

# Memorandum

w sprawie ustanowienia prawnych podstaw  
zrównoważonej polityki oświetlenia zewnętrznego



INSTYTUT  
METROPOLITALNY

**Redakcja:**

dr Katarzyna Szlachetko

**Autorzy opracowania:**

Katarzyna Szlachetko: *redakcja; punkty: 1, 1.1., 1.2.1., 3, 4.1., 6*

Sylwester Kołomański: *punkty: 1.2.2., 2.4., 5*

Bartłomiej Idzikowski: *punkty: 2.4.; 4.3.*

Krystyna Zużewicz: *punkt: 2.1.*

Anna Kołton: *punkt: 2.2.*

Paweł Drożdżał: *punkt: 2.3.*

Piotr Nawalkowski: *punkty: 2.4., 1.2.2.*

Krzysztof Skarżyński, Przemysław Tabaka, Małgorzata Zalesińska: *punkty: 2.5., 4.2.*

Mieczysław Kunz, Tomasz Ścieżor, Dominika Karpińska: *punkt: 5*

Monika Czaja: *opracowanie graficzne oddziaływania światła*

**Skład i opracowanie graficzne:**

Piotr Żelaznowski

**Konsultacje merytoryczne:**

Polski Komitet Oświatleniowy

**Okładka przednia:**

Nocne niebo nad Obserwatorium Astronomicznym w Białkowie (Uniwersytet Wrocławski). Zdjęcie wykonane przez jedną ze stacji obserwacyjnych sieci ALPS (All-sky Light Pollution Survey, [alps.astro.uni.wroc.pl](http://alps.astro.uni.wroc.pl)). Udostępnione przez dr. Sylwestra Kołomańskiego

**Data wydania:**

2022

**ISBN:**

978-83-62198-30-6

*Publikacja ma charakter niekomercyjny  
i jedynie realizuje misję społeczną.*

**Wydawca:**

Wszelkie prawa zastrzeżone  
Instytut Metropolitalny  
al. Grunwaldzka 5  
80-236 Gdańsk  
[www.im.edu.pl](http://www.im.edu.pl)

**Patronat:**

Stowarzyszenie POLARIS-OPP



# Spis treści

1. Wprowadzenie	04
1.1. Przedmiot i cele	04
1.2. Ustalenia terminologiczne	05
1.2.1. Zrównoważona polityka oświetlenia zewnętrznego	05
1.2.2. Zanieczyszczenie światłem	06
2. Uzasadnienie ustanowienia prawnych podstaw zrównoważonej polityki oświetlenia zewnętrznego	07
2.1. Wpływ światła pochodzącego z zewnętrznego oświetlenia elektrycznego na życie i zdrowie ludzi	07
2.2. Wpływ światła pochodzącego z zewnętrznego oświetlenia elektrycznego na rośliny i zwierzęta	10
2.3. Wpływ światła pochodzącego z zewnętrznego oświetlenia elektrycznego na zmiany klimatu	12
2.4. Wpływ światła pochodzącego z zewnętrznego oświetlenia elektrycznego na krajobraz	14
2.5. Efektywność energetyczna oświetlenia zewnętrznego	19
3. Brak prawnych podstaw kształtowania i prowadzenia polityki oświetlenia zewnętrznego w obowiązującym ustawodawstwie polskim	20
4. Postulowany charakter i kształt prawnych podstaw polityki oświetlenia zewnętrznego	23
4.1. Koncepcja interwencji legislacyjnej	23
4.2. Warunki techniczne i standardy oświetlenia zewnętrznego	25
4.2.1. Normy oświetleniowe	25
4.2.2. Raporty Techniczne Międzynarodowej Komisji Oświetleniowej	27
4.2.3. Projektowanie oświetlenia zewnętrznego	28
4.2.4. Sprzęt oświetleniowy	28
4.2.5. System konserwacji oświetlenia i systemy sterowania	30
4.2.6. Parametry widmowe promieniowania	30
4.2.7. Weryfikacja instalacji oświetlenia zewnętrznego: typy zewnętrznych instalacji oświetleniowych, procedura ogólna i uzasadnienie weryfikacji	32
4.3. Wytyczne urbanistyczne	33
5. Pomiary i monitoring emisji światła pochodzącego ze źródeł elektrycznych	35
5.1. Metodyka pomiaru emisji światła pochodzącego z zewnętrznego oświetlenia elektrycznego	36
5.2. Monitoring emisji światła pochodzącego z zewnętrznego oświetlenia elektrycznego	39
6. Zakończenie	43

# 1. Wprowadzenie

Światło pochodzące ze źródeł elektrycznych stanowi bez wątpienia jedno z największych dobrodziejstw naszej cywilizacji, ponieważ umożliwia podejmowanie różnych aktywności zawodowych i społecznych po zapadnięciu zmroku. Infrastruktura oświetlenia zewnętrznego jest stałym elementem wyposażenia obszarów zurbanizowanych, a także obszarów wiejskich i terenów przemysłowych, bez którego współcześnie trudno wyobrazić sobie „normalne funkcjonowanie”. Oświetlenie zewnętrzne zapewniając widoczność obiektów oraz innych uczestników ruchu drogowego, rowerowego i pieszego umożliwia swobodne przemieszczanie się w przestrzeniach publicznych, a także bezpieczne funkcjonowanie zakładów produkcyjnych w porze nocnej. Nie bez znaczenia jest rola zewnętrznego oświetlenia w kształtowaniu wizerunku nocnego miasta. Iluminacje obiektów architektonicznych, podświetlane zbiorniki wodne i tereny zielone są niekiedy traktowane, jako rodzaj „atrakcji turystycznej” czy wręcz forma sztuki. Pomimo wymiernych korzyści związanych z obecnością światła pochodzącego z zewnętrznych instalacji oświetleniowych trzeba mieć na uwadze, że jego nadmierna i uciążliwa emisja powoduje szereg negatywnych konsekwencji dla człowieka, środowiska i przyrody oraz krajobrazu naturalnego i kulturowego. Konieczność pogodzenia zróżnicowanych potrzeb oświetleniowych z zasadami ochrony życia i zdrowia człowieka, wymogami zachowania bioróżnorodności, a także ze standardami bezpieczeństwa i efektywności energetycznej skłania do poszukiwania racjonalnych rozwiązań, które umożliwią pogodzenie sprzecznych niekiedy celów i wartości, a przynajmniej ich kompen-

sowanie. To zaś wymaga podjęcia spójnych działań na szczeblu administracji państwowej i samorządowej w zakresie planowania i realizowania infrastruktury oświetlenia zewnętrznego, które zbiorczo można określić mianem „zrównoważonej polityki oświetlenia zewnętrznego”.

W obowiązującym prawie polskim brakuje szczegółowych rozwiązań umożliwiających kształtowanie i prowadzenie zrównoważonej polityki oświetlenia zewnętrznego (nawet publicznego). Analiza obowiązującego ustawodawstwa prowadzi do wniosku, że regulacja jest w tym zakresie szczątkowa i rozproszona w różnych aktach normatywnych. Brak spójnych i kompletnych regulacji, które jednoznacznie określałyby standardy dla oświetlenia zewnętrznego (zarówno publicznego, jak i prywatnego), a także zasady planowania, projektowania, użytkowania oraz instalowania urządzeń infrastruktury oświetlenia zewnętrznego stanowi poważną lukę prawną, wymagającą pilnej interwencji prawodawcy. Dostępne metodyki referencyjne oraz współczesne technologie umożliwiają dokładne pomiary oraz monitorowanie dopuszczalnej („bezpiecznej”) emisji światła pochodzącego z zewnętrznych instalacji oświetleniowych, co pozwalałoby na bieżącą kontrolę przestrzegania przyjętych standardów oświetleniowych.

## 1.1. Przedmiot i cele

Przedstawione zagadnienie nie stanowi *novum* i było już przedmiotem wielu petycji kierowanych do władz publicznych na szczeblu centralnym. Niestety, potrzeba stworzenia prawnych ram dla zrównoważonej polityki oświetlenia zewnętrznego jest wciąż marginalnie traktowana w dyskursie publicznym

i politycznym<sup>1</sup>. Wieloletnia bierność legislacyjna skłoniła przedstawicieli różnych środowisk naukowo-eksperymentalnych do zintegrowania działań, których efektem jest niniejsze Memorandum. Interdyscyplinarna współpraca zaowocowała powstaniem wszechstronnego opracowania, które nie ogranicza się do uzasadnienia potrzeby ustanowienia prawnych podstaw polityki oświetlenia zewnętrznego oraz wytknięcia mankamentów polskiemu prawodawcy. W dokumencie przedstawiono konkretne postulaty oraz propozycje rozwiązań, w tym także sposoby monitoringu zjawiska, których ustanowienie jest koniecznym warunkiem wdrożenia zrównoważonej polityki oświetlenia zewnętrznego.

Memorandum jest głosem specjalistów w sprawie wyzwań środowiskowych i wymagań zrównoważonego rozwoju, które dotyczą planowania i użytkowania infrastruktury oświetleniowej. Stanowi apel o niezwłoczne podjęcie działań legislacyjnych dotyczących zrównoważonej polityki oświetlenia zewnętrznego i jednocześnie zaproszenie do debaty w tym zakresie.

## 1.2. Ustalenia terminologiczne

We wstępie Memorandum zdefiniowano dwa kluczowe dla opracowania pojęcia: „zrównoważona polityka oświetlenia zewnętrznego” oraz nieodzownie związane z nią pojęcie „zanieczyszczenia światłem”. Oba pojęcia nie są

<sup>1</sup> Zob. odpowiedź Ministra Środowiska z dnia 17 lipca 2020 r., znak: DOP-WOŚ.053.1.2020.AO; odpowiedź Ministra Środowiska z dnia 31 lipca 2020 r., znak: BKA-II.051.85.2020.SO; odpowiedź Ministra Klimatu z dnia 24 kwietnia 2020 r., znak: 1136104.3600427.2793343 DZŚ-I.053.2.2020.IS; odpowiedź Ministra Rozwoju z dnia 2 marca 2020 r., znak: DAB-Ia.053.1.2019.SM (dostępne na stronach podmiotowych właściwych organów). W sprawie został również złożony wniosek do Rzecznika Praw Obywatelskich z dnia 18 maja 2020 r., któremu nadano nr V.72.03.30.2020 (w trakcie rozpoznania).

prawnie zdefiniowane, dlatego konieczne jest przedstawienie w jakim znaczeniu posługuje się nimi interdyscyplinarny Zespół Autorski.

### 1.2.1. Zrównoważona polityka oświetlenia zewnętrznego

Zrównoważona polityka oświetlenia zewnętrznego to międzysektorowa polityka publiczna urzeczywistniająca konstytucyjną zasadę zrównoważonego rozwoju<sup>2</sup> w: planowaniu przestrzennym, rewitalizacji oraz w szeroko rozumianym procesie inwestycyjno-budowlanym. Jej założenie to racjonalne i odpowiedzialne planowanie, instalowanie oraz użytkowanie infrastruktury oświetleniowej, które:

- spełnia wymogi bezpieczeństwa dla życia i zdrowia ludzi,
- zapewnia ochronę środowiska, przyrody i krajobrazu naturalnego,
- urzeczywistnia prawo podmiotowe do czystego środowiska,
- służy bezpieczeństwu ruchu drogowego,
- warunkuje wysoką efektywność energetyczną,
- estetyzuje przestrzeń publiczną.

Podstawową determinantą planowania i realizowania oświetlenia zewnętrznego powinna być elastyczność, która umożliwia różnicowanie standardów oświetleniowych z uwzględnieniem funkcji i przeznaczenia danego terenu. Celem zrównoważonej polityki oświetlenia zewnętrznego jest bowiem przyjęcie rozwiązań infrastruktury oświetleniowej, które będą odpowiadać rzeczywistemu zapotrzebowaniu użytkowników

<sup>2</sup> Zob. art. 5 Konstytucji RP z dnia 2 kwietnia 1997 r. (Dz.U. Nr 78, poz. 483 ze zm.).

z uwzględnieniem ochrony wyżej przedstawionych wartości.

Zrównoważona polityka oświetlenia zewnętrznego wymaga sformułowania podstawy prawnej na poziomie ustawowym, która wprost określi jej założenia i standardy, a także wskaże konkretne „narzędzia” planistyczne i techniczne wdrożenia. Realizacja ustawowych założeń i standardów zrównoważonej polityki oświetlenia zewnętrznego powinna stanowić obowiązkowe zadanie własne gminy, która jest podstawowym dysponentem przestrzeni publicznej, a w szerszym zakresie także przedmiot współdziałania komunalnego, metropolitalnego i regionalnego, albowiem negatywne oddziaływania będące następstwem „kumulacji” źródeł zanieczyszczenia światłem nie zamykają się w granicach administracyjnych jednostek samorządu terytorialnego.

### 1.2.2. Zanieczyszczenie światłem

Zanieczyszczenie światłem stanowi postać rodzajową zanieczyszczenia środowiska. Jest to zanieczyszczenie pochodzenia antropogenicznego, ponieważ powstaje wskutek działalności człowieka. Źródłem tego zanieczyszczenia jest emisja promieniowania widzialnego (światła) w porze nocnej z wszelkich źródeł oświetlenia elektrycznego, a w szczególności z infrastruktury oświetlenia zewnętrznego. Promieniowanie pochodzące z takich źródeł określane jest jako światło generowane przez źródła elektryczne.

Emisja światła do środowiska może wywierać szkodliwy wpływ na ludzi i inne organizmy żywe oraz na niektóre obszary działalności człowieka. Ponadto nadmierna i niekontrolowana obecność światła po zapadnięciu zmro-

ku pogarsza walory estetyczne środowiska naturalnego i kulturowego, koliduje z uzasadnionymi sposobami korzystania ze środowiska przyrodniczego oraz może powodować szkody w dobrach materialnych. Do najpoważniejszych skutków zanieczyszczenia światłem należą: zaburzenie rytmu dobowego roślin i zwierząt, zwiększenie ryzyka wystąpienia u ludzi chorób cywilizacyjnych, rozjaśnienie nocnego nieba uniemożliwiająca obserwację ciał niebieskich oraz straty energii elektrycznej. Niekorzystną cechą tego rodzaju zanieczyszczenia jest jego rozchodzenie się wynikające z łatwej propagacji światła w atmosferze. W efekcie ta forma zanieczyszczenia środowiska powoduje szkody nie tylko lokalnie (w bezpośrednim otoczeniu elektrycznych źródeł światła), ale rozprzestrzenia się na duże odległości od tych źródeł<sup>3</sup>. W warunkach naturalnych obecność światła w środowisku jest w porze nocnej minimalna. Z tego względu każda, nawet niska, emisja światła sztucznego powodująca jego nadmierną ilość będzie zanieczyszczeniem środowiska.

Szczególnie niekorzystny wpływ na poziom zanieczyszczenia światłem ma nieodpowiednio zaprojektowana i zrealizowana infrastruktura oświetlenia zewnętrznego, co należy rozumieć przede wszystkim jako: niedopasowanie parametrów technicznych stosowanego sprzętu oświetleniowego do danego zadania, wnikanie światła do wnętrza obiektów architektonicznych, znaczne przewymiarowanie poziomów oświetlenia, niepotrzebne doświetlanie niektórych obszarów, powstawanie olśnienia, nieodpowiednia

<sup>3</sup> Zob. więcej: <https://www.nationalgeographic.com/science/article/nights-are-getting-brighter-earth-paying-the-price-light-pollution-dark-skies>. Por. T. Ścieżor, Jak daleko „świeci” Kraków?, *Urania. Postępy astronomii* 2020, t. 91, s. 46-49.

charakterystyka spektralna. Konsekwencją nieodpowiedniego projektowania infrastruktury oświetlenia zewnętrznego są też straty energii elektrycznej.

## **2. Uzasadnienie ustanowienia prawnych podstaw zrównoważonej polityki oświetlenia zewnętrznego**

Zalecenia i rekomendacje formułowane w treści niniejszego Memorandum stanowią zarazem postulaty kierowane do ustawodawcy o przyjęcie konkretnych rozwiązań prawnych. Z tego względu integralną częścią opracowania są uwarunkowania pozaprawne, stanowiące zbiór merytorycznych i naukowo uzasadnionych „argumentów” przemawiających za ustanowieniem prawnych podstaw zrównoważonej polityki oświetlenia zewnętrznego.

### **2.1. Wpływ światła pochodzącego z zewnętrznego oświetlenia elektrycznego na życie i zdrowie ludzi**

Mechanizm regulacji czasowej wszystkich procesów życiowych nie wykształcił się „wczoraj”. Przez tysiące lat człowiek i wszystkie organizmy żywe podporządkowane były naturalnemu cyklowi światło-ciemność, a wspomniany mechanizm regulacji czasowej umożliwił rozdzielenie funkcji życiowych w zależności od pory doby, tak by zoptymalizować pracę całego organizmu dostosowując ją do pory spoczynku (noc) i aktywności (dzień). Ten naturalny porządek naruszono,

gdy upowszechniła się praca zmianowa obejmująca porę nocną. Niepokojące, negatywne skutki zdrowotne obserwowane u osób pracujących nocą, doniesienia o gorszym stanie zdrowia pracujących w nocy w porównaniu z osobami pracującymi tylko w dzień, zwróciły uwagę Światowej Organizacji Zdrowia (WHO). Na jej wniosek Międzynarodowa Organizacja Pracy (ILO) przyjęła w 1990 r. Konwencję nr 171 dotyczącą pracy nocnej (weszła w życie w dniu 4 stycznia 1995 r.)<sup>4</sup> oraz zalecenia R178, 1990b dotyczące czasu pracy pracowników nocnych. Konwencja Nr 178 z 1996 r. została ratyfikowana przez Rząd Polski<sup>5</sup>. W Konwencji nr 171 w przepisach art. 3–10, wskazano na konieczność zastosowania specjalnych środków wynikających z charakteru pracy nocnej, podejmowanych na rzecz pracowników nocnych w celu ochrony ich zdrowia, ułatwienia im wypełnienia obowiązków rodzinnych i społecznych, zapewnienia możliwości rozwoju zawodowego i przyznania im właściwych rekompensat. Stosowne przepisy zawarto również w Dyrektywie 2003/88/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 4 listopada 2003 r. dotyczącej niektórych aspektów organizacji czasu pracy<sup>6</sup> i wprowadzono do Kodeksu pracy<sup>7</sup>. Należy zauważyć, że powyższe regulacje i zalecenia zostały sformułowane zanim badania naukowe w zakresie chronofizjologii (początek XX wieku), umożliwiły odkrycie i zrozumienie powiązań czasowych między mechanizmami regulującymi funkcje życiowe

<sup>4</sup> Zob.: <http://www.mop.pl/doc/html/konwencje/k171.html> (dostęp: 23.10.2021 r.). Rzeczpospolita Polska nie ratyfikowała Konwencji nr 171.

