o cieplej barwie (poniżej 3000 K), które według przeważającej liczby badań generują najmniej negatywnych oddziaływań na środowisko przyrodnicze [75].

Literatura

- [1] Falchi F., Cinzano P., Duriscoe D., Kyba C.C.M., Elvidge C.D., Baugh K. et al., *The new world atlas of artificial night sky brightness*, Science Advances, 2016, 2, e1600377. DOI: 10.1126/sciadv.1600377.
- [2] Senzaki M., Barber J.R., Phillips J.N. et al., *Sensory pollutants alter bird phenology and fitness across a continent*, Nature, 2020, 587, s. 605–609, DOI: 10.1038/s41586-020-2903-7.
- [3] Moaraf S., Vistoropsky Y., Pozner T., Heiblum R., Okuliarová M., Zeman M., Barnea A., *Artificial light at night affects brain plasticity and melatonin in birds*, Neuroscience Letters, 2020, 716, art. 134639, DOI: 10.1016/j.neulet.2019.134639.
- [4] Rahman M.S., Kim B.H., Takemura A., Park C.B., Lee Y.D., *Influence of light–dark and lunar cycles on the ocular melatonin rhythms in the seagrass rabbitfish, a lunar–synchronized spawner*, Journal of Pineal Research, 2004, 37, 2, s. 122–128, DOI: 10.1111/j.1600-079X.2004.00147.x.
- [5] Brüning A., Hölker, Franke S., Kleiner W., Kloas W., *Impact of different colours of artificial light at night on melatonin rhythm and gene expression of gonadotropins in European perch*, Science of the Total Environment, 2016, 543, s. 214–222.
- [6] Owens A.C.S., Lewis S.M., *The impact of artificial light at night on nocturnal insects: a review and synthesis*, Ecology and Evolution, 2018, 8, s. 11337–11358.
- [7] Canário F., Hesperhol Leitão A., Tomé R., *Predation Attempts by short-eared and long-eared owls on migrating songbirds attracted to artificial lights*, Journal of Raptor Research, 2012, 46, s. 232–234, DOI: 10.3356/JRR-11-15.1.