<sup>5</sup> Dz.U. z 2004 r. Nr 139, poz. 1472.

<sup>6</sup> Dz. Urz. UE z 2003 r., L 299.

<sup>7</sup> W dziale szóstym ustawy – Kodeks pracy dodano rozdział VI zatytułowany „Praca w porze nocnej” na podstawie ustawy z dnia 14 listopada 2003 r. o zmianie ustawy – Kodeks pracy oraz zmianie niektórych innych ustaw (Dz.U. z 2003 r., Nr 213, poz. 2081).

organizmu z astronomicznym cyklem światło-ciemność. Obecnie mechanizm zegara biologicznego zdrowego człowieka poznano i opisano na różnych poziomach funkcjonowania organizmu, w tym także na poziomie genomu.

Za główny czynnik naruszający prawidłowe funkcjonowanie zegara biologicznego, warunkujące zachowanie zdrowia, uznano brak synchronizacji między astronomicznym cyklem dzień-noc i rytmem aktywności dobowej sen-czuwanie. U człowieka przejawia się on występowaniem objawów *jet lag* (skutek podróży związanego z przekraczaniem wielu stref czasowych) czy *shift lag* (u pracujących w porze nocnej obejmującej godziny od 00:00–05:00). Intensywność tych objawów zależy m. in. od wieku, cech indywidualnych, ale też od tego jak często w skali miesiąca czy roku, człowiek narażony jest na sytuacje, w których zachodzi wspomniana niezgodność skutkująca desynchronizacją wewnętrzną, czyli brakiem spójności czasowej wielu funkcji rytmicznych organizmu. Przywrócenie równowagi w rytmice procesów życiowych jest możliwe, ale wymaga kilku dób. Po podróży samolotem łatwo uzyskać ją pozostając w tej samej strefie geograficznej i śpiąc w nocy. Bardziej złożona jest sytuacja pracowników zmianowych/nocnych. W każdym systemie organizacji zmianowości mają oni kilkudniowe przerwy między cyklem zmian nocnych (zmiana poranna, popołudniowa, dni wolne), ale to nie eliminuje ich problemów zdrowotnych, narastających wraz z wiekiem i stażem pracy. Stosowane regulacje zawarte w Kodeksie pracy tylko częściowo chronią przed negatywnymi skutkami pracy nocnej i dotyczą głównie kobiet w ciąży, młodych matek i młodocianych.

Dlaczego obecność światła w nocy wpływa negatywnie na człowieka? W organizmie rolę informatora o nastaniu nocy pełni melatonina — hormon wydzielany przez szyszynkę zwany też „hormonem ciemności”. W naturalnych warunkach synteza melatoniny hamowana jest przez poranne światło słoneczne, pobudzające organizm do aktywności dziennej. Nocna ekspozycja na światło emitowane np. przez źródła LED, tablety, monitory komputerowe i ekrany telewizorów, także działa na człowieka pobudzająco. Organizm zamiast sygnału do rozpoczęcia snu (wskutek wzrostu syntezy melatoniny) otrzymuje sygnał pobudzający do aktywności (w wyniku hamowania syntezy melatoniny). W ten sposób sztuczne światło pozbawia organizm informacji o przestawianiu funkcji organizmu na te, dla których wzrost lub spadek intensywności następuje w porze nocnej (np. regeneracja tkanek, temperatura ciała, rytm serca). W konsekwencji zaburzeniu ulega prawidłowy przebieg snu oraz rytm dobowy wielu procesów biologicznych. Ponadto wpływając na zmniejszenie wydzielania melatoniny, ekspozycja na światło w porze wieczornej i nocnej ogranicza jej korzystne działania anty-oksydacyjne, przeciwzapalne i anty-nowotworowe<sup>8</sup>.

Konsekwencje nadmiernej czy też niewłaściwej ekspozycji człowieka na światło zależą od jego charakterystyki spektralnej i ilości światła oraz od pory doby i czasu trwania ekspozycji. Od lat są one wyraźnie obserwowane w grupie osób pracujących w nocy, kiedy to oddziaływanie światła ma charakter przewlekły. W 2010 roku Międzynarodowa Agencja Badań nad Rakiem Światowej Organizacji Zdrowia (IARC) opu-

<sup>8</sup> J.F. Duffy, K.P. Jr., Entrainment of the human circadian system by light, *Journal of Biological Rhythms* 2005 (2), p. 326-338.



blikowała raport dotyczący występowania chorób nowotworowych wśród pracowników zmianowych<sup>9</sup>. Analiza wielu prac dotyczących niezależnie przeprowadzonych badań pozwoliła stwierdzić, że nowotwory hormonozależne częściej występują u kobiet, a nowotworowe zmiany w gruczole krokowym częściej obserwowane były u mężczyzn pracujących w systemie zmianowym w porze nocnej, niż u pracujących tylko w godzinach dziennych. W sposób wiarygodny powiązано pogorszenie stanu zdrowia z pracą nocną, zaburzeniami rytmiki okołodobowej i ekspozycją na światło. W ostatnich latach wieloma badaniami naukowymi potwierdzono hipotezę, o istotnym wpływie na stan zdrowia i poziom sprawności psychofizycznej człowieka nocnej ekspozycji na światło. Wykazano, że nocna ekspozycja na światło jest głównym czynnikiem środowiska zewnętrznego, zwiększającym u pracowników nocnych (w porównaniu z dziennymi) ryzyko wystąpienia chorób nowotworowych<sup>10</sup>, metabolicznych<sup>11</sup>, układu krążenia<sup>12</sup>, a także

wpływającym na układ rozrodczy<sup>13</sup> czy długość<sup>14</sup> i jakość życia<sup>15</sup>.

Człowiek dla prawidłowego funkcjonowania potrzebuje „ciemnego nieba” zapewniającego naturalną środowiskową „ciemność”, która wraz z towarzyszącą jej ciszą stanowi element środowiska zewnętrznego zapewniający komfort i prawidłowy przebieg snu. Jest to ważne ze względu na jakość i wydajność zadań podejmowanych wraz z nastaniem fazy jasnej astronomicznego cyklu dzień- noc. Z drugiej strony „ciemność” przez wieki wzbudza strach przed nieznanym, była zagrożeniem dla bezpieczeństwa, ale stanowiła też bodziec do poszukiwania rozwiązań w kierunku „rozświetlenia” ciemności za pomocą tanich i powszechnie dostępnych źródeł światła. Upowszechnienie ich umożliwiło ludziom wyjście się z ograniczeń narzuconych przez powtarzalny astronomiczny cykl światło-ciemność. Światło w nocy to możliwość decydowania o stylu życia własnego i innych ludzi, to szansa na komfort i wygodę niedostępną dla ludzi żyjących w czasach sprzed wynalezienia elektryczności, ale także pęd za szybkim bogaceniem się kosztem

<sup>9</sup> Shiftwork. IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans. Painting, Firefighting and Shiftwork, International Agency for Research on Cancer 2010 (98), p. 563-601;; <http://monographs.iarc.fr/ENG/Monographs/vol98/mono98-8.pdf> (dostęp: 18.01.2022 r.).

<sup>10</sup> S. Davis, D.K. Mirick, R.G. Stevens, Night shift work, light at night and risk of breast cancer, *Journal of the National Cancer Institute* 2001 (93/20); A. Shostak, Circadian clock, cell division, and cancer: from molecules to organism, *International Journal of Molecular Science* 2017 (873/18); E. Filipski, X.M. Li, F. Levi, Disruption of circadian coordination and malignant growth, *Cancer Causes Control* 2006; R. Stevens, D. Blask, G. Brainard, J. Hansen, S. Lockley, I. Provencio, M. Rea, L. Reinlib, Meeting report: The role of environmental lighting and circadian disruption in cancer and other diseases, *Environ Health Perspective* 2007.

<sup>11</sup> J. Bass, Circadian topology of metabolism, *Nature* 2012 (491), p. 348–356.

<sup>12</sup> G. Costa, Ch. Gadbois, B. Jansen, P. Knauth, R. Leonard, Cardiovascular Problems [in:] *Shift Work and Health, Best 2000* (1) European Studies on Time, Office for Official Publication of the European Communities, Luxembourg 2000, p. 23-24.

<sup>13</sup> A.D. Mc Donald, J.C. McDonald, B. Armstrong B., N.M. Cherry, A.D. Nolin, D.Robert, Prematurity and work in pregnancy, *British Journal of Industrial Medicine* 1998 (45), p. 56-62; J.P. Bonde, J. Hansen, H.A. Kolstad, S. Mikkelsen, J.H. Olsen, D.E. Blask, M. Härmä, H. Kjuus, H.J. de Koning, J. Olsen, M. Møller, E.S. Schernhammer, R.G. Stevens, T. Åkerstedt, Work at night and breast cancer – report on evidence-based options for preventive actions, *Scandinavian Journal of Work, Environment & Health* 2012 (38/4), p. 380–390.

<sup>14</sup> F. Gu, J. Han, F. Laden, A. Pan, N.E. Caporaso, M.J. Stampfer, I. Kawachi, K.M. Rexrode, W.C. Willett, S.E. Hankinson, F.E. Speizer, E.S. Schernhammer, Total and Cause-Specific Mortality of U.S. Nurses Working Rotating Night Shifts, *American Journal of Preventive Medicine* 2015 (48/3), p. 241–252.

<sup>15</sup> K. Cho, Chronic 'jet lag' produces temporal lobe atrophy and spatial cognitive deficits, *Nature Neuroscience* 2001 4(6), p. 567–568; E.M. Gibson, C. Wang, S. Tjho, N. Khattar, L.J. Kriensfeld, Experimental „jet lag” inhibits adult neurogenesis and produces long-term cognitive deficits in female hamsters, *PLoS ONE*, 2010 (12/5).

pracy i zdrowia ludzi wymuszających swoją aktywność we wszystkich godzinach doby.

## **2.2. Wpływ światła pochodzącego z zewnętrznego oświetlenia elektrycznego na rośliny i zwierzęta**

U roślin nadmierna ekspozycja na światło w porze nocnej może zaburzać tzw. fotoperiodyzm, czyli fizjologiczną reakcję organizmu na zmianę proporcji okresów ciemności i światła w rytmie dobowym związaną z działaniem zegara biologicznego, która wpływa na ich kwitnienie, rozmnażanie wegetatywne, tworzenie organów spichrzowych oraz przechodzenie roślin w stan spoczynku. Z jednej strony światło jest niezbędne do prawidłowego funkcjonowania roślin, a z drugiej strony to funkcjonowanie może być zaburzone przez niewłaściwe oświetlenie. Myśląc o świetle jako czynniku niezbędnym mamy na myśli energię jaką to światło niesie a roślina wykorzystuje w procesie fotosyntezy, tworząc związki organiczne i tlen. Jednocześnie światło jest nośnikiem informacji o otoczeniu. Długość pory jasnej w cyklu dobowym, kąt padania promieniowania, jakoś docierającego do roślin światła to źródło informacji o otoczeniu. Rośliny mogą wykorzystywać światło jako energię i źródło informacji ponieważ posiadają w swoich komórkach fotoreceptory. Dlatego światło powstające w wyniku działalności człowieka docierające do roślin nocą stanowi zagrożenie dla ich funkcjonowania. Sztuczne światło nocą zaburza naturalny cykl fazy jasnej i ciemnej w ciągu doby i jest odbierane przez fotoreceptory roślin. Według istniejących badań zanieczyszczenie światłem w nocy zaburza

wiosenne i jesienne fazy rozwojowe roślin<sup>16</sup>. Może doprowadzić do zmiany terminu pęknięcia pąków drzew i krzewów wiosną, ale także wpływać na zmianę terminu jesiennego wchodzenia w spoczynek, przebarwiania się i opadania liści. Zaburzenie tych procesów może prowadzić do zamierania części pędów w koronie roślin drzewiastych i przyspieszonego ich starzenia. To jednak nie wszystko, ponieważ zbyt wczesne otwieranie się pąków wiosną może powodować dysharmonię pomiędzy kwitnieniem roślin a pojawianiem się owadów zapylających. Natomiast długotrwałe utrzymywanie się liści jesienią może być przyczyną wyłamywania się konarów pod wpływem ciężaru zgromadzonego śniegu. Może to również stanowić zagrożenie dla mienia oraz użytkowników przestrzeni. Wydaje się, że różne gatunki będą charakteryzować się różną wrażliwością faz fenologicznych na zanieczyszczenie światłem, jednak stworzenie listy gatunków o nieco mniejszej wrażliwości wymaga prowadzenia długotrwałych badań. Kolejnym problemem związanym z wpływem zanieczyszczenia światłem w nocy na rośliny jest zaburzenie ich procesów fizjologicznych. Zwykle zanieczyszczenie światłem to promieniowanie o zbyt niskiej energii by pobudzić fotosyntezę, wystarczające jednak by wpłynąć na otwarcie aparatów szparkowych i stymulację transpiracji. W warunkach miejskich rośliny zwykle nie są podlewane w optymalnych dawkach i cierpią z powodu suszy. Dodatkowa transpiracja w nocy może przyspieszyć ucieczkę wody z gleby do atmosfery i dodatkowo wzmocnić efekt suszy w mieście. Pod wpływem zanieczyszczenia światłem obserwowano także zmniejszanie się ilości zielonych

<sup>16</sup> M. Czaja, A. Kołton, P. Muras, The Complex Issue of Urban Trees—Stress Factor Accumulation and Ecological Service Possibilities, *Forests* 2020 (11/9), p. 932.

barwników w liściach oraz wzmożone uszkodzenia komórek liści. Zatem rośliny poddane nadmiernemu oddziaływaniu światła będą mieć niższe walory dekoracyjne. Warto także mieć na uwadze, że okres ciemności w nocy to czas regeneracji dla roślin. W warunkach miejskich na rośliny działa na raz wiele czynników stresowych. Obecność światła w nocy uniemożliwia regenerację organizmu rośliny w trakcie ciemnej fazy doby i zwiększa wrażliwość roślin na pozostałe stresy<sup>17</sup>. Biorąc pod uwagę wyniki przeprowadzonych już badań, zanieczyszczenie światłem w nocy zaburza funkcjonowanie roślin i obniża korzyści jakie może z nich czerpać człowiek.

Podobnie jak rośliny, zwierzęta także reagują na światło, jednak dla nich jest ono głównie źródłem informacji o otoczeniu. W życiu zwierząt ważną rolę odgrywa zarówno jakość docierającego do nich promieniowania elektromagnetycznego (długości fal), jak i długość trwania fazy jasnej w cyklu dobowym. Warto tu wspomnieć, że dzień i noc oraz, w większych szerokościach geograficznych, cykliczne zmiany w długości dnia i nocy, towarzyszyły organizmom w trakcie ewolucji i stanowiły podstawowy sygnał zmieniających się w ciągu roku warunków zewnętrznych. Dlatego światło, a dokładnie jego cykliczne zmiany w ciągu doby i roku są podstawowym sygnałem regulującym zegar biologiczny zwierząt (tj. mechanizm pozwalający na synchronizację procesów organizmu do środowiska) oraz ich rytmy biologiczne (tj. zmiany w funkcjonowaniu organizmu pod wpływem środowiska zewnętrznego). Zwierzęta są wyposażone

w szereg fotoreceptorów, które umożliwiają im odbiór sygnału świetlnego i dostosowanie się do środowiska, orientację w czasie (jaka jest pora roku czy pora dnia) oraz w przestrzeni. Niestety, światło w porze nocnej zaburza funkcjonowanie fotoreceptorów, regulację zegara biologicznego oraz rytmów biologicznych. Zauważono, że zanieczyszczenie światłem wpływa na aktywność niektórych owadów, ich zdolność do pobierania pokarmu czy rozmnażanie. Zanieczyszczenie światłem może także zaburzać migracje niektórych gatunków ryb czy wpływać na ich rozmnażanie. Może także wpływać na fazy aktywności i spoczynku płazów i gadów, wpływać na ich preferencje pokarmowe czy przeżywanie potomstwa oraz ich wrażliwość na stresy. W przypadku ptaków obserwowano, że ekspozycja na światło w nocy wpływa negatywnie na ich migracje, śpiew, fazy snu i odpoczynku, wydawanie potomstwa i wprowadza dezorientację w terenie. U ssaków stwierdzono zaburzenie rytmów aktywności i odpoczynku, zmiany w rozwoju płodu i potomstwa czy zmiany w zachowaniu. Tym krótkim przeglądem zwracamy uwagę, że zanieczyszczenie światłem w nocy negatywnie wpływa na zwierzęta z różnych gromad systematycznych. Tym samym będzie negatywnie oddziaływać na całe ekosystemy czy łańcuchy troficzne. Człowiek jest częścią ekosystemu i poprzez swoją aktywność oddziałuje na środowisko. Dlatego nawet takie zjawiska jak oddziaływanie zanieczyszczenia światłem w nocy na np. migracje ryb, które nie dotyczą bezpośrednio człowieka, na pewno odbiją się na gospodarce i jakości życia człowieka<sup>18</sup>.

<sup>17</sup> A. Kołton, M. Czaja, O. Długosz-Grochowska, Artificial lighting and light pollution from the plant's point of view [in:] T. Ściężor (ed.) Ecological and astronomical aspects of light pollution, Kraków 2021, p. 39-54.

<sup>18</sup> J. Falcon, A. Torriglia, D. Attia, F. Viénot, C., F. Behar-Cohen, C. Martinsons, D. Hicks, Exposure to artificial light at night and the consequences for flora, fauna, and ecosystems, *Frontiers in Neuroscience* 2020 (14), p. 1183.

### 2.3. Wpływ światła pochodzącego z zewnętrznego oświetlenia elektrycznego na zmiany klimatu

Adaptacja do zmian klimatu jest bez wątpienia jednym z najpoważniejszych wyzwań z jakim ludzkość mierzy się w XXI wieku<sup>19</sup>. Klimat Ziemi jest bardzo złożonym systemem w którym niemal wszystko jest ze sobą sprzężone i powiązane, a pomiędzy jego elementami występuje wiele oddziaływań i interakcji. Powiązania te są szczególnie widoczne, kiedy na klimat spojrzymy całościowo i na przestrzeni wielu tysięcy lat. Wszystkie procesy i zjawiska w przyrodzie samorzutnie dążą i przebiegają w kierunku osiągnięcia stanów równowagi. Każde zaburzenie w systemie klimatycznym powoduje w nim szereg zjawisk, które mogą pomóc mu w powrocie do stanu sprzed zaburzenia (ujemne sprzężenie klimatyczne), ale też nasilić powodującą go zmianę i spowodować, że system będzie dążył do nowego (innego niż pierwotny) stanu równowagi (dodatnie sprzężenie klimatyczne). W tym ostatnim przypadku brak naszej ingerencji przestanie wystarczać do zatrzymania niekorzystnych zmian<sup>20</sup>.

Zanieczyszczenie światłem jest jedną z bardzo wielu form ingerencji człowieka w ekosystem (środowisko przyrodnicze). Problem narasta z roku na rok. W ostatnich latach

<sup>19</sup> Intergovernmental Panel on Climate Changes (IPCC), Summary for Policymakers [in:] V. Masson-Delmotte, P. Zhai, H.-O. Pörtner, D. Roberts, J. Skea, P. R. Shukla, A. Pirani, W. Moufouma-Okia, C. Péan, R. Pidcock, S. Connors, J. B. R. Matthews, Y. Chen, X. Zhou, M. I. Gomis, E. Lonnoy, T. Maycock, M. Tignor & T. Waterfield (ed.), Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty; <https://www.ipcc.ch/sr15/chapter/spm/> (dostęp: 03.11.2021 r.).

<sup>20</sup> M. Budziszewska, A. Kardaś, Z. Bohdanowicz (red.), Klimatyczne ABC, Warszawa 2021; <https://klimatyczneabc.uw.edu.pl/> (dostęp: 03.11.2021).

wzrosło zainteresowanie (a także obawy) opinii publicznej przed skutkami środowiskowymi i zdrowotnymi zanieczyszczenia światłem, szczególnie w Ameryce Północnej, Europie i niektórych miastach Azji<sup>21</sup>. Zanieczyszczenie świetlne to wieloaspektowe zagadnienie, którym zajmują się naukowcy z różnych dziedzin nauki z całego świata. W każdym roku przybywa raportów i publikacji naukowych świadczących o niekorzystnym wpływie nadmiernego i źle ukierunkowanego światła na różne elementy środowiska przyrodniczego oraz społeczeństwo (w tym na zdrowie ludzi).

Zjawiskiem w dużej mierze decydującym o negatywnym oddziaływaniu światła w środowisku naturalnym i otoczeniu publicznym jest tzw. intruzja światła (ang. *light trespass*)<sup>22</sup>. Polega ono na docieraniu światła poza powierzchnię przeznaczoną do oświetlenia<sup>23</sup>. Taka niepożądana i bardzo często nadmierna ucieczka światła do ekosystemu i przestrzeni publicznej w nieodpowiednich kierunkach (w szczególności do góry, „w niebo”, tj. powyżej płaszczyzny horyzontu astronomicznego) to bezużytecznie zmarnowana energia elektryczna. Trwonienie wytwarzanej energii w wyniku ucieczki światła jest istotnym problemem, gdyż oświetlenie zewnętrzne stanowi 15-19% światowego zużycia energii elektrycznej oraz około 2,4% rocz-

<sup>21</sup> N. Schulte-Römer, E. Dannemann, J. Meier, Light pollution – A Global Discussion [in:] Leipzig: Helmholtz Centre for Environmental Research GmbH – UFZ 2018; <https://www.ufz.de/index.php?en=44072> (dostęp: 03.11.2021 r.).

<sup>22</sup> I. Lewin, Light Trespass Research. Final Report to the Lighting Research Office of EPRI [in:] TR-114914. Lighting Research Institute, Electric Power Research Institute, Palo Alto 2000; <https://www.epri.com/research/products/TR-114914> (dostęp: 03.11.2021 r.).

<sup>23</sup> A. Łopuszyńska, Analiza oświetlenia przestrzeni publicznej osiedla Nadodrże w śródmieściu Wrocławia pod względem występowania zjawiska zanieczyszczenia światłem [w:] A.Z. Kotarba (red.), Zanieczyszczenie światłem. Źródła, obserwacje, skutki, Centrum Badań Kosmicznych PAN, Warszawa 2019, s. 85-104.

nych zasobów energetycznych ludzkości, co odpowiada za 5-6% całkowitej emisji gazów cieplarnianych do atmosfery<sup>24</sup>. Inne wyliczenia (F. Falchi - nieopublikowany komunikat osobisty) przewidują, że rocznie na świecie na potrzeby oświetlenia zewnętrznego produkuje się  $2 \times 10^{11}$  kg dwutlenku węgla ( $\text{CO}_2$ ), co stanowi około 0,5% całkowitej jego produkcji. Ponadto mając na uwadze fakt, że paliwa kopalne nadal są dominującym źródłem w światowych systemach energetycznych<sup>25</sup> (w tym produkcji energii elektrycznej), to należy wyraźnie zaznaczyć, że niewłaściwe używanie światła w nocy przyczynia się do zanieczyszczenia powietrza i zmian klimatycznych. Przykładowo International Dark-Sky Association (IDA) szacuje, że w Stanach Zjednoczonych co najmniej 30% całego zewnętrznego światła sztucznego jest marnowane w postaci łuny świetlnej przez użytkowanie nieodpowiednich opraw oświetleniowych powodujących niekorzystną i nadmierną ucieczkę światła<sup>26</sup>. Według ww. szacunków wiąże się to ze zmarnowaniem energii elektrycznej o wartości 3 miliardów dolarów i niepotrzebną emisją 21 milionów ton  $\text{CO}_2$  do atmosfery. Należy stanowczo podkreślić, że problem zanieczyszczenia świetlnego będzie się niestety pogłębiał, ponieważ przybywa obszarów oświetlonych za pomocą źródeł elektrycznych w tempie 2 do nawet 6% rocznie, a stale oświetlone tereny każdego roku rozjaśniają się w podobnym rytmie, prawdopodobnie z powodu naszego

szybkiego wzrostu liczby ludności i urbanizacji<sup>27</sup>. Analogicznie jak w przypadku emisji gazów cieplarnianych, zanieczyszczenie światłem jest globalnie rozpowszechnionym zanieczyszczeniem środowiska. Szacuje się, że 23% powierzchni lądowej pomiędzy szerokością geograficzną  $75^\circ\text{N}$  a  $60^\circ\text{S}$  jest narażone na zjawisko (miejskiej) łuny świetlnej (ang. *urban skyglow* – światło, które jest rozproszone w dolnych warstwach atmosfery i odbite z powrotem w kierunku ziemi)<sup>28</sup>.

Wpływ człowieka na klimat to nie tylko problemy związane z emisją gazów cieplarnianych. Biorąc pod uwagę zasięg i wzrastającą skalę zanieczyszczenia światłem na całym świecie jest coraz bardziej oczywiste, że smog świetlny staje się kolejnym potencjalnym zagrożeniem dla różnorodności biologicznej na Ziemi. W tegorocznym raporcie agencji ONZ ds. zmian klimatu i bioróżnorodności stwierdzono, że: a) różnorodność biologiczna jest równie ważna jak klimat, b) oba problemy muszą być rozwiązywane wspólnie, c) utrata różnorodności biologicznej i zmiany klimatyczne to dwie, ściśle ze sobą powiązane kwestie, przez co mają podobny wpływ na dobrobyt człowieka i muszą

<sup>24</sup> K. H. Bachanek, B. Tundys, T. Wiśniewski, E. Puzio, A. Maroušková, Intelligent Street Lighting in a Smart City Concepts — A Direction to Energy Saving in Cities: An Overview and Case Study, *Energies* 2021 (14), p. 3018.

<sup>25</sup> Zob. więcej: Our World in Data, Fossil Fuels; <https://ourworldindata.org/fossil-fuels> (dostęp: 3.11.2021 r.).

<sup>26</sup> Zob. więcej: Light Pollution Wastes Energy and Money; <https://www.darksky.org/light-pollution/energy-waste/> (dostęp: 3.11.2021 r.).

<sup>27</sup> C. C. M. Kyba, T. Kuester, A. Sánchez de Miguel, K. Baugh, A. Jechow, F. Hölker, J. Bennie, C. D. Elvidge, K. J. Gaston, L. Guanter, Artificially lit surface of Earth at night increasing in radiance and extent, *Science Advances* 2017 (3), e1701528.

<sup>28</sup> T. W. Davies, T. Smyth, Why artificial light at night should be a focus for global change research in the 21st century, *Global Change Biology* 2018 (24), p. 872-882.

być pilnie rozwiązane<sup>29</sup>. Ten wspólny raport Międzyrządowej Platformy Naukowo-Politycznej ds. Różnorodności Biologicznej i Funkcjonowania Ekosystemów (ang. *Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services – IPBES*) oraz Międzyrządowego Zespołu ds. Zmian Klimatu (ang. *Intergovernmental Panel on Climate Change – IPCC*) podaje także do ogólnej wiadomości, że niszczenie i zaburzenie równowagi ekosystemów osłabia zdolność przyrody do regulowania emisji gazów cieplarnianych do atmosfery i ochrony przed ekstremalnymi zjawiskami pogodowymi - co przyspiesza zmiany klimatu i zwiększa podatność na nie<sup>30</sup>. Dodatkowo na stronie Komisji Europejskiej czytamy: „Nie możemy przeciwdziałać utracie różnorodności biologicznej nie rozwiązując problemu zmian klimatu, ale równie niemożliwe jest przeciwdziałanie zmianom klimatu bez przeciwdziałania utracie różnorodności biologicznej. Ochrona i odtwarzanie ekosystemów może pomóc nam ograniczyć zakres zmian klimatu i poradzić sobie z ich skutkami”<sup>31</sup>. Wyżej wymienione informacje corocznie potwierdzane

<sup>29</sup> H. O. Pörtner, R. J. Scholes, J. Agard, E. Archer, A. Arnet, X. Bai, D. Barnes, M. Burrows, L. Chan, W. L. Cheung, S. Diamond, C. Donatti, C. Duarte, N. Eisenhauer, W. Foden, M. A. Gasalla, C. Handa, T. Hickler, O. Hoegh-Guldberg, K. Ichii, U. Jacob, G. Insarov, W. Kiessling, P. Leadley, R. Leemans, L. Levin, M. Lim, S. Maharaj, S. Managi, P. A. Marquet, P. McElwee, G. Midgley, T. Oberdorff, D. Obura, E. Osman, R. Pandit, U. Pascual, A. P. F. Pires, A. Popp, V. Reyes-García, M. Sankaran, J. Settele, Y. J. Shin, D. W. Sintayehu, P. Smith, N. Steiner, B. Strassburg, R. Sukumar, C. Trisos, A. L. Val, J. Wu, E. Aldrian, C. Parmesan, R. Pichs-Madruga, D. C. Roberts, A. D. Rogers, S. Díaz, M. Fischer, S. Hashimoto, S. Lavorel, N. Wu, H. T. Ngo, IPBES-IPCC co-sponsored workshop report on biodiversity and climate change 2021, IPBES and IPCC; [https://ipbes.net/sites/default/files/2021-06/20210609\\_workshop\\_report\\_embargo\\_3pm\\_CEST\\_10\\_june\\_0.pdf](https://ipbes.net/sites/default/files/2021-06/20210609_workshop_report_embargo_3pm_CEST_10_june_0.pdf) (dostęp: 05.11.2021 r.).

<sup>30</sup> K. Kapoor, Climate change and biodiversity loss must be tackled together; <https://www.reuters.com/business/environment/climate-change-biodiversity-loss-must-be-tackled-together-report-2021-06-10/> (dostęp: 04.11.2021 r.).

<sup>31</sup> Zob. więcej: [https://ec.europa.eu/environment/nature/climate-change/index\\_en.htm](https://ec.europa.eu/environment/nature/climate-change/index_en.htm) (dostęp: 05.11.2021 r.).

są przez coraz więcej raportów, badań naukowych i publikacji.

Ustalono empirycznie, że nadmierne i nieprawidłowo ukierunkowane światło w nocy będzie miało szeroki zakres oddziaływań biologicznych, w tym na fizjologię i zachowanie organizmów, liczebność i rozmieszczenie gatunków oraz strukturę i funkcjonowanie społeczności i ekosystemów. Dlatego tak ważnym jest, aby już dziś podejmować różnego rodzaju działania (w tym prawno-legislacyjne), które ograniczą rozprzestrzenianie się zanieczyszczenia świetlnego i jego niekorzystnego wpływu na stany równowagi biocenotycznej. Ma to bardzo duże znaczenie dla warunków życia w – już całkiem niedalekiej – przyszłości, gdyż jak już wcześniej stwierdzono: „każda zmiany w ekosystemie w mniejszym lub większym stopniu wpływa na system klimatyczny”<sup>32</sup>.

## 2.4. Wpływ światła pochodzącego z zewnętrznego oświetlenia elektrycznego na krajobraz

W naturalnych warunkach krajobraz w porze nocnej charakteryzuje się dwoma istotnymi cechami związanymi ze światłem: małą ilością światła oraz cykliczną zmiennością tej ilości. Maksymalne naturalne natężenie oświetlenia nie przekracza 0,3 luksa i występuje podczas pełni Księżyca przy niskim zachmurzeniu. W nocie bezksiężycowej lub pochmurne natężenie to spada do wartości rzędu  $10^{-3}$ - $10^{-4}$  luksa. Dominującym źródłem światła jest Księżyc, a zmiany jego faz powodują okresową (trwającą około 30 dni) zmienność jasności w nocnym krajobrazie.

<sup>32</sup> M. Budziszewska, A. Kardaś, Z. Bohdanowicz (red.), Klimatyczne ABC, Wydawnictwo Uniwersytetu Warszawskiego; <https://klimatyczneabc.uw.edu.pl/> (dostęp: 03.11.2021).

Zanieczyszczenie światłem zaburza obie wyżej wymienione cechy nocnego krajobrazu. W obszarach, na których zanieczyszczenie światłem ma wysoki poziom, ilość światła znacząco przekracza ilość naturalnego światła, nawet tę obecną przy pełni Księżyca. Natężenie oświetlenia w jasno oświetlonych miejscach jest przeważnie rzędu 5–200 luksów. Dodatkowo, ponieważ źródła elektryczne źródła światła są z reguły stałe, w nocnym krajobrazie okresowa zmiana jasności wywołana fazami Księżyca jest słabo widoczna lub w ogóle niezauważalna.

Degradujący wpływ oświetlenia pochodzącego z zewnętrznych instalacji na krajobraz jest najsilniejszy na obszarach zurbanizowanych, które są wyposażone w liczne urządzenia infrastruktury oświetlenia zewnętrznego. W szczególności w miastach mamy do czynienia z wszechobecnym chaosem świetlnym w przestrzeniach publicznych i prywatnych, objawiającym się nadmiernym i zdeorganizowanym rozświetleniem miejsc naszego codziennego przebywania poprzez źle zaprojektowane zewnętrzne instalacje oświetleniowe np.: oświetlenie reklamowe, architektoniczne, drogowe czy obiektów sportowych. Wszystko to psuje postrzeganie danego miejsca oraz sylwetki miasta widzianej z odległości, przyczyniając się do pogorszenia wizerunku całego ośrodka miejskiego. Wpływa także na percepcję jego mieszkańców. Otaczające nas środowisko ma charakter stymulujący i organizujący działalność człowieka, a także oddziałuje na sposób jego myślenia i samopoczucie<sup>33</sup>. To właśnie jakość przestrzeni kreuje w znacznym stopniu wrażliwość ludzi na piękno. Dlatego też,

<sup>33</sup> A. Bańka, Psychologia Środowiskowa jakości życia i innowacji społecznych, Stowarzyszenie Psychologia i Architektura, Poznań 2018, s. 75-92.

tak istotne jest dążenie do zachowania ładu przestrzennego również w kontekście światła pochodzącego z zewnętrznych instalacji.

Niestety, to szkodliwe oddziaływanie nadmiernego oświetlenia wykracza poza obszary zabudowane. Światło, dzięki odpowiednim cechom atmosfery ziemskiej, propaguje się i rozprasza na znaczne odległości od swoich źródeł. Taka emisja światła powoduje degradację krajobrazu nocnego również na obszarach niezamieszkałych, w których otoczeniu znajdują się obszary zurbanizowane, wiejskie czy tereny przemysłowe. Ujmując to obrazowo, każda miejscowość, która jest nocą oświetlana, tworzy „wyspę świetlną” obejmującą obszar znacznie większy, niż powierzchnia danej miejscowości. W krajach o dużej gęstości zaludnienia i rozbudowanej infrastrukturze oświetleniowej (np. w Polsce), obszary niezaburzonego krajobrazu nocnego są niewielkie, a właściwie nie istnieją. Niszczenie naturalnego nocnego krajobrazu przez światło łączy się nierozdzielnie z zaburzeniem nocnego środowiska i wpływa na bytujące w nim organizmy.