- [8] Hoffmann J., Hölker F. and Eccard J.A., *Welcome to the Dark Side: Partial Nighttime Illumination Affects Night – and Daytime Foraging Behavior of a Small Mammal.*, *Frontiers in Ecology and Evolution*, 2022, 9, art. 779825.
- [9] Lao S., Robertson B.A., Anderson A., Blair R.B., Eckles J.W., Turner R.J., Loss S.R., *The influence of artificial light at night and polarized light on bird–building collisions*, *Biological Conservation*, 2020, 241, s. 108358, DOI: 10.17632/vcm4pbcvpg.1.
- [10] Allen J.A., *Destruction of birds by light–houses*, *Bulletin of the Nuttall Ornithological Club* 5, 1880, 3, s. 131–38.
- [11] Merriam C.H. *Preliminary report of the committee on bird migration*, *Auk*, 1885, 2, s. 53–65, DOI: 10.2307/4625173.
- [12] Munro A., *A preliminary report on the destruction of birds at lighthouses on the coast of British Columbia*, *Canadian Field–Natumlist*, 1924, 38, s. 141–145.
- [13] Szurlej-Kiełańska A., Pilacka L., Górecki D., *Ochrona ptaków przed kolizjami ze szklanymi budynkami. Praktyczne i skuteczne rozwiązania*, Stowarzyszenie Wspierania Inwestycji Przyjaznych PTA.com, 2020.
- [14] Loss S.R., Will T., Loss S.S., Marra P.P., *Bird–building collisions in the United States: Estimates of annual mortality and species vulnerability*, *The Condor*, 2014, 116, s. 8–23, DOI: 10.1650/CONDOR-13-090.1.
- [15] Winger B.M., Weeks B.C., Farnsworth A., Jones A.W., Hennen M., Willard D.E., *Nocturnal flight–calling behaviour predicts vulnerability to artificial light in migratory birds*, *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 2019, 286, art. 20190364, DOI: 10.1098/rspb.2019.0364.
- [16] Pamuła H., Kłaczyński M., Wszółek W., Remisiewicz M., *Monitoring akustyczny ptaków migrujących nocą – zagadnienia związane z automatyczną detekcją głosów*, *Ornis Polonica*, 2017, 58, s. 187–196.
- [17] Kyba, C.C.M. et al., *Artificially lit surface of Earth at night increasing in radiance and extent*, *Science Advances*, 2017, 3, s. 1–9, DOI: 10.1126/sciadv.1701528.
- [18] Zhou Y. et al, *A global map of urban extent from nightlights*, *Environmental Research Letters*, 2015, 10, art. 054011, DOI: 10.1088/1748-9326/10/5/054011.
- [19] Cabrera–Cruz S.A., Smolinsky J.A., Buler J.J., *Light pollution is greatest within migration passage areas for nocturnally–migrating birds around the world*, *Scientific Reports*, 2018, 8, art. 3261, DOI: 10.1038/s41598–018–21577–6.
- [20] Przybylski M., Zięćik P., Lewczuk M., *Sprawozdanie z realizacji zadania p. Badanie wędrówek ptaków w pasie nadmorskim Gdańska*, Pomorskie Towarzystwo Hydrologiczno-Przyrodnicze, 2019.
- [21] Zhao X., Chen M., Wu Z., Wang Z., *Factors influencing phototaxis in nocturnal migrating birds*, *Zoological Science*, 2014, 31, 12, s. 781–788, DOI: 10.2108/zs130237.
- [22] Chernetsov N.S., *Orientation and navigation of migrating birds*, *Bulletin of the Russian Academy of Sciences*, 2016, 43, s. 788–803, DOI: 10.1134/S1062359016080069.
- [23] Adams C.A., Fernández-Juricic E., Bayne E.M. et al, *Effects of artificial light on bird movement and distribution: a systematic map*, *Environmental Evidence*, 2021, 10, 1, s. 1–28, DOI: 10.1186/s13750–021–00246–8.
- [24] Van Doren B.M., Horton K.G., Dokter A.M., Klinck H., Elbin S.B., Farnsworth A., *High-intensity urban light installation dramatically alters nocturnal bird migration*, *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 2017, 114, 42, s. 11175–11180, DOI: 10.1073/pnas.1708574114.
- [25] Bruderer B., *Vogelzug. Eine schweizerische Perspektive*, *Der Ornithologische Beobachter*, Beiheft 12, 2017.