Na podstawie obserwacji satelitarnych stwierdzono, że w ciągu zaledwie dziesięciolecia przypadającego na przełom XX i XXI wieku na 20% powierzchni naszego kraju znacząco zwiększyło się zanieczyszczenie światłem<sup>34</sup>. W innym badaniu stwierdzono, że w roku 1998 na obszarze około 45% powierzchni Polski w skutek zanieczyszczenia światłem niebo nocne było co najmniej 1,5-krotnie jaśniejsze od naturalnego<sup>35</sup>.

<sup>34</sup> J. Bennie i in., Contrasting trends in light pollution across Europe based on satellite observed night time lights, Scientific Reports 2014 (4), p. 3789.

<sup>35</sup> P. Cinzano i in., The first World Atlas of the artificial night sky brightness, Monthly Notices of the Royal Astronomical Society 2001 (328), p. 689.

W roku 2014 ta powierzchnia wzrosła do 67%<sup>36</sup>. Niebo jaśniejsze od naturalnego o 1,5 razy to niebo, którego degradacja światłem jest już łatwo dostrzegalna gołym okiem. Obecnie około 50% obywateli naszego kraju zamieszkuje obszary, w których nocne niebo, czy ogólnie mówiąc nocny krajobraz jest w znaczącym stopniu skażony światłem.

Niebo jest integralną częścią nocnego krajobrazu, stanowiąc zarazem ważny zasób naukowy oraz dziedzictwo kulturowe ludzkości. Obserwacje astronomiczne nocnego nieba prowadzone z powierzchni Ziemi były w przeszłości, są obecnie i będą nadal w przewidywalnej przyszłości istotnym źródłem wiedzy o Wszechświecie, którego jesteśmy częścią. Niezakłócony dostęp do nocnego nieba jest kluczowy dla rozwoju astronomii, jako nauki, która z kolei odegrała i odgrywa istotną rolę w rozwoju cywilizacji. Odkrycia astronomiczne pozwoliły nam lepiej zrozumieć Wszechświat i nasze miejsce w nim. Postęp w badaniach Kosmosu przyczynił się też do postępu technicznego, a tym samym wpłynął na nasze codzienne życie.

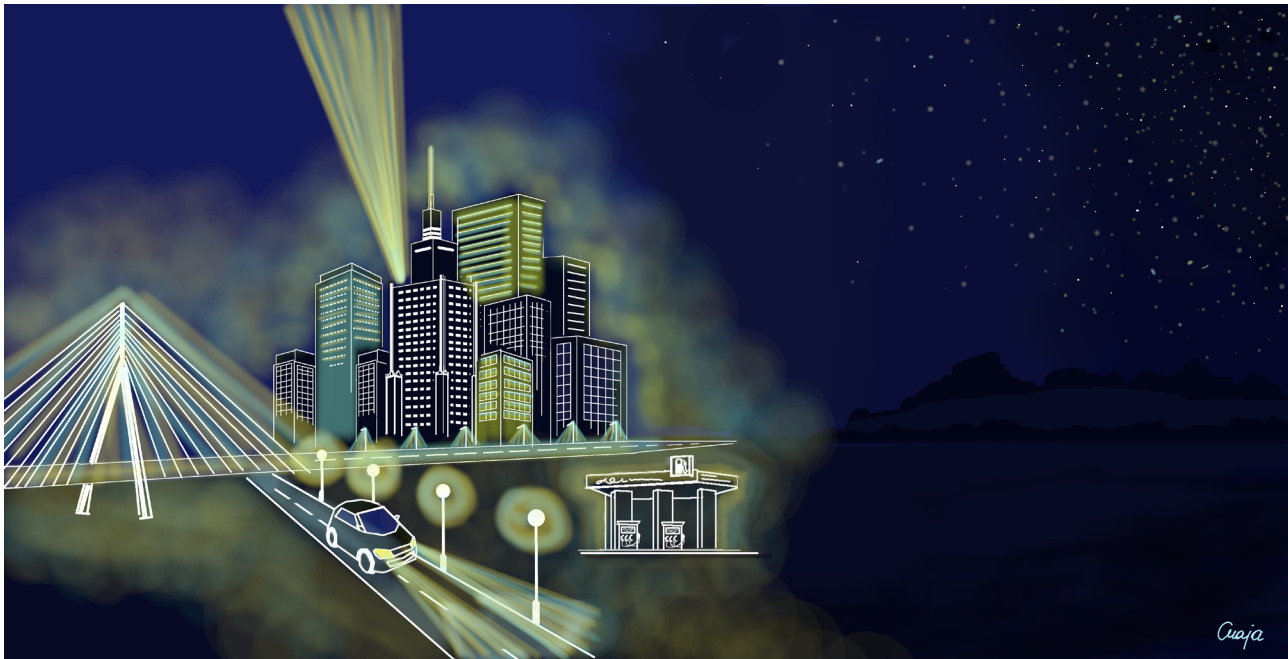
Zanieczyszczenie światłem powoduje degradację nocnego nieba. Światło emitowane z aplikacji oświetlenia sztucznego, a w szczególności z infrastruktury oświetlenia zewnętrznego, ulega rozproszeniu w atmosferze powodując zjawisko świetlnego smogu (powietrze wypełnione jest dużą ilością kwantów światła). W efekcie wzrasta jasność powierzchniowa (luminancja) nocnego nieba. W warunkach naturalnej bezchmurnej i bezksiężycowej nocy jasność ta wynosi  $(1.88-2.47) \times 10^{-4}$  cd/m<sup>2</sup>. Przy wysokim poziomie zanieczyszczenia światłem jasność

nocnego nieba wzrasta do wartości nawet 100-krotnie wyższej niż jasność naturalna. Przekracza to jednocześnie kilkukrotnie jasność naturalnego nieba nocnego przy pełni Księżyca. Zwiększona jasność nieba nocnego powoduje spadek kontrastu pomiędzy nim (tłem) a obiektami astronomicznymi. W efekcie zaobserwowanie tych obiektów staje się trudniejsze lub nawet niemożliwe.

Wspomniane powyżej rozprzestrzenianie się światła poza obszary z infrastrukturą oświetleniową, powoduje degradację nocnego nieba na dużych obszarach, istotnie ograniczając liczbę miejsc, z których mogą być prowadzone badania astronomiczne. Przenoszenie obserwatoriów astronomicznych w coraz odleglejsze niezamieszkane obszary jest kosztowne i nie rozwiązuje problemu. Wraz z rozwojem technicznym oraz powiększaniem się obszarów zamieszkałych i oświetlonych, zmniejszają się możliwości obserwacji naukowych nieba. Ten problem dotyczy też obserwatoriów astronomicznych w Polsce, z których każde w mniejszym lub większym stopniu dotknięte są problemem degradacji nocnego nieba wywołanej nadmierną ilością światła. Problem ten niestety narasta wraz z intensywnym rozwojem infrastruktury oświetleniowej w naszym kraju przy braku zrównoważonej polityki oświetleniowej, która pozwoliłaby m.in. na ochronę obserwatoriów astronomicznych. Warto podkreślić, że ciemne nocne niebo to nie tylko zasób niezbędny do prowadzenia badań naukowych. Stanowi ono też ważną część kulturowego dziedzictwa ludzkości. Od czasów prehistorycznych rozgwieżdżone niebo było jednym z ważnych elementów kształtujących kulturę. Jego obecność zaznaczyła się wyraźnie w filozofii, sztuce czy wierzeniach religijnych na całym świecie. Również w Polsce ciemne niebo

<sup>36</sup> F. Falchi i in., The new world atlas of artificial night sky brightness, Science Advances 2016 (4/2).





M. Czaja, Opracowanie graficzne oddziaływania światła

i widoczne na nim obiekty astronomiczne odegrały znaczącą rolę w historii. Gdy w 1683 roku gdański astronom, Jan Heweliusz dla upamiętnienia słynnej wiedeńskiej wiktorii nazwał nowo opisaną konstelację Scutum Sobiescianum<sup>37</sup>, dał przykład jak ważnym miejscem był nocny firmament dla uczczenia historii Polski. Gwiazdozbiór przetrwał do czasów obecnych decyzją Międzynarodowej Unii Astronomicznej, która zatwierdziła oficjalnie gwiazdozbiór „Tarczy” w XX wieku, podobnie jak konstelację „Rysia” (Lynx). Ten sam astronom wprowadził bowiem także i ten, umowny układ gwiazd jako symbol doskonałego wzroku, niezbędnego do obserwacji tego obszaru nieba, aby dostrzec w nim obiekty od 3 do 5 magnitudo, których jest tam 12<sup>38</sup>. Heweliusz nie mógł jednak przewidzieć, że oprócz doskonałego wzroku konieczne będzie również ciemne niebo, aby móc zaobserwować wyznaczone przez niego gwiazdozbiory.

<sup>37</sup> J. Desselberger, J. Szczepanik, Tablice astronomiczne z przewodnikiem po gwiazdozbiorach, Bielsko-Biała 2002, s. 176.

<sup>38</sup> K. Złoczewski, Kosmos. Ryś i Tarcza 2013, t. 79, s. 20-21.

*De revolutionibus orbium coelestium* („O obrotach sfer niebieskich”) – dzieło Mikołaja Kopernika, które zawiera wykład heliocentrycznej i heliostatycznej budowy wszechświata, to niezaprzeczalny wkład nauki polskiej dla świata w oparciu o nocne niebo. Prowadzone przez Mikołaja Kopernika<sup>39</sup> obserwacje astronomiczne z Fromborka<sup>40</sup>, które w 1539 roku kontynuował w obecności Jerzego Joachima Retyka, dają dowód, iż były one kluczowym aspektem w potwierdzeniu teorii. Nie byłoby to możliwe bez ciemnego nieba pełnego gwiazd, jakie obserwował z terenów naszego kraju<sup>41</sup>.

W 2018 roku zaprezentowana została czasowa wystawa realizowana o dziedzictwie kulturowym Żywiecczyzny związanym z niebem, przez Fundację Satelitarną Polarisu

<sup>39</sup> Z okazji 550. rocznicy urodzin Mikołaja Kopernika w 2023 roku zaplanowano Światowy Kongres Kopernikański. Miejscami obrad będą Toruń, Olsztyn i Kraków.

<sup>40</sup> K. Górski, Mikołaj Kopernik. Środowisko społeczne i samotność, Toruń 2012, s. 236.

<sup>41</sup> Apel uczestników II Kongresu Organizacji Astronomicznych, Chorzów 2006; <https://ciemneniebo.pl/pl/apel-19954> (dostęp 23.11.2021r.).

w ramach projektu grantowego dofinansowanego przez Stowarzyszenie LGD Żywiecki Raj w ramach Programu PROW 2014-2020<sup>42</sup>. Zagadnienie to było rozważane na przykładzie jednego z regionów południowej Polski, jednak w rzeczywistości wiążącego się nierzadko z historią i tradycjami całego kraju. Grupa młodzieży pod opieką pasjonatów, kulturoznawców z Parku Etnograficznego w Ślemieniu oraz działaczy na rzecz ochrony ciemnego nieba, zebrała przykładowe elementy kultury wyróżniając kilka najważniejszych, będących dowodami na istnienie związku między ciemnym niebem, a historią i życiem w regionie. Wśród nich wyróżniono:

- osobistości regionu związane z szeroko pojętym niebem (naukowcy, odkrywcy, wybitni twórcy),
- motywy nieba w sztuce, literaturze i ogólnym dorobku artystycznym,
- obrzędy religijne i zwyczaje łączące się ze zjawiskami astronomicznymi,
- semiotyka architektury (inspiracje i zapożyczenia form w odniesieniu do obiektów na niebie),
- przekazy historyczne i legendy, stanowiące nierzadko o tożsamości subkulturowej<sup>43</sup>.

To właśnie w tym regionie na terenie Żywieckiego Parku Krajobrazowego od 2011 roku funkcjonuje również pierwszy w Polsce obszar czynnej ochrony ciemnego nieba w obrębie sołectwa Sopotnia Wielka

<sup>42</sup> Fundacja Satelitarna Polarisu, Dziedzictwo kulturowe związane z niebem na Żywiecczyźnie, Sopotnia Wielka 2018; <https://ciemne-niebo.pl/pl/dzialania-w-polsce/320-dziedzictwo-kulturowe-zwiazane-z-ciemnym-niebem-na-przykladzie-zywiecczyzny> (dostęp: 23.11.2021 r.).

<sup>43</sup> J. Nawalkowska (red.), Sprawozdanie projektu – wniosek o rozliczenie grantu pt.: Dziedzictwo kulturowe związane z niebem na Żywiecczyźnie, Fundacja Satelitarna Polarisu, Sopotnia Wielka 2018, niepubl.

w gminie Jeleśnia<sup>44</sup>. Celem tego przedsięwzięcia było wypracowanie kompromisu i przetestowanie rozwiązań pomiędzy zachowaniem odpowiednich parametrów oświetlenia publicznego (ulicznego) z jednoczesną redukcją zanieczyszczenia sztucznym światłem w górnej półsfery (również z uwzględnieniem albedo). Działania poprowadzono na podstawie umów i porozumień międzysektorowych (JST-NGO) z jednoczesnym uwzględnieniem konsultacji społecznych na zebraniach rady sołectkiej. W 2021 roku rozpoczęto prace nad projektem pt. „Racjonalna polityka oświetleniowa w praktyce”<sup>45</sup>, uwzględniającym wsparcie merytoryczne i techniczne w przedmiocie modernizacji oświetlenia prywatnego do parametrów zbliżonych w wytycznych dla International Dark Sky Community<sup>46</sup>. Wysiłki te choć mają wymiar lokalny, mogą posłużyć za studium przypadku i jako projekt pilotażowy do weryfikacji niektórych założeń zrównoważonej polityki oświetlenia zewnętrznego w Polsce. Jednak zasadnym wydaje się być twierdzenie, że wyraźne zmniejszenie zanieczyszczenia światłem w miastach mogłaby przynieść kombinacja trzech następujących czynników: znaczne podrożenie cen energii elektrycznej, większa dostępność cenowa nowoczesnych i ekologicznych źródeł światła oraz zwiększenie wiedzy w społeczeństwie na temat negatywnych skutków degradacji nocnego krajobrazu<sup>47</sup>. Niestety, z tym

<sup>44</sup> Uchwała Rady Gminy Jeleśnia nr XXXIV/284/2010 z dnia 26 stycznia 2010 r. o przyjęciu planu odnowy miejscowości Sopotnia Wielka; [http://www.bip.jelesnia.pl/index.php?modul=aktualnosci&kat\\_id=42&id=1488](http://www.bip.jelesnia.pl/index.php?modul=aktualnosci&kat_id=42&id=1488) (dostęp: 26.11.2021 r.).

<sup>45</sup> Stowarzyszenie POLARIS – OPP, Sopotnia Wielka, 2021, <https://www.polaris.org.pl/projekty/81-xolotl> (dostęp: 26.11.2021 r.).

<sup>46</sup> International Dark-Sky Association, International Dark Sky Communities, <https://www.darksky.org/ourwork/conservation/idsp/communities/> (dostęp: 25.06.2021 r.).

<sup>47</sup> G. Iwanicki, Międzynarodowe społeczności ciemnego nieba jako przykład ochrony nocnego krajobrazu na terenach miejskich, *Czasopismo geograficzne* 2019, półrocznik XC 1.

ostatnim elementem jest w naszym kraju nie najlepiej, gdyż potencjalnie tylko 5% społeczeństwa zna pojęcie zanieczyszczenia światłem, a 37% osób uważa, że nadmiar światła w porze nocnej nie stanowi problemu, wskazując, że jest to raczej zjawisko istotne w skali światowej lub krajowej, nie zaś w wymiarze lokalnym<sup>48</sup>. Zasadnym jest więc zintensyfikowanie wysiłków w kierunku pracy u podstaw – edukacji formalnej i pozaformalnej, z pożytkiem dla krajobrazu nocnego, który coraz bardziej kształtują decyzje indywidualne przy wyborze źródeł oświetlenia zewnętrznego wokół gospodarstw domowych.

## 2.5. Efektywność energetyczna oświetlenia zewnętrznego

Międzynarodowa Agencja Energii (ang. *International Energy Agency* – IEA<sup>49</sup>) określiła, że na potrzeby oświetleniowe zużywane jest około 19% energii elektrycznej produkowanej na świecie<sup>50</sup>. Jest to zatem stosunkowo duża część, która określa olbrzymie potrzeby wykorzystania oświetlenia elektrycznego. Z pewnością dominujący udział w zużyciu energii stanowi oświetlenie wewnętrzne. Jednak należy zaznaczyć, że w miastach zdecydowana większość zużycia energii jest związana z funkcjonowaniem oświetlenia ulicznego oraz sygnalizacji świetlnej<sup>51</sup>. Do tego należy doliczyć energię elektryczną zużywaną na oświetlenie obiektów architektonicznych, sportowych, reklam

światlnych oraz krótkookresowych wydarzeń kulturalnych. Sprawia to, że zewnętrzna infrastruktura oświetlenia pochłania znaczną część energii wykorzystywanej na potrzeby oświetleniowe. Należy zatem zadbać o to, aby zewnętrzne instalacje oświetleniowe nie warunkowały dodatkowych strat energii elektrycznej i charakteryzowały się wysoką efektywnością energetyczną.

Krajowe i międzynarodowe akty prawne przedstawiają pojęcie efektywności energetycznej przy uwzględnieniu różnych aspektów. Bardziej techniczna definicja efektywności energetycznej została zawarta w Rozporządzeniu Komisji Unii Europejskiej nr 651/2014 z dnia 17 czerwca 2014 r. uznającym niektóre rodzaje pomocy za zgodne z rynkiem wewnętrznym w zastosowaniu art. 107 i 108 Traktatu: „efektywność energetyczna oznacza ilość zaoszczędzonej energii ustaloną w drodze pomiaru lub oszacowania zużycia przed wdrożeniem środka mającego na celu poprawę efektywności energetycznej i po jego wdrożeniu, z jednoczesnym zapewnieniem normalizacji warunków zewnętrznych wpływających na zużycie energii”<sup>52</sup>. Natomiast bardziej ogólną definicję przedstawia polska ustawa z dnia 20 maja 2016 r. o efektywności energetycznej<sup>53</sup>: „efektywność energetyczna - stosunek uzyskanej wielkości efektu użytkowego danego obiektu, urządzenia technicznego lub instalacji, w typowych warunkach ich użytkowania lub eksploatacji, do ilości zużycia energii przez ten obiekt, urządzenie techniczne lub instalację, albo w wyniku wykonanej usługi niezbędnej do uzyskania tego efektu”. Ponadto, odniesienie do kwestii efektywności energetycznej można również znaleźć w obwieszczeniu

<sup>48</sup> Raport TNS Polska dla Ministerstwa Środowiska, Problem hałasu, odoru i zanieczyszczenia światłem w oczach Polaków, Warszawa 2015.

<sup>49</sup> Zob.: [www.iea.org](http://www.iea.org).

<sup>50</sup> Zob. więcej IEA, *Light's Labour's Lost, Policies for Energy – efficient Lighting*, IEA, Paryż 2006.

<sup>51</sup> P.R. Boyce, N.H. Eklund, B.J. Hamilton, L.D. Bruno, *Perceptions of safety at night in different lighting conditions*, *International Journal of Lighting Research and Technology* 2000 (32/2), p. 79-91.

<sup>52</sup> Dz. Urz. UE z 2014 r., L 187/1.

<sup>53</sup> Tj. Dz.U. z 2021, poz. 468.

Ministra Energii z dnia 23 listopada 2016 r.<sup>54</sup>. Przedstawia ono wykaz przedsięwzięć mających na celu poprawę efektywności energetycznej. Jednym z nich jest modernizacja lub wymiana oświetlenia zewnętrznego, w tym źródeł światła i opraw oświetleniowych na energooszczędne, wdrażanie inteligentnych systemów sterowania oświetleniem i ich dostosowanie do potrzeb użytkowników oraz stosowanie energooszczędnych systemów zasilania oświetlenia.

Warto w tym miejscu zaznaczyć, że zewnętrzna infrastruktura oświetleniowa odpowiada przede wszystkim za bezpieczeństwo ruchu drogowego oraz ogólne poczucie bezpieczeństwa ludzi w trakcie nocy. Stanowi również główną przyczynę zjawiska zanieczyszczenia światłem środowiska<sup>55</sup>. W definicji „efektywności energetycznej oświetlenia zewnętrznego” należy zatem bezwzględnie uwzględnić również kwestie potrzeby zapewnienia wysokiej jakości parametrów otoczenia świetlnego oraz minimalizacji zanieczyszczenia światłem: „efektywność energetyczna oświetlenia zewnętrznego” to ilość zaoszczędzonej energii ustalonej w drodze pomiaru lub oszacowania przed wdrożeniem środka mającego na celu poprawę efektywności energetycznej oświetlenia i po jego wdrożeniu z jednoczesnym zachowaniem wysokiej jakości parametrów technicznych związanych z otoczeniem świetlnym oraz minimalizacją zanieczyszczenia światłem środowiska.

<sup>54</sup> Obwieszczenie Ministra Energii z dnia 23 listopada 2016 r. w sprawie szczegółowego wykazu przedsięwzięć służących poprawie efektywności energetycznej (M.P. z 2016 r., poz. 1184).

<sup>55</sup> J.A. Brons, J.D. Bullough, M.S. Rea, Outdoor site-lighting performance: A comprehensive and quantitative framework for assessing light pollution, *Lighting Research & Technology* 2008 (40/3), p. 201-224.

### **3. Brak prawnych podstaw kształtowania i prowadzenia polityki oświetlenia zewnętrznego w obowiązującym ustawodawstwie polskim**

Analiza obowiązującego stanu prawnego w zakresie możliwości kształtowania i prowadzenia zrównoważonej polityki oświetlenia zewnętrznego – w znaczeniu podanym w punkcie 1.2.1. niniejszego Memorandum – prowadzi do następujących wniosków:

- brakuje odpowiednich warunków oraz wytycznych technicznych umożliwiających odpowiedzialne i racjonalne projektowanie, instalowanie oraz użytkowanie urządzeń infrastruktury oświetlenia zewnętrznego,
- brakuje narzędzi prawnych umożliwiających odpowiedzialne i racjonalne planowanie oświetlenia zewnętrznego w przestrzeni, tj. odpowiednie do warunków zagospodarowania przestrzennego i polityki przestrzennej,
- brakuje prawnej kwalifikacji „zanieczyszczenia światłem” do kategorii zanieczyszczeń środowiska.

W prawie polskim nie określono szczegółowych warunków projektowania, instalowania oraz użytkowania urządzeń infrastruktury oświetlenia zewnętrznego. Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2002 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie<sup>56</sup> znikomo reguluje kwestie związane z oświetleniem zewnętrznym, ograniczając się do wymogów dla urządzeń

<sup>56</sup> T.j. Dz.U. z 2019 r., poz. 1065 ze zm.

oświetleniowych instalowanych na zewnątrz budynku lub w jego otoczeniu. Zgodnie z §293 ust. 6 przywołanego rozporządzenia: „Urządzenia oświetleniowe, w tym reklamy, umieszczone na zewnątrz budynku lub w jego otoczeniu nie mogą powodować uciążliwości dla jego użytkowników ani też przechodniów i kierowców. Jeżeli światło skierowane jest na elewację budynku zawierającą okna, natężenie oświetlenia na tej elewacji nie może przekraczać 5 luksów w przypadku światła białego i 3 luksów w przypadku światła kolorowego lub światła o zmieniającym się natężeniu, błyskowego, ewentualnie pulsującego”. Przywołana regulacja zasługuje na krytykę ze względu na swoją lakoniczność oraz brak uwzględnienia zróżnicowania parametrów dla światła pochodzącego z instalacji zewnętrznych ze względu na funkcje i przeznaczenie danego terenu. Co więcej, przepisy tego rozporządzenia nie odwołują się do norm technicznych stanowiących tzw. Polskie Normy. Podstawowe zalecenia dotyczące ograniczania uciążliwej emisji światła przewiduje norma PN-EN 12464-2:2014-05 „Światło i oświetlenie – Oświetlenie miejsc pracy – Część 2: Miejsca pracy na zewnątrz”. Symbol „PN-EN” oznacza, że jest to Polska Norma wprowadzająca normę europejską EN. „Światło przeszkadzające” to światło niepożądane, które z powodu niewłaściwych w danej sytuacji cech ilościowych, kierunkowych powoduje irytację, niewygodę widzenia, odwracanie uwagi lub redukcję widzenia istotnych informacji. Norma PN-EN 12464-2:2014-05 przewiduje dopuszczalne „limity światła przeszkadzającego” dla instalacji oświetlenia zewnętrznego, których celem jest minimalizowanie negatywnych skutków zanieczyszczenia światłem dla ludzi, zwierząt i roślin. Niestety, żaden akt prawa po-

wszechnie obowiązującego nie odwołuje się do przywołanych norm technicznych, dlatego ich stosowanie zgodnie z art. 5 ust. 3 ustawy z dnia 12 września 2002 r. o normalizacji, jest dobrowolne<sup>57</sup>.

Nieco bardziej szczegółowo uregulowano kwestie oświetlenia zewnętrznego w rozporządzeniu Ministra Transportu i Gospodarki Morskiej z dnia 2 marca 1999 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać drogi publiczne i ich usytuowanie<sup>58</sup>. Problematyce „urządzeń oświetleniowych” został poświęcony odrębny rozdział drugi, który określa wymagania oświetlenia dróg ze względów bezpieczeństwa. Regulacja przepisu §109 rozporządzenia również ma w dużym stopniu ogólnikowy charakter, stanowiąc np., że droga powinna być oświetlona ze względów bezpieczeństwa ruchu, w szczególności „gdy przebiega przez obszar oświetlony i występuje zagrożenie olśnienia uczestników ruchu” (ust. 1 pkt 1), czy „światło oświetlenia nie może zmieniać barwy znaków drogowych” (ust. 3) bądź przewidując taki wymóg usytuowania słupów oświetleniowych, który nie powoduje zagrożenia bezpieczeństwa ruchu i nie ogranicza widoczności (ust. 5). Niemniej, przepis §109 ust. 7 rozporządzenia wprost odwołuje się do norm technicznych, stanowiąc że: „Wymagania dotyczące natężenia oświetlenia i rozmieszczenia punktów świetlnych określa Polska Norma”. Aktualnie szczegółowe zasady oświetlenia zewnętrznego są w tym przedmiocie określone w normie PN –EN 13201-3:2016-03 „Oświetlenie dróg”.

Oświetlenie zewnętrzne jest elementem „ład przestrzennego” w rozumieniu art. 2 pkt 1 ustawy z dnia 27 marca 2003 r. o planowaniu

<sup>57</sup> T.j. Dz. U. z 2015 r., poz. 1483.

<sup>58</sup> T.j. Dz.U. z 2016 r., poz. 124 ze zm.

i zagospodarowaniu przestrzennym<sup>59</sup>, ale pomimo tego ustawodawca nie przewiduje systemowych rozwiązań, które umożliwiłyby planowanie oświetlenia zewnętrznego z uwzględnieniem funkcji i przeznaczenia danego terenu i związanych z nimi zasad ochrony walorów przyrodniczych, a także potrzeb ich użytkowników/mieszkańców. Wyjątkiem w tym zakresie jest art. 37a u.p.z.p., zgodnie z którym: „Rada gminy może ustalić w formie uchwały zasady i warunki sytuowania obiektów małej architektury, tablic reklamowych i urządzeń reklamowych oraz ogrodzeń, ich gabaryty, standardy jakościowe oraz rodzaje materiałów budowlanych, z jakich mogą być wykonane”. Tzw. uchwała reklamowa nie może być jednak traktowana jako kompleksowe rozwiązanie problemu. Po pierwsze, w upoważnieniu ustawowym do jej wydania wymieniono tylko dwie kategorie źródeł oświetlenia zewnętrznego: „tablice reklamowe” oraz „urządzenia reklamowe”. Po drugie, przedmiot regulacji uchwały nie obejmuje wszystkich elementów krajobrazu kulturowego i pomija ochronę krajobrazu przyrodniczego. Po trzecie, uchwała reklamowa stanowi fakultatywny akt prawa miejscowego, a gminy z dużą wstrzeźliwością podejmują się sporządzenia tego aktu<sup>60</sup> z powodu skomplikowanej treści merytorycznej, problemów związanych z egzekwowaniem jej ustaleń, wysokich kosztów sporządzania, częstego kwestionowania legalności uchwały przez wojewodów i sądy administracyjne<sup>61</sup>. Planowanie infrastruktury oświetlenia zewnętrznego ściśle wiąże się z planowaniem

<sup>59</sup> Tj. Dz.U. z 2021 r., poz. 741, ze zm., dalej jako: „u.p.z.p.”.

<sup>60</sup> Zob.: <https://sprzatamyreklamy.org/aktualnosci/> (dostęp: 26.10.2021 r.).

<sup>61</sup> Zob. więcej: <https://www.prawo.pl/samorzad/uchwały-krajobrazowe-sa-zdaniem-gmin-trudne-warszawa-drugi-raz,506971.html> (dostęp: 26.10.2021 r.).

przeestrzennym. Konieczne jest zatem rozszerzenie upoważnienia ustawowego do stanowienia podstawowych aktów polityki przestrzennej – studium gminnego oraz planu miejscowego – o kwestie związane odpowiednio z: kierunkami rozwoju infrastruktury oświetlenia zewnętrznego oraz dostosowaniem standardów oświetleniowych do przeznaczenia bądź funkcji danego terenu.

Zgodnie z ogólną definicją prawną „zanieczyszczenia”, którą przewiduje art. 3 pkt 49 ustawy z dnia 27 kwietnia 2001 r. – Prawo ochrony środowiska<sup>62</sup> należy przez to rozumieć: „emisję, która może być szkodliwa dla zdrowia ludzi lub stanu środowiska, może powodować szkodę w dobrach materialnych, może pogarszać walory estetyczne środowiska lub może kolidować z innymi, uzasadnionymi sposobami korzystania ze środowiska”. Pomimo, że niewątpliwie zanieczyszczenie światłem – faktycznie – mieści się w zakresie przywołanej definicji, to brak jednoznacznego wyodrębnienia tej kategorii zanieczyszczeń przez ustawodawcę powoduje, że regulacja ustawowa nie może być uznana za skuteczne narzędzie przeciwdziałania szkodliwej emisji światła<sup>63</sup>.

Zważywszy na negatywne konsekwencje zanieczyszczenia światłem, za poważną lukę należy uznać pominięcie tej kategorii w ustawie – Prawo ochrony środowiska. W aktualnym stanie prawnym brakuje powszechnie obowiązujących standardów, które określałyby szczegółowe parametry dla emisji światła, stanowiące dopuszczalne wielkości emitowanego światła do środowiska

<sup>62</sup> Tj. Dz.U. z 2021 r., poz. 1219 ze zm., dalej jako: „P.o.ś.”.

<sup>63</sup> Zob. więcej: K. Szlachetko, K. Zielińska-Dąbkowska, O (bez)skuteczności prawa polskiego wobec antropogenicznych zanieczyszczeń światłem sztucznym (ang. *man-made light pollution*), Przegląd Prawa Publicznego 2021 (5), s. 22-39.

(tzw. standardy emisyjne)<sup>64</sup>, dostosowane do „potrzeb oświetleniowych”. Nie ma również żadnych standardów jakości środowiska wskazujących na dopuszczalne poziomy (natężenie) światła, które muszą być osiągnięte w określonym czasie przez środowisko jako całość lub jego poszczególne elementy przyrodnicze<sup>65</sup>. Standardy jakości środowiska są szczególnie istotne dla różnicowania oświetlenia zewnętrznego ze względu na odmienne funkcje i przeznaczenie terenów zurbanizowanych, ponieważ art. 83 ust. 2 P.o.ś. wprost stanowi, że „Standardy jakości środowiska mogą być zróżnicowane w zależności od obszarów i są wyrażane jako poziomy substancji lub energii”.

Deficyt w zakresie ustalenia wymagań dotyczących ochrony przed zanieczyszczeniem światłem powoduje, że polityka ochrony środowiska, rozumiana jako „zespół działań mających na celu stworzenie warunków niezbędnych do realizacji ochrony środowiska, zgodnie z zasadą zrównoważonego rozwoju” nie może być uznana za kompleksową – zarówno na szczeblu centralnym, jak i terenowym<sup>66</sup>. Jeśli bowiem nie ma szczegółowych norm prawnych w zakresie ochrony zasobów środowiska przed nadmierną i uciążliwą emisją sztucznego światła, to obowiązujących koncepcji, strategii rozwoju<sup>67</sup>, programów ochrony środowiska<sup>68</sup> oraz ak-

tów planowania przestrzennego<sup>69</sup> nie można efektywnie wykorzystywać do potrzeb kreowania i realizowania zrównoważonej polityki oświetlenia zewnętrznego.

## **4. Postulowany charakter i kształt prawnych podstaw polityki oświetlenia zewnętrznego**

W czwartym rozdziale Memorandum zaproponowano wprowadzenie rozwiązań prawnych optymalnych z punktu widzenia zasad kształtowania i prowadzenia zrównoważonej polityki oświetlenia zewnętrznego. Rozważania odnoszą się zarówno do propozycji koncepcji interwencji legislacyjnej, która dotyczy podziału zadań i kompetencji pomiędzy organy administracji państwowej i samorządowej, jak również do szczegółowych rozwiązań, tj.: standardów oświetlenia zewnętrznego, wytycznych urbanistycznych oraz warunków technicznych, jak również weryfikacji instalacji oświetlenia zewnętrznego.

### **4.1. Koncepcja interwencji legislacyjnej**

Kształtowanie i prowadzenie zrównoważonej polityki oświetlenia zewnętrznego wymaga odpowiednich uwarunkowań prawnych, w postaci ustanowienia:

- rozwiązań systemowych określających zasady i narzędzia kreowania

<sup>64</sup> Por. definicję „standardów emisyjnych” z art. 3 pkt 33 P.o.ś.

<sup>65</sup> Por. definicję „standardów emisyjnych” z art. 3 pkt 33 P.o.ś.

<sup>66</sup> Zob. art. 13 P.o.ś.

<sup>67</sup> Tj. koncepcji rozwoju kraju, średniookresowej strategii rozwoju kraju, strategii rozwoju gminy, strategii rozwoju województwa, strategii rozwoju ponadlokalnego oraz innych strategii, programów i dokumentów programowych, o których mowa w ustawie z dnia 6 grudnia 2001 r. o zasadach prowadzenia polityki rozwoju (t.j. Dz.U. z 2021 r., poz. 1057).

<sup>68</sup> Tj. wojewódzkich, powiatowych oraz gminnych programów ochrony środowiska, o których mowa w art. 14 ust. 2 P.o.ś.