- [26] Atchoi E., Mitkus M., Rodríguez A., *Is seabird light-induced mortality explained by the visual system development?*, Conservation Science and Practice, 2020, 2, 6, s. 2–5, DOI: 10.1111/csp2.195.
- [27] Thompson D., *Effects of ships lights on fish, squid and seabirds*, Wellington, 2013.
- [28] Alerstam T., *Ecological Causes and Consequences of Bird Orientation [w:] Orientation in Birds*, P. Berthold (ed.), Experientia Supplementum, vol 60. Birkhäuser Basel, 1991, s. 202–225 DOI: 10.1007/978-3-0348-7208-9_10.
- [29] Ronconi R.A., Allard K.A., Taylor P.D., *Bird interactions with offshore oil and gas platforms: Review of impacts and monitoring techniques*, Journal of Environmental Management, 2015, 147, s. 34–45, DOI: 10.1016/j.jenvman.2014.07.031.
- [30] Pettersson J., *Night migration of songbirds and waterfowl at the Utgrunden off-shore wind farm: a radar-assisted study in southern Kalmar Sound*, Report No. 6438, Vindval, Swedish Environmental Protection Agency (EPA), 2011.
- [31] La Sorte F.A. et al., *The role of atmospheric conditions in the seasonal dynamics of North American migration flyways*, Journal of Biogeography, 2014, 41, 9, s. 1685–1696, DOI: 10.1111/jbi.12328.
- [32] Montevecchi W.A., *Influences of artificial light on marine birds, [w:] Ecological Consequences of Artificial Night Lighting*, Island Press, 2006, s. 94–113.
- [33] Isaksson C., *Impact of urbanization on birds [w:] Bird species. How they arise, modify and vanish*, D.T. Tietze (ed.), Springer open, Cham, Switzerland, 2018, s. 235–257.
- [34] Greenspan J., *Making the 9/11 Memorial Lights Bird-Safe*, September 11, 2015, Audubon Society, <https://www.audubon.org/news/making-911-memorial-lights-bird-safe> [dostęp: 22.06.2020].
- [35] Rodríguez A., Burgan G., Dann P., Jessop R., Negro J.J., Chiaradia A., *Fatal attraction of short-tailed shearwaters to artificial lights*, PLoS One, 2014, 9, 10, e110114, DOI: 10.1371/journal.pone.0110114
- [36] Rodríguez A. et al., *Seabird mortality induced by land-based artificial lights*, Conservation Biology, 2017, 31, 5, s. 986–1001, DOI: 10.1111/cobi.12900.
- [37] Rodríguez A. et al., *Light pollution and seabird fledglings: Targeting efforts in rescue programs*, Journal of Wildlife Management, 2017, 81, 4, s. 734–741, DOI: 10.1002/jwmg.21237.
- [38] Herbert A.D., *Spatial Disorientation in Birds*, Wilson Bulletin, 1970, 82, 4, s. 400–419.
- [39] La Sorte F.A., Fink D., Buler J.J., Farnsworth A., Cabrera-Cruz S.A., *Seasonal associations with urban light pollution for nocturnally migrating bird populations*, Global Change Biology, 2017, 23, 11, s. 4609–4619, DOI: 10.1111/gcb.13792.
- [40] Horton K.G., Nilsson C., Van Doren B.M., La Sorte F.A., Dokter A.M., Farnsworth A., *Bright lights in the big cities: migratory birds' exposure to artificial light*, Frontiers in Ecology and the Environment, 2019, 17, 4, s. 209–214, DOI: 10.1002/fee.2029.
- [41] Elmore J.A. et al., *Correlates of bird collisions with buildings across three North American countries*, Conservation Biology, 2021, vol. 35, no. 2, ss. 654–665, DOI: 10.1111/cobi.13569.
- [42] Longcore T. et al., *An estimate of avian mortality at communication towers in the United States and Canada.*, PLoS One, 2012, 7, 4, DOI: 10.1371/journal.pone.0034025.
- [43] Longcore T. et al., *Avian mortality at communication towers in the United States and Canada: Which species, how many, and where?*, Biological Conservation, 2013, 158, s. 410–419, DOI: 10.1016/j.biocon.2012.09.019.