<sup>69</sup> Tj. studium uwarunkowań i kierunków zagospodarowania przestrzennego, miejscowych planów zagospodarowania przestrzennego, miejscowych planów rewitalizacji, planów zagospodarowania przestrzennego województwa czy uchwał krajobrazowych, o których mowa w u.p.z.p.

i prowadzenia tej polityki w skali państwa (ogólne standardy planowania oraz realizowania oświetlenia zewnętrznego na poziomie ustawowym, w tym: standardy emisyjne dla poszczególnych stref oświetlenia, kontrola i monitoring prowadzenia polityki oświetlenia zewnętrznego);

oraz

- rozwiązań „operacyjnych” umożliwiających wdrożenie tej polityki „w terenie” (z uwzględnieniem aktów polityki przestrzennej oraz wiodącej roli gmin, które są podstawowymi dysponentami przestrzeni publicznej).

Rozwiązania systemowe wymagają uzupełnienia „luk regulacyjnych” przedstawionych w pkt 3 niniejszego Memorandum, zaś rekomendacje co do brakujących rozwiązań zostały szczegółowo opisane w pkt 4.2. W tym miejscu uwaga zostanie poświęcona narzędziom „operacyjnym”, których celem jest wdrożenie założeń zrównoważonej polityki oświetlenia zewnętrznego. Zrównoważona polityka oświetlenia zewnętrznego jest ściśle związana z planowaniem i zagospodarowaniem przestrzennym. Takie założenie pozwala na racjonalne wykorzystanie zalet oświetlenia elektrycznego zewnętrznego z jednoczesnym poszanowaniem wartości istotnych z punktu widzenia planowania przestrzennego, w szczególności: wymagań ładu przestrzennego (w tym urbanistyki i architektury), walorów architektonicznych i krajobrazu, wymagań ochrony środowiska i zdrowia ludzi, bezpieczeństwa ludzi i mienia czy walorów ekonomicznych przestrzeni<sup>70</sup>.

Należy raz jeszcze podkreślić, że to przestrzeń (jej funkcje i przeznaczenie) determinuje

<sup>70</sup> Zob. art. 1 ust. 2 pkt u.p.z.p.

„zadania oświetleniowe”. Istnieje zatem potrzeba bezpośredniego powiązania ze sobą planowania infrastruktury oświetlenia zewnętrznego z planowaniem przestrzennym, co należy przede wszystkim uwzględnić w upoważnieniach ustawowych do stanowienia studium i planów miejscowych, które powinny uwzględniać również wymogi w zakresie rozwoju i planowania oświetlenia zewnętrznego. Nie rekomenduje się tworzenia nowych „dedykowanych” planów oświetleniowych. W polskim systemie prawnym mamy do czynienia ze swoistą „inflacją” aktów planistycznych (studium i plany miejscowe /w tym miejscowe plany rewitalizacji/, uchwała krajobrazowa, audyt krajobrazowy), których przyjęcie jest dla gmin – ze względów merytorycznych, organizacyjnych i finansowych – problematyczne (o czym świadczy chociażby niski stopień pokrycia kraju planami miejscowymi czy znikome podejmowanie uchwał reklamowych)<sup>71</sup>. Z tego właśnie powodu należy postulować wykorzystanie obowiązujących narzędzi planowania przestrzennego do kształtowania i realizowania polityki oświetlenia zewnętrznego poprzez rozszerzenie materii ich regulacji w upoważnieniu ustawowym<sup>72</sup>.

Ponadto do podstawowych narzędzi planowania oświetlenia zewnętrznego, które powinny zostać przez ustawodawcę „sformalizowane” należą mapowanie oraz strefowanie. Mapy oświetlenia zewnętrznego, które stanowiłyby podstawowe dane źródłowe wykorzystywane m.in. do informowania

<sup>71</sup> Por. uwagi K. Szlachetko, Stanowisko Instytutu Metropolitalnego projektu ustawy o zmianie niektórych ustaw w celu wzmocnienia klimatycznego wymiaru polityki miejskiej (nr UD 246); <https://legislacja.rcl.gov.pl/projekt/12350802/katalog/12812594#12812594> (dostęp: 26.10.2021 r.).

<sup>72</sup> Zob. więcej K. Szlachetko, Publicznoprawne aspekty przeciwdziałania zanieczyszczeniu sztucznym światłem – podstawowe postulaty de lege ferenda [w druku].



społeczeństwa, inwentaryzacji infrastruktury oświetleniowej, monitoringu stanu środowiska czy przeciwdziałania zanieczyszczeniu światłem, nie byłyby nowym rozwiązaniem, albowiem ustawodawca posługuje się już „strategicznymi mapami hałasu” na potrzeby zwalczania związanych z tym zanieczyszczeń<sup>73</sup>. Z kolei strefowanie wiąże się z podziałem gminy (bądź większej jednostki czy obszaru funkcjonalnego) na tzw. strefy środowiskowe, co umożliwia różnicowanie dopuszczalnych norm emisyjnych światła w zależności od przeznaczenia danego terenu, w szczególności z uwzględnieniem: intensywności, rodzaju światła, odległości i sytuowania źródeł światła. Strefy środowiskowe (czy inaczej „strefy oświetlenia”) zostały po raz pierwszy opracowane przez Międzynarodową Komisję Oświetleniową. Pierwotnie przewidywano tylko cztery strefy środowiskowe dla oświetlenia zewnętrznego, współcześnie rekomenduje się włączenie piątej strefy „E0”, w której całkowicie eliminuje się obecność światła<sup>74</sup>. Strefowanie jest koniecznym narzędziem prawnym adaptacji „standardów oświetleniowych” do istniejącego stanu zagospodarowania i kierunków polityki przestrzennej<sup>75</sup>.

## 4.2. Warunki techniczne i standardy oświetlenia zewnętrznego

Ogólne oraz szczegółowe wymagania lub zalecenia, dotyczące oświetlenia zewnętrznego,

<sup>73</sup> Por. przepisy art. 118-119a Po.ś.

<sup>74</sup> Źródło: <https://www.darksky.org/our-work/lighting/public-policy/model-lighting-laws-policy/lighting-zones/> (dostęp: 28.10.2021 r.).

<sup>75</sup> Zob. więcej: K. Szlachetko, Planowanie oświetlenia zewnętrznego w mieście, Gdańsk 2021, niepubl., passim; K. Szlachetko, Publicznoprawne aspekty przeciwdziałania zanieczyszczeniu sztucznym światłem – podstawowe postulaty de lege ferenda [w druku].

zawarte zostały przede wszystkim w normach oraz w raportach technicznych Międzynarodowej Komisji Oświetleniowej (CIE)<sup>76</sup>.

### 4.2.1. Normy oświetleniowe

W Polsce podstawowymi normami związanymi z oświetleniem zewnętrznym są normy europejskie: PN-EN 13201: Oświetlenie dróg<sup>77</sup>, PN-EN 12464 – 2: Światło i oświetlenie. Oświetlenie miejsc pracy, Część 2: Miejsca pracy na zewnątrz<sup>78</sup>, PN-EN 12193: Światło i oświetlenie. Oświetlenie w sporcie<sup>79</sup>. Wymagania ilościowe i jakościowe zawarte w powyższych normach dotyczą przede wszystkim wytworzenia odpowiednich warunków widzenia dla użytkowników danego oświetlenia. Odbywa się to poprzez zapewnienie odpowiedniej wydolności wzrokowej, komfortu widzenia oraz bezpieczeństwa.

W normie dotyczącej oświetlenia drogowego określono minimalne wymagania oświetleniowe dla ruchu motorowego pieszego oraz rowerowego. Parametry oświetleniowe dotyczą zwłaszcza luminancji lub natężenia oświetlenia na oświetlanej powierzchni, równomierności oświetlenia oraz w szczególnych przypadkach ograniczenia olśnienia przeszkadzającego oraz oświetlenia pobocza.

Norma PN-EN 12464-2 zawiera zbiór wymagań oświetleniowych pozwalających na zapewnienie odpowiedniej wydolności wzrokowej, komfortu widzenia i bezpieczeństwa

<sup>76</sup> Zob.: [www.cie.co.at](http://www.cie.co.at).

<sup>77</sup> Polski Komitet Normalizacyjny, PN-EN 13201:1-5:2016-01-05 Oświetlenie dróg, Warszawa 2016.

<sup>78</sup> Polski Komitet Normalizacyjny, PN-EN 12464-2:2014-05 Światło i oświetlenie. Oświetlenie miejsc pracy, Część 2: Miejsca pracy na zewnątrz, Warszawa 2014.

<sup>79</sup> Polski Komitet Normalizacyjny, PN-EN 12193:2019-01 Światło i oświetlenie. Oświetlenie w sporcie, Warszawa 2019.

ludziom wykonującym prace wzrokowe na zewnątrz, po zapadnięciu zmroku. Jest to szczególnie ważne w miejscach, gdzie praca wykonywana jest przez całą dobę. Szczegółowe wymagania oświetleniowe dotyczą minimalnych wartości średniego natężenia oświetlenia w obszarze wykonywania pracy wzrokowej, minimalnej równomierności oświetlenia, ograniczenia olśnienia przeszkadzającego oraz oddawania barw.

Wymagania oświetleniowe zawarte w normie PN-EN 12193 sformułowane zostały głównie w celu zapewnienia dobrych warunków widzenia zawodnikom, sędziom i kibicom oraz widzom transmisji telewizyjnych. W oświetleniu zewnętrznych obiektów sportowych podstawowymi parametrami oświetleniowymi są: natężenie oświetlenia na powierzchniach ważnych dla danej dyscypliny sportu, równomierność oświetlenia, ograniczenie olśnienia i oddawanie barw. Wartości kryterialne parametrów oświetleniowych wymagane dla zewnętrznych obiektów sportowych są niższe, niż dla tych samych dyscyplin uprawianych we wnętrzach. Tym niemniej są to bardzo wysokie wartości, często wyższe, niż przy oświetleniu typowych miejsc pracy we wnętrzach np. prac biurowych. Dla obiektów, w których przeprowadza się transmisje telewizyjne konieczne jest spełnienie wymagań związanych z uzyskaniem odpowiednio wysokiego poziomu natężenia oświetlenia na powierzchniach pionowych. Spełnienie tych wymagań jest związane z kierowaniem światła pod większym kątem względem normalnej, niż w przypadku oświetlenia powierzchni płaskich. Może to powodować wzrost zanieczyszczenia światłem. W oświetleniu zewnętrznym, dla potrzeb transmisji telewizyjnych, wymagane jest także zapewnienie odpowiednio wysokiej temperatury

barwowej promieniowania zastosowanych lamp (chłodnej barwy światła).

W odniesieniu do oświetlenia architektonicznego nie ma obecnie żadnej normy oświetleniowej ani na poziomie europejskim, ani na poziomie krajowym. Wszystkie zalecane poziomy luminacji do stosowania w oświetleniu architektonicznym (głównie w iluminacji) sformułowane zostały przez Międzynarodową Komisję Oświetleniową i opisane w Raporcie Technicznym CIE 094:1993 „Przewodnik dotyczący oświetlenia iluminacyjnego” (ang. *Guide for floodlighting*)<sup>80</sup>. Natomiast wartości graniczne luminacji na elewacjach budynków zostały przedstawione w raporcie CIE 234:2019 „Przewodnik projektowania oświetlenia miejskiego” (ang. *A Guide to Urban Lighting Masterplanning*)<sup>81</sup>.

W normach oświetleniowych problematyka związana z zanieczyszczeniem światłem jest traktowana marginalnie, a wytyczne jakie można znaleźć w normach odnoszą się przez wszystkim do ograniczenia światła przeszkadzającego ludziom. Nie ma natomiast odrębnych wymagań dotyczących ograniczenia nocnego światła z uwagi na faunę i florę oraz zaleceń i wytycznych dotyczących ograniczenia wpływu na obserwacje astronomiczne.

W normach PN-EN 12464-2 oraz PN-EN 12193 określono wymagania dotyczące kontrolowania światła przeszkadzającego, pochodzącego z zewnętrznej instalacji oświetleniowej. Ograniczeniu podlegają wartości takich parametrów jak: natężenie oświetlenia na nieruchomościach oraz światłości opraw

<sup>80</sup> International Commission on Illumination, Technical Report no. 094, 1993, Guide for floodlighting, CIE, Vienna.

<sup>81</sup> International Commission on Illumination, Technical Report no. 234, 2019, A Guide to Urban Lighting Masterplanning, CIE, Vienna.

oświetleniowych w kierunku potencjalnie przeszkadzającym, strumień świetlny wypromieniowany w górną półprzestrzeń oraz luminacja elewacji budynków. Dodatkowo, w normie dotyczącej oświetlenia miejsc pracy na zewnątrz wymagana jest również wartość maksymalnej średniej luminacji znaków, reklam świetlnych (bez względu na ich powierzchnię). Dopuszczalne wartości powyższych parametrów uzależnione zostały od obszaru, na którym dana instalacja oświetleniowa ma pracować. Wprowadzono podział obszarów, na których stosowane jest oświetlenie zewnętrzne, na cztery strefy środowiskowe. Wyróżnić można strefę o największych obostrzeniach w odniesieniu do oświetlenia sztucznego – miejsca chronione, które naturalnie są pozbawione światła w nocy oraz strefę o wysokiej jaskrawości, jak centra miast i obszary komercyjne.

W normie dotyczącej oświetlenia drogowego problem zanieczyszczenia światłem zasygnalizowany został jedynie poprzez bardzo ogólny opis niepożądanych efektów, bez podania konkretnych wymagań.

#### 4.2.2. Raporty Techniczne Międzynarodowej Komisji Oświetleniowej

Podstawowe wytyczne i zalecenia oświetleniowe dotyczące ograniczenia zanieczyszczenia światłem zapisane zostały w 3 głównych publikacjach CIE: CIE 126:1997 “Wytyczne dotyczące minimalizowania rozjaśnienia nocnego nieboskłonu?” (ang. *Guidelines for minimizing sky glow*)<sup>82</sup>, CIE 150:2017: „Przewodnik dotyczący ograniczania skutków światła przeszkadzającego pochodzącego

<sup>82</sup> International Commission on Illumination, Technical Report no. 126, Guidelines for minimizing sky glow, 1997, CIE, Vienna.

od zewnętrznych instalacji oświetleniowych, wydanie drugie” (ang. *Guide on the Limitation of the Effects of Obtrusive Light from Outdoor Lighting Installations, 2nd Edition*)<sup>83</sup> oraz CIE 234:2019 „Przewodnik projektowania oświetlenia miejskiego” (ang. *A Guide to Urban Lighting Masterplanning*)<sup>84</sup>.

W raporcie technicznym CIE nr 126 wprowadzono ograniczenie strumienia świetlnego wypromieniowanego w górną półprzestrzeń dla każdej z czterech stref środowiskowych. Taki sam podział na strefy, przyjęty został w normach oświetleniowych PN-EN 12464-2 i PN-EN 12193. Zdefiniowano również minimalne odległości pomiędzy granicami poszczególnych stref, a położeniem obserwatorium astronomicznego na danym obszarze.

Pewnego rodzaju rozszerzeniem wymagań i zaleceń zawartych w raporcie CIE nr 126 oraz wcześniejszej wersji z 2003 r. jest CIE nr 150 z 2017 roku.

Do istniejących już czterech stref środowiskowych dodano strefę dedykowaną dla obszarów ochrony ciemnego nieba (np. parków narodowych). W przypadku zlokalizowania na danym terenie obserwatorium astronomicznego, wprowadzono także minimalne wielkości stref, bez względu na stopień zurbanizowania. Ponadto dla wszystkich pięciu stref środowiskowych, dodano ograniczenie strumienia świetlnego wypromieniowanego w górną półprzestrzeń, łącznie przez oprawy oświetleniowe oraz wszystkie powierzchnie, od których odbija się strumień świetlny, pochodzący od instalacji oświetleniowej.

<sup>83</sup> International Commission on Illumination, Technical Report no. 150, Guide on the Limitation of the Effects of Obtrusive Light from Outdoor Lighting Installations - 2nd Edition, 2017, CIE, Vienna.

<sup>84</sup> International Commission on Illumination, Technical Report no. 234, A Guide to Urban Lighting Masterplanning, 2019, CIE, Vienna.

Raport techniczny CIE nr 234 jest najnowszą publikacją Międzynarodowej Komisji Oświetleniowej, która dotyczy oświetlenia przestrzeni zewnętrznej. Jednak powrócono w nim do podziału na cztery strefy środowiskowe, tak samo jak w raporcie technicznym CIE nr 126 oraz normach oświetleniowych obowiązujących w Polsce. Dla każdej strefy środowiskowej określono dopuszczalne wartości poziomów luminacji dla zastosowań architektonicznych, które są zgodne ze wcześniejszymi wartościami luminacji na elewacjach budynków przyjmowanymi dla celów ograniczenia światła przeszkadzającego. Dodatkowo wprowadzono wartości maksymalne na tych powierzchniach, które są 5-6 razy większe od wartości średnicach, w zależności od strefy. W zakresie pozostałych aspektów dotyczących ograniczenia światła przeszkadzającego i ograniczenia jasności nieba zapisano odwołanie do publikacji CIE nr 150:2017.

#### 4.2.3. Projektowanie oświetlenia zewnętrznego

Projektowanie oświetlenia w obecnych czasach wykorzystuje zaawansowane komputerowe wspomaganie obliczeń parametrów fotometrycznych i kolorymetrycznych (komputerową symulację oświetlenia). Typowe wykorzystywane programy to m.in.: DIALux, RELUX, Agi32 oraz 3dS Max. Charakteryzują się one wysoką dokładnością zarówno, jeżeli chodzi o kwestię obliczeń poszczególnych parametrów, jak i kwestię wizualizacji efektów świetlnych<sup>85</sup>. Należy zatem koniecznie

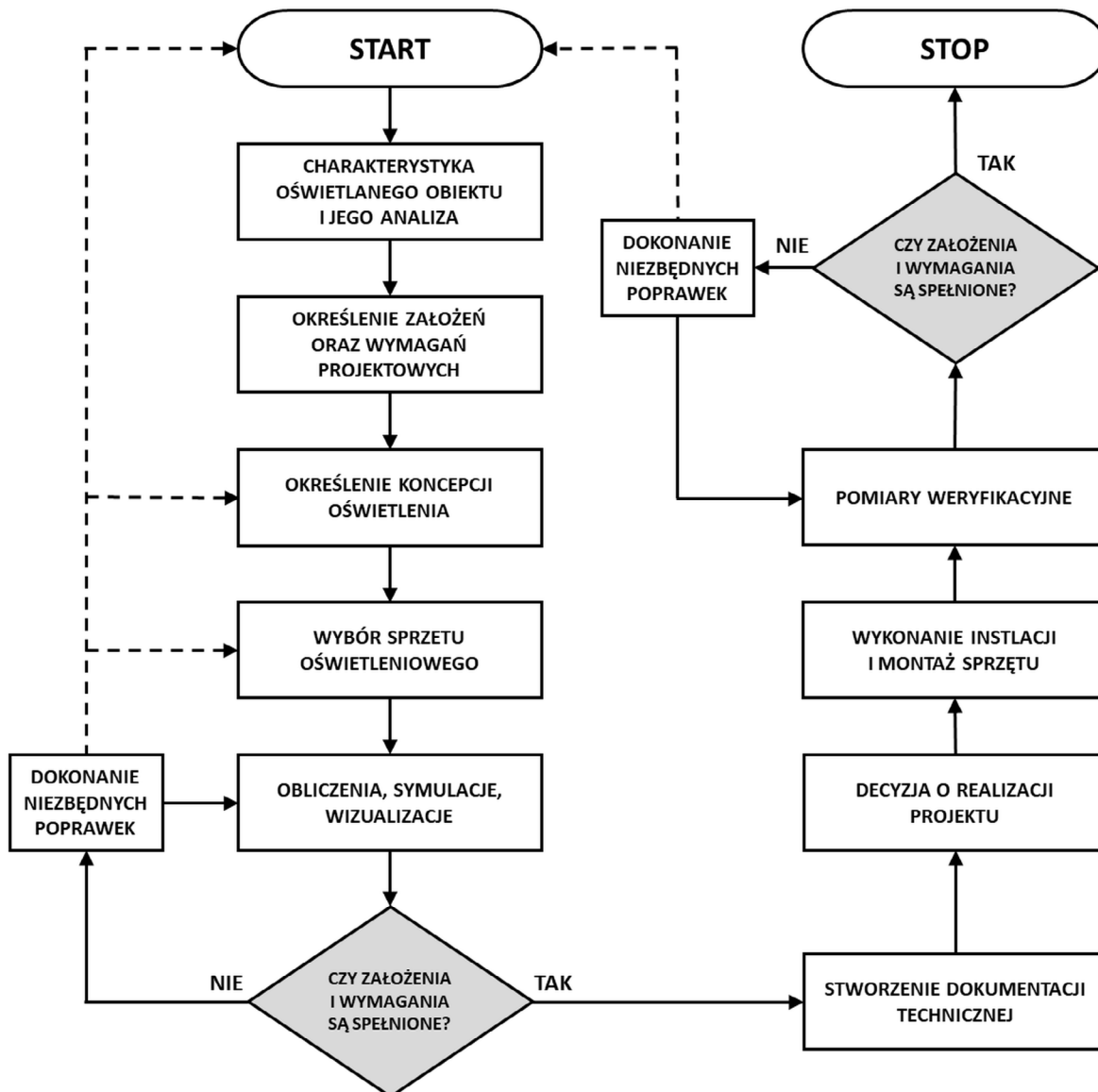
<sup>85</sup> R.A. Mangkuto, Validation of DIALux 4.12 and DIALux evo 4.1 against the Analytical Test Cases of CIE 171:2006, LEUKOS 2016, nr 12(3), p. 139-150; R. Krupiński, Simulation and Analysis of Floodlighting Based on 3D Computer Graphics, Energies 2021 (14), p. 1042.

wykorzystywać te programy w toku projektowym. Typowy algorytm projektowania oświetlenia przy wykorzystaniu komputerowego wspomagania został przedstawiony na rysunku 1-TŚ. Musi on być przestrzegany w toku projektowania oświetlenia zewnętrznego. Przestrzegane muszą być zwłaszcza etapy, w których następuje weryfikacja założeń projektowych zarówno podczas komputerowej symulacji oświetlenia, jak i po realizacji danej instalacji oświetlenia zewnętrznego. Etapy te zostały oznaczone na rysunku 1-TŚ kolorem szarym. Jedynie dzięki skrupulatnej weryfikacji uzyskanych wyników symulacji, jak i wykonanej instalacji oświetlenia zewnętrznego jest możliwe uzyskanie sytuacji, w której dana instalacja jedynie w minimalnym stopniu (niemożliwym do wyeliminowania) wpływa na środowisko naturalne.

#### 4.2.4. Sprzęt oświetleniowy

Rynek produktów oświetleniowych zarówno w Polsce, jak i na świecie jest bardzo szeroki. W naszym kraju funkcjonuje ponad 1 100 firm, których obszar działania zawiera się w obszarze oświetlenia (dane z września 2020)<sup>86</sup>. Firmy te zajmują się projektowaniem oświetlenia i sprzętu oświetleniowego właściwie każdego typu, produkcją sprzętu oświetleniowego, oświetleniem krótkookresowych wydarzeń, realizacją instalacji oświetleniowych oraz pomiarami oświetlenia. Do tego dochodzi również liczne grono firm wyłącznie instalatorskich (wykonawczych). Wszystko to sprawia, że konkurencja w obszarze oświetlenia jest duża, a nie wszystkie produkty (przede wszystkim źródła światła i oprawy oświetleniowe) są odpowiednie

<sup>86</sup> Zob.: <https://www.rynekelektryczny.pl/rynek-sprzetu-oswietleniowego-w-polsce/> (dostęp: 17.08.2021 r.).



Rys. 1. Typowy algorytm projektowania oświetlenia zewnętrznego

z punktu widzenia parametrów technicznych<sup>87</sup>. W kontekście realizacji zewnętrznej infrastruktury oświetleniowej należy korzystać jedynie ze sprzętu wysokiej jakości. Dla każdej instalacji musi zostać wykonany profesjonalny projekt oświetlenia z przedstawieniem założeń i kryteriów normatywnych. Jest to niezbędne, jeżeli chodzi o weryfikację danej instalacji po jej realizacji.

Niekorzystne są również tzw. „podmianki sprzętu oświetleniowego”. Zazwyczaj od-

<sup>87</sup> K.R. Shailesh, C.P. Kurian, S.G. Kini, Understanding the reliability of LED luminaires, Lighting Research & Technology 2017 (50/8), p. 1179-1197.

bywają się one to w przypadku, gdy sprzęt oświetleniowy jest zbyt drogi i potrzebne jest zmniejszenie nakładów inwestycyjnych w celu realizacji danej instalacji. Podmieniony sprzęt najczęściej nie spełnia założeń projektowych, ponieważ nie zostały dla niego wykonane obliczenia parametrów oświetleniowych przy wykorzystaniu symulacji komputerowej. Realizując instalację oświetlenia zewnętrznego należy koniecznie unikać tego typu praktyk lub dla nowego, tańszego sprzętu oświetleniowego przedstawiać szczegółowy projekt oświetlenia zgodnie z przedstawionym wcześniej tokiem projektowym.

#### 4.2.5. System konserwacji oświetlenia i systemy sterowania

System konserwacji oświetlenia, to pojęcie podstawowe techniki świetlnej<sup>88</sup>. Jako, że strumień świetlny dla wszystkich źródeł światła lub opraw oświetleniowych maleje w czasie eksploatacji, pogorszeniu ulegają również parametry otoczenia świetlnego np. średnie eksploatacyjne natężenie oświetlenia lub luminancja średnia. W celu wyeliminowania tego zjawiska oświetlenie elektryczne projektuje się z pewnym przewymiarowaniem (systemem konserwacji). Praktyka pokazuje jednak, że w przypadku oświetlenia zewnętrznego, to przewymiarowanie jest zazwyczaj zbyt duże, co potęguje zanieczyszczenie światłem danego obszaru<sup>89</sup>. Dlatego też, zaleca się określanie współczynnika utrzymania instalacji oświetleniowej na jak najwyższym możliwym, racjonalnym poziomie. Można to osiągnąć np. poprzez stosowanie systemów sterowania oświetleniem, które wymuszają pracę instalacji oświetleniowej jedynie w momencie, w którym korzystają z niej ludzie lub inteligentnych systemów podtrzymujących parametry techniczne na odpowiednim poziomie przez cały okres eksploatacji danej instalacji.

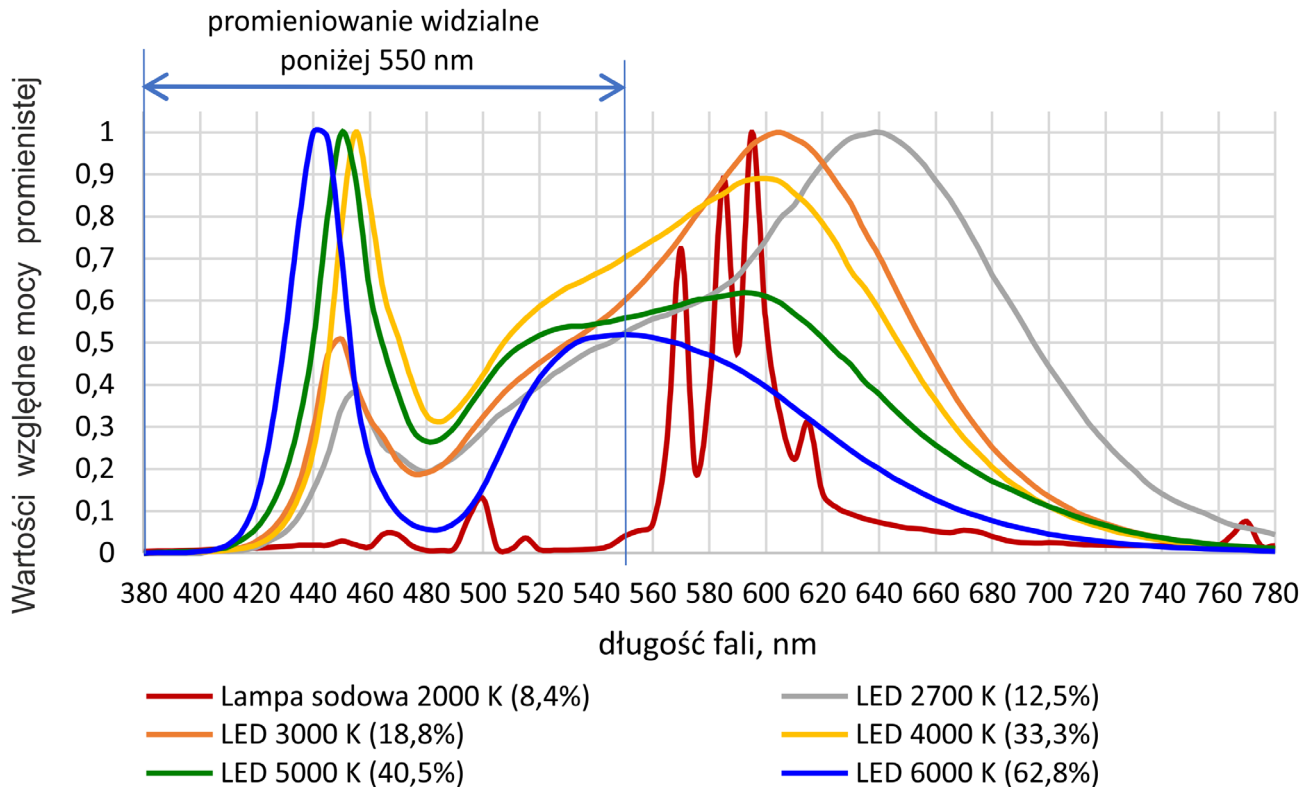
#### 4.2.6. Parametry widmowe promieniowania

Promieniowanie emitowane przez źródła światła opisywane jest za pomocą widmowego rozkładu mocy promienistej. Rozkład widmowy promieniowania jest zazwyczaj prezentowany za pomocą wykresu w układzie

kartezjańskim. Na osi poziomej znajduje się długość fali zwykle w przedziale od 380 nm do 780 nm. Natomiast na osi pionowej przedstawiona jest informacja na temat mocy, która przypada dla poszczególnych długości fali (w wartościach względnych lub bezwzględnych). Na podstawie rozkładu widmowego promieniowania istnieje możliwość wyznaczenia parametrów kolorymetrycznych. Do najważniejszych z nich należy zaliczyć barwę światła – opisywaną za pomocą parametru o nazwie temperatura barwowa najbliższa  $T_c$  oraz jakość oddawania barw oświetlanych przedmiotów, którą charakteryzuje wielkość o nazwie ogólny wskaźnik oddawania barw  $R_a$ . Jednostką temperatury barwowej najbliższej jest Kelwin (K), natomiast ogólny wskaźnik oddawania barw jest wielkością bezwymiarową  $I_m$  temperatura barwowa najbliższa jest niższa, tym barwa emitowanego światła jest cieplejsza. Natomiast im jest ona wyższa, tym barwa światła jest chłodniejsza. Operując parametrem temperatury barwowej najbliższej, można w łatwy sposób (za pomocą jednej liczby) opisać barwę światła emitowanego przez sprzęt oświetleniowy. W oświetleniu zewnętrznym stosowane są lampy o szerokim zakresie temperatur barwowych zazwyczaj od 2000 K do 6500 K. W związku z potrzebą ograniczania zużycia energii elektrycznej na cele oświetleniowe, obserwuje się sukcesywne wycofywanie energochłonnych źródeł światła (lamp wyładowczych) i wprowadzanie na rynek europejski nowoczesnych źródeł światła, głównie diod elektroluminescencyjnych – LED (ang. *light emitting diode*). Wymiana klasycznych lamp sodowych, których temperatura barwowa najbliższa wynosi około 2000 K na oprawy oświetleniowe wyposażone w źródła LED, jest główną przyczyną oszczędności energii

<sup>88</sup> International Commission on Illumination, Technical report no. 154, The maintenance of outdoor lighting systems, Vienna 2003.

<sup>89</sup> Zob. <https://www.darksky.org/our-work/lighting/lighting-for-citizens/lighting-basics/> (dostęp: 26.10.2021 r.).



Rys. 2. Względne rozkłady widmowe mocy promieniowania wysokoprężnej lampy sodowej oraz źródeł LED o różnych barwach emitowanego światła. Wartość podana w nawiasie w opisie poszczególnych źródeł światła oznacza procentową zawartość promieniowania poniżej 550 nm w odniesieniu do całego zakresu widzialnego (od 380 do 780 nm)

elektrycznej. Źródła LED charakteryzują się znacznie wyższą skutecznością świetlną, niż klasyczne wysokoprężne lampy sodowe. Warto też zaznaczyć, że źródła LED o białej barwie światła zapewniają zazwyczaj lepsze odwzorowanie barw, niż lampy sodowe. Maksymalna wartość ogólnego wskaźnika oddawania barw przyjmuje 100. Im wyższa jest jego wartość, tym uznaje się, że lepiej są oddawane barwy. Standardowe lampy sodowe wytwarzają światło o ogólnym wskaźniku oddawania barw od 20 do 39, tymczasem źródła LED zazwyczaj powyżej 60. Z uwagi na różne mechanizmy wytwarzania światła, charakterystyki spektralne źródeł LED różnią się znacznie od rozkładów widmowych, popularnych w oświetleniu zewnętrznym, lamp sodowych. Źródła LED wykazują większą emisję promieniowania w zakresie

krótkofalowym (światło niebieskie), co jest zjawiskiem niekorzystnym. Promieniowanie krótkofalowe bardziej rozprasza się w atmosferze (tzw. rozproszenie Rayleigha), co wzmacnia efekt zanieczyszczenia światłem. Światło niebieskie, którego udział jest większy w widmie promieniowania źródeł LED, można ograniczyć stosując źródła LED o niższych temperaturach barwowych. Przykładowe charakterystyki spektralne źródeł światła przedstawiono na rysunku 2-TŚ. W legendzie podano wartości temperatury barwowej najbliższej oraz procentową zawartość światła niebieskiego. Zgodnie z informacjami zamieszczonymi w raporcie technicznym CIE nr 150, problem wzrostu łuny świetlnej nocnego nieboskłonu, która jest odwrotnie proporcjonalna do czwartej potęgi długości fali, można zmniejszyć stosując

źródła światła o ograniczonej emisji promieniowania poniżej 550 nm<sup>90</sup>.

#### **4.2.7. Weryfikacja instalacji oświetlenia zewnętrznego: typy zewnętrznych instalacji oświetleniowych, procedura ogólna i uzasadnienie weryfikacji**

Wyróżnia się dwa główne typy zewnętrznych instalacji oświetleniowych<sup>91</sup>:

- oświetlenie użytkowe, do którego zalicza się: oświetlenie drogowe, oświetlenie przestrzeni dla pieszych, oświetlenie sportowe, oświetlenie terenów przemysłowych, oświetlenie przestrzeni komercyjnych, oświetlenie wewnętrzne, oświetlenie reklamowe, oświetlenie wydarzeń rozrywkowych,
- oświetlenie architektoniczne, do którego zalicza się: oświetlenie architektury (iluminacja), oświetlenie obiektów historycznych i dzieł sztuki, oświetlenie konstrukcji (np. mostów, wiaduktów, etc.), oświetlenie elementów krajobrazu (np. drzew, wzgórz, wodospadów, etc.).