- [44] Loss S.R., Lao S., Eckles J.W., Anderson A.W., Blair R.B., Turner R.J., *Factors influencing bird-building collisions in the downtown area of a major North American city*, PLoS One 2019, 14, 11, DOI: 10.1371/journal.pone.0224164.
- [45] Gauthreux S.A., Belser C.G., *Effects of artificial night lighting on migrating birds*, Washington, Island Press, 2006.
- [46] Rodríguez A., Dann P., Chiaradia A., *Reducing light-induced mortality of seabirds: High pressure sodium lights decrease the fatal attraction of shearwaters*, Journal for Nature Conservation, 2017, 39, s. 68–72, DOI: 10.1016/j.jnc.2017.07.001.
- [47] Rebke M., Dierschke V., Weiner C.N., Aumüller R., Hill K., Hill R., *Attraction of nocturnally migrating birds to artificial light: The influence of colour, intensity and blinking mode under different cloud cover conditions*, Biological Conservation, 2019, 233, s. 220–227, DOI: 10.1016/j.biocon.2019.02.029.
- [48] Evans W.R., Akashi Y., Altman N.S., Manville A.M., *Response of night-migrating songbirds in cloud to colored and flashing light*, North American birds, 2007, 60, 4, s. 476–488.
- [49] Zhao X., Zhang M., Che X., Zou F., *Blue light attracts nocturnally migrating birds*, Condor, 2020, 122, 2, DOI: 10.1093/condor/duaa002.
- [50] Wang Z., Lin A., Yuan Q., Zhou W., Zhang W., Yang X.J., *Attraction of night-migrating birds to light-blue structures causes mass bird deaths*, Environmental Science & Technology, 2011, 45, 24, s. 10296–10297.
- [51] Poot H., Ens B.J., de Vries H., Donners M.A.H., Wernand M.R., Marquenie J.M., *Green light for nocturnally migrating birds*, Ecology and Society, 2008, 13, 2, art. 47.
- [52] Marquenie J., Donners M., Poot H., Steckel W., De Wit B., *Adapting the spectral composition of artificial lighting to safeguard the environment [w:] 5th Petroleum and Chemical Industry Conference Europe - Electrical and Instrumentation Applications*, Weimar, Germany, 2008, DOI: 10.1109/pciceurope.2008.4563525
- [53] Wiltschko W., Wiltschko R., *The effect of yellow and blue light on magnetic compass orientation in European robins, Erithacus rubecula*, Journal of Comparative Physiology A, 1999, 184, 3, s. 295–299.
- [54] Bani Assadi S., Fraser K.C., *The Influence of Different Light Wavelengths of Anthropogenic Light at Night on Nestling Development and the Timing of Post-fledge Movements in a Migratory Songbird*, Frontiers in Ecology and Evolution, 2021, 9, DOI: 10.3389/fevo.2021.735112.
- [55] Miller M.W., *Apparent effects of light pollution on singing behavior of American Robins*, Condor, 2006, 108, 1, s. 130–139.
- [56] Salamolard M., Ghestemme T., Couzi F.-X., Minatchy N., Le Corre M., *Impacts des éclairages urbains sur les pétrels de Barau, Pterodroma barau sur l'île de la Réunion et mesures pour réduire ces impacts*, Ostrich 2007, 78, 2, s. 449–452.
- [57] *Zanieczyszczenie światłem*. Polskie Towarzystwo Astronomiczne Stowarzyszenie Polaris – OPP, 2018, <https://www.pta.edu.pl/pliki/zanieczyszczenie-swiatlem.pdf> (dostęp: 17.01.2022).
- [58] Kalinowski M., Zarebski T., *Sterowanie oświetleniem w inteligentnych budynkach [w:] Materiały pokonferencyjne: VII Lubuska Konferencja Naukowo-Techniczna – i-MITEL*, 2012.
- [59] *Best Practices Effective Lighting, City of Toronto*, 2017, <https://www.toronto.ca/wp-content/uploads/2018/03/8ff6-city-planning-bird-effective-lighting.pdf> (dostęp: 10.01.2022).

- [60] Sheppard Ch., Phillips G., *Bird-Friendly Building Design*, 2nd Ed., The Plains, American Bird Conservancy, 2015, https://abcbirds.org/wp-content/uploads/2019/04/Bird-Friendly-Building-Design_Updated-April-2019.pdf, (dostęp: 20.11.2021).
- [61] Tabaka P., Fryc I. *Wpływ właściwości odbicia podłoża, na którym zainstalowano daną oprawę oświetleniową na względną wartość zanieczyszczenia jej otoczenia światłem*, Polish Journal for Sustainable Development, 2017, 21(2), DOI: 10.15584/pjsd.2017.21.1.15.
- [62] Bennie J. et al., *Cascading effects of artificial light at night: resource-mediated control of herbivores in a grassland ecosystem*, Philosophical Transactions of the Royal Society B, 2015, DOI: 10.1098/rstb.2014.0131.
- [63] Longcore T., et al., *Rapid assessment of lamp spectrum to quantify ecological effects of light at night*, Journal of Experimental Zoology Part A: Ecological and Integrative Physiology, 2018, 329(8-9), s. 511–521, DOI: 10.1002/jez.2184.
- [64] Aulsebrook A. et al., *White and Amber Light at Night Disrupt Sleep Physiology in Birds*, Current Biology, 2020, 30, s. 3657–3663.
- [65] Gehring J., Kerlinger P., Manville A.M., *Communication towers, lights, and birds: successful methods of reducing the frequency of avian collisions*, Ecological Applications, 2009, 19(2), s. 505–514, DOI:10.1890/07-1708.1.
- [66] Aubé M., *Physical behaviour of anthropogenic light propagation into the nocturnal environment*, Philosophical Transactions of The Royal Society B Biological Sciences, 2016, 370, DOI: 10.1098/rstb.2015.0143.
- [67] Grubisic M. et al., *Light pollution, circadian photoreception, and melatonin in vertebrates*, Sustainability, 2019, 11, 22, art. e6400, DOI: 10.3390/su11226400.
- [68] Ikeno T. et al., *Dim light at night disrupts the short-day response in Siberian hamsters*, General and Comparative Endocrinology, 2014, 197, s. 56–64.
- [69] *Green standards for light pollution & bird-friendly development. By-law recommendations for the City of London*, Ecological and Environmental Advisory Committee, Advisory Committee on the Environment, Animal Welfare Advisory Committee, 4th draft 2018, <https://pub-london.escribemeetings.com/filestream.ashx?DocumentId=46167> (dostęp: 17.01.2022).
- [70] *BirdCast, "Lights Out"*, 2018, <https://birdcast.info/science-to-action/lights-out/> (dostęp: 17.01.2021).
- [71] GloBAM, 2021, <https://globam.science/> (dostęp: 17.01.2022).
- [72] Schönberger L., *Ocena oddziaływania MFW BC-Wind na ptaki migrujące w odniesieniu do efektu bariery i ryzyka kolizji na podstawie obliczeń modelowych Załącznik 4. Raport o oddziaływaniu morskiej farmy wiatrowej BC-Wind na środowisko*, MEWO S.A. 2021, http://portalgis.gdansk.rdos.gov.pl/MFW_BC-WIND/DO%20UDZIA%C5%81U%20SPO%C5%81ECZNEGO/ZAL_4/BCW_REP_ROOS_PL_A_ZAL_04.pdf (dostęp: 17.01.2022).
- [73] Schönberger L., *A New Challenge for Spatial Planning: Light Pollution in Switzerland*, ETH Zürich, 2020.
- [74] Schönberger L., *Light pollution in Canton Aargau. Integration of measures against light pollution into local spatial planning instruments.*, ETH Zürich, 2021.
- [75] BAFU, *Vollzugshilfe Lichtemissionen*, Bern, 2021.

LIT NIGHT, A CLEAR THREAT TO NATURE – ALAN’S IMPACT ON MIGRATORY BIRDS

Abstract: The negative impact of excessive artificial light at night (ALAN) affects birds migrating nocturnally, and is one of the major causes of direct mortality of birds due to human activities. Among the recognized negative impacts of ALAN on migratory birds are: attraction, disorientation, and barrier effects. The nature of these impacts can directly affect mortality rates as well as contribute to them indirectly by increasing energy expenditure during migration as a result of disorientation and migration route changes. The majority of studies indicate that the effect of attraction, and therefore mortality, for both land and offshore structures is significantly greater with blue and green light, however, there are papers indicating greater bird attraction to red and white light. Because of these discrepancies, further research is needed to answer what color of the light (wavelength) is most important in attracting migratory birds to the ALAN source. At present, we recommend the use of warm-colored lights with a maximum temperature of 3,000 K.

Keywords: ALAN, nocturnal migration, bird collisions, avian mortality, light pollution