Każdy z wymienionych powyżej typów oświetlenia charakteryzuje się innymi specyficznymi wymaganiami związanymi z otoczeniem świetlnym, efektywnością energetyczną, zanieczyszczeniem światłem oraz rodzajem stosowanego sprzętu oświetleniowego. Projektując każdy z wymienionych typów oświetlenia należy zapewnić jego odpowiednie parametry techniczne, korzystać z dedykowanych norm oświetleniowych oraz programów symulacyjnych. W przypadku

realizacji danej instalacji niezbędne są pomiary weryfikacyjne, które określą poprawność funkcjonowania danej instalacji lub też umożliwią wprowadzenie zmian, mających na celu jej poprawę z punktu widzenia parametrów otoczenia świetlnego, efektywności energetycznej i przede wszystkim parametrów zanieczyszczenia światłem środowiska.

W dedykowanych normach oraz raportach technicznych przedstawionych w podrozdziale 4.2.1. zostały przedstawione szczegółowe procedury weryfikacji parametrów technicznych oświetlenia zewnętrznego związanych z otoczeniem świetlnym, efektywnością energetyczną i zanieczyszczeniem światłem. Terenowe pomiary parametrów technicznych sprawdzają się głównie do pomiarów natężenia oświetlenia oraz luminancji<sup>92</sup>. Należy również zadbać o to, żeby sprzęt pomiarowy był odpowiedni dla danego zadania, uzyskał świadectwa, wysoką jakość, a wykorzystywane metodyki pomiarowe były zgodne z tymi przedstawionymi w normach i raportach technicznych. Po wykonaniu stosownych pomiarów weryfikacyjnych należy dokonać porównania uzyskanych wyników, zarówno z wynikami komputerowej symulacji oświetlenia, jak i przyjętymi wartościami kryterialnymi określonymi na podstawie norm oświetleniowych (opisanych w podrozdziale 4.2.1). W przypadku stwierdzenia, że dana instalacja oświetlenia zewnętrznego nie spełnia określonych kryteriów projektowych, należy dokonać niezbędnych poprawek, wykorzystując jedną z poniższych opcji:

- zmianę montażu (wycelowania, wysokości, rozmieszczenia itp.),
- zmianę parametrów technicznych

<sup>90</sup> International Commission on Illumination, Technical Report no. 150, Guide on the Limitation of the Effects of Obtrusive Light from Outdoor Lighting Installations - 2nd Edition, Vienna 2017.

<sup>91</sup> International Commission on Illumination, Technical Report no. 150, Guide on the Limitation of the Effects of Obtrusive Light from Outdoor Lighting Installations - 2nd Edition, Vienna 2017.

<sup>92</sup> International Commission on Illumination, Technical Report no. 150, Guide on the Limitation of the Effect of Obtrusive Light from Outdoor Lighting Installations - 2nd Edition, Vienna 2017.



zastosowanych opraw oświetleniowych, takich jak strumień świetlny, temperatura barwowa lub bryła fotometryczna światłości,

- zastosowanie systemu sterowania,
- a w skrajnym przypadku wykonać projekt oraz realizację od nowa.

Instalacja oświetlenia zewnętrznego wykonana w sposób nieprawidłowy będzie prawdopodobnie w negatywny sposób wpływać na środowisko naturalne np. poprzez niepotrzebne straty energii elektrycznej lub potęgowanie zjawiska zanieczyszczenia światłem. Jedyną ochroną przed funkcjonowaniem takich instalacji jest wykonywanie pomiarów weryfikacyjnych i odbiorów instalacji przez profesjonalistów z zakresu techniki świetlnej. Powinno to być robione za każdym razem, gdy nowa instalacja jest wdrażana do użytkowania lub instalacja starego typu jest modernizowana. W trakcie eksploatacji danej instalacji konieczne jest również wykonywanie okresowych przeglądów i pomiarów w celu przeciwdziałaniu pogarszania się parametrów otoczenia świetlnego (kwestia bezpieczeństwa), jak i parametrów efektywności energetycznej i zanieczyszczenia światłem (kwestia ochrony środowiska).

### 4.3. Wytyczne urbanistyczne

Kształtowanie i prowadzenie zrównoważonej polityki oświetlenia zewnętrznego wiąże się z realizacją kluczowego celu stawianego planowaniu przestrzennemu – zapewnieniu ładu przestrzennego. Dążenie do uporządkowania otoczenia i harmonii pomiędzy różnymi jego elementami realizowane jest poprzez regulacje zawarte w prawie krajowym oraz aktach planistycznych opracowywanych na różnych poziomach, w tym w szczegól-

ności na szczeblu lokalnym. Polski system planowania przestrzennego, działając zgodnie z ideą zrównoważonego rozwoju, stara się przywracać równowagę krajobrazu. Niemniej działania skupione są na poprawie jakości przestrzeni widzianej za dnia, z pominięciem równie istotnego nocnego obrazu miast, wsi, jak również terenów niezurbanizowanych. Dlatego w polskim prawodawstwie niezbędne są regulacje podejmujące próbę kształtowania ładu przestrzennego w krajobrazie nocnym, dzięki którym możliwe stanie się opracowywanie i późniejsze wdrażanie określonych standardów urbanistycznych w skali lokalnej.

Problem chaosu świetlnego, wynikającego z nieodpowiedniej emisji i nadmiaru oświetlenia elektrycznego, występuje na terenie całego kraju, jednak najbardziej zauważalny jest na terenach silnie zurbanizowanych. To w miastach mamy do czynienia z największym nagromadzeniem negatywnych czynników pogłębiających zanieczyszczenie światłem i wpływających niekorzystnie na środowisko i jakość życia mieszkańców. W celu ograniczenia tych niepożądanych zjawisk należy wprowadzić powszechnie obowiązujące wytyczne urbanistyczne dotyczące planowania oświetlenia, określając tym samym sposób kreacji nocnego obrazu polskich miast i zapewniając ich prawidłowy oraz zrównoważony rozwój. Ośrodki miejskie doświadczające korzyści z odpowiedzialnego planowania swojej przestrzeni, niewątpliwie czerpać będą zyski również z racjonalnej polityki oświetleniowej, zarówno pod względem ekonomicznym, jak i kulturowym, estetycznym oraz wizerunkowym. Przykładem niech będą takie miasta jak Oslo, gdzie przemyślane działania przyczyniły się do obniżenia wydatków na energię

elektryczną aż o 70%<sup>93</sup>, czy Zurych, który poprzez swoje zrównoważone podejście do sztucznego oświetlenia wydobywa lokalną tożsamość kontynuując unikalny klimat miasta i dowodząc, że czasem „mniej znaczy więcej”<sup>94</sup>. Przede wszystkim przepisy krajowe wymagać muszą odpowiednich analiz stanu istniejącego nocnych krajobrazów przed przystąpieniem do ich projektowania. Przygotowanie dokumentów planistycznych zawierających obszarowe koncepcje oświetleniowe poprzedzone być musi określeniem ich charakterystyki, cech indywidualnych, potencjału i poznaniem *genius loci* danego terenu. Celem jest bowiem wzmocnienie indywidualnego obrazu miejsca, a nie zatarcie jego wizerunku. Inaczej kształtować należy oświetlenie na obszarach chronionych przyrodniczo, odmiennie w strefach zamieszkania, czy na terenach przemysłowych. Spójne i efektywne oświetlenie, poza niewątpliwymi walorami dla codziennych użytkowników danej przestrzeni, stanowi także atrakcję dla zwiedzających będąc skuteczną formą reklamy i brandingu miejsca. W obowiązującym stanie prawnym brakuje delegacji ustawowej do stanowienia w formie rozporządzenia jednolitych i konkretnych wytycznych urbanistycznych określających sposób realizacji polityki oświetleniowej ukierunkowanej na stworzenie funkcjonalnych i atrakcyjnych wizualnie przestrzeni, przy jednoczesnym racjonalnym wykorzystaniu zasobów i ochronie nocnych walorów krajobrazowych, w tym ograniczeniu zanieczyszczenia świetlnego. Ustanowienie standardów planowania

<sup>93</sup> T. Mjøs, Intelligent street lighting in Oslo, Norway [w:] H. Nillsson (red.) eceee 2007 Summer Study on energy efficiency: Saving Energy – Just do it! 2007, p. 469-474.

<sup>94</sup> T. Schielke, How Zurich's Understated Night Lighting Strategy Enhances Local Identity, ArchDaily 2017; <https://www.archdaily.com/873091/how-zurichs-understated-night-lighting-strategy-enhances-local-identity> (dostęp: 01.11.2021 r.).

oświetlenia zewnętrznego jest konieczne ze względu na podstawowe funkcje oświetlenia elektrycznego po zapadnięciu zmroku, tj. poprawę jakości życia ludzi oraz tworzenie nocnej przestrzeni przyjaznej jej wszystkim użytkownikom.

Szczególnie ważne jest zapewnienie prawidłowych warunków oświetleniowych nie tylko dla komunikacji kołowej, lecz także rowerowej i pieszej. W tym celu warto zaimplementować rozwiązania zawarte w koncepcji Crime Prevention Through Environmental Design (CPTED) określającej zasady kreowania bezpiecznej przestrzeni publicznej. Jednym z jej kluczowych założeń jest wykorzystanie oświetlenia do poprawy poczucia bezpieczeństwa użytkowników przestrzeni oraz zminimalizowania prawdopodobieństwa wystąpienia w niej przestępstwa. Koncepcja zakłada działania mające na celu uporządkowanie i równomierne doświetlenie miejsc uczęszczanych przez ludzi zapewniając możliwość odpowiedniej obserwacji otoczenia i szybkiej reakcji na potencjalne zagrożenia<sup>95,96</sup>. Dodatkowo zwraca uwagę, że nie wszystkie obszary, nawet w dużych miastach, powinny być oświetlane w godzinach nocnych. Według wytycznych koncepcji, niektóre przestrzenie publiczne niespełniające istotnej funkcji komunikacyjnej, a posiadające w swym zagospodarowaniu miejsca podatne na generowanie sytuacji niebezpiecznych, należy nocą wyłączać z systemu pieszych powiązań. Pozostawienie takich terenów nieoświetlonych odwołuje potencjalnych użytkowników od wejścia w daną

<sup>95</sup> K. Dukąła, K. Jurzak-Mączka, J. Mączka, CPTED – teoria, praktyka, skuteczność [w:] J. Czapska (red.) Zapobieganie przestępczości przez kształtowanie przestrzeni, Kraków 2012, s. 19-76.

<sup>96</sup> D. Kim, S. Park, Improving community street lighting using CPTED: A case study of three communities in Korea, Sustainable Cities and Society 2017 (28), p. 233-241.

przestrzeń i zachęca do skorzystania z innego, bezpieczniejszego połączenia pieszego, zmniejszając tym samym prawdopodobieństwo wystąpienia przestępstwa<sup>97</sup>.

Równie istotne dla użytkowników przestrzeni, w szczególności miast, są działania ułatwiające nocną nawigację po uczęszczanym obszarze. Niedocenianym narzędziem poprawiającym w znaczny sposób czytelność układu urbanistycznego po zmroku jest wykorzystanie spójnej koncepcji iluminacji budynków i obiektów tworzącej łatwy do zapamiętania schemat poruszania się po obszarze. Ta swego rodzaju mapa zawierać powinna wyróżnione kluczowe budynki i obiekty będące punktami orientacji w terenie dla użytkowników, jednak w odpowiednim kontekście, gdzie ciemność także gra istotną rolę wydobywając predysponowane do iluminacji obiekty. Dlatego właśnie, tak istotne są wymagania ograniczające nadmierną, niepożądaną emisję światła zakłócającą możliwość harmonijnego kształtowania polskich nocnych krajobrazów widoczne najdotkliwiej w wszechogarniającym nasze miasta bałaganie świetlnym.

Standardy planowania oświetlenia zewnętrznego muszą być dostosowane do „ludzkiej skali”, tworząc miejsca spotkań i zachęcając do aktywności oraz interakcji. Co istotne, ze względu na funkcje i przeznaczenie danego terenu, oświetlenie zewnętrzne w wielu przypadkach nie wymaga stosowania wysokiego natężenia, a wręcz skłania do stosowania rozwiązań oświetleniowych tworzących bardziej kameralne warunki, kreujące atmosferę odpoczynku i relaksu. Natomiast w miejscach charakteryzujących się brakiem obecności użytkowników lub wysokimi

<sup>97</sup> J. S. Lee, S. Park, S. Jung, Effect of Crime Prevention through Environmental Design (CPTED) Measures on Active Living and Fear of Crime, Sustainability 2016 (8/9), p. 872-888.

walorami środowiska naturalnego należy dążyć do maksymalnego ograniczenia oświetlenia zewnętrznego.

Kształtowanie zrównoważonej polityki oświetlenia zewnętrznego wymaga również prawnych gwarancji partycypacji społecznej w procesie planowania infrastruktury oświetleniowej, w formie co najmniej konsultacji społecznych, poprzedzających etap przygotowania lokalnych koncepcji oświetleniowych. Poznanie oczekiwań i potrzeb, a także schematu zachowań użytkowników danej przestrzeni umożliwia przygotowanie dokumentu niwelującego negatywne oddziaływania i odpowiadającego wprost na zapotrzebowanie oświetlenia zewnętrznego po zapadnięciu zmroku.

## **5. Pomiary i monitoring emisji światła pochodzącego ze źródeł elektrycznych**

Podobnie, jak w przypadku innych obserwowanych i badanych rodzajów zanieczyszczenia środowiska pochodzenia antropogenicznego, również zanieczyszczenie światłem wymaga prowadzenia ukierunkowanych, systematycznych i powtarzalnych pomiarów, zarówno jego poziomu, jak i zmian przestrzenno-czasowych czy identyfikacji głównych źródeł jego powstania. Z tego względu metodyka całego procesu pomiarowego oraz monitoring emisji światła jest jednym z kluczowych elementów koniecznych do wprowadzenia i realizacji założeń zrównoważonej polityki oświetlenia zewnętrznego. Na jakość uzyskanych informacji, podobnie, jak np. w przypadku obserwacji meteorologicznych,

pomiarów koncentracji pyłów zawieszonych czy stężenia wybranych gazów i związków organicznych, a także od niedawna realizowanych badań klimatu akustycznego, decydujący wpływ będzie miała opracowana metodyka wykonywania pomiarów (w tym ocena ich jakości), odpowiednia rozdzielczość przestrzenna i czasowa pomiarów (w tym zaplanowanie i lokalizacja stanowisk pomiarowych) oraz długość i kompletność zgromadzonych serii obserwacyjnych.

### **5.1. Metodyka pomiaru emisji światła pochodzącego z zewnętrznego oświetlenia elektrycznego**

Wielkość emisji sztucznego światła w środowisku geograficznym może być określona poprzez:

- pomiar energii świetlnej promieniowania emitowanego z danego obszaru (radiancji) wykonywany nad analizowanym obszarem; do pomiaru wykorzystywane są obrazy rastrowe pozyskane za pomocą metod teledetekcyjnych, zarówno satelitarnych, jak i lotniczych,
- pomiar jasności powierzchniowej (luminiacji) poświaty niebieskiej pochodzącej od zewnętrznego oświetlenia elektrycznego (łuny świetlnej), która powstaje w efekcie rozchodzenia i rozproszenia w atmosferze sztucznego światła; ten pomiar wykonywany jest za pomocą aparatury naziemnej, a także z pokładów bezzałogowych statków powietrznych (BSP).

Zaletą pierwszej metody jest możliwość uzyskania bezpośredniej ilościowej informacji o źródłach emisji światła na stosunkowo dużych powierzchniowo obszarach, w tym nawet w ujęciu globalnym. W przypadku

wykorzystania teledetekcji lotniczej ograniczeniem jest wyższy koszt pozyskania danych oraz mniejsze pokrycie czasowe i przestrzenne, które można jednak zwiększyć korzystając z bezzałogowych statków powietrznych (BSP). Analizując zobrażenia satelitarne – niekorzystnym elementem jest ich mała rozdzielczość czasowa, jak również niemożność wykorzystania wyników rejestracji wykonanej przy częściowym oraz pełnym zachmurzeniu a także w przypadkach niektórych systemów, brak rejestracji w określonych przedziałach światła widzialnego.

Ważną zaletą satelitarnych pomiarów radiancji jest możliwy darmowy dostęp do pozyskanych danych, dostarczanych przez ukierunkowane temu zagadnieniu satelity obserwacyjne, np. DMSP<sup>98</sup>, SUOMI-NPP<sup>99</sup> czy Luojia 1-01 CubeSat (6U)<sup>100</sup>. Dodatkowo, kolejne generacje satelitów cechuje coraz wyższa rozdzielczość przestrzenna i czasowa wykonywanych zobrażeń powierzchni Ziemi. Przykładowo, w przypadku satelitów DMSP rozmiar piksela wynosi 3 km, natomiast już w przypadku satelitów SUOMI-NPP wzrasta do 1 km. Rozdzielczość przestrzenna zobrażeń wykonanych przez satelity z serii Luojia wynosi już 130 m, co pozwala na szczegółowe wskazanie poszczególnych źródeł światła w terenach zurbanizowanych oraz na czasową analizę ich wpływu na zanieczyszczenie światłem np. w różnych porach

<sup>98</sup> P. Cinzano, F. Falchi, C.D. Elvidge, K.E. Baugh, The artificial night sky brightness mapped from DMSP satellite Operational Linescan System measurements. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 2000 (318), p. 641-657.

<sup>99</sup> C.D. Elvidge, K.E. Baugh, M. Zhizhin, F.-C. Hsu, Why VIIRS data are superior to DMSP for mapping nighttime lights, *Proceedings of the Asia-Pacific Advanced Network* 2013 (35), p. 62.

<sup>100</sup> C. Zhang, Y. Pei, J. Li, Q. Qin, J. Yue, Application of Luojia 1-01 Nighttime Images for Detecting the Light Changes for the 2019 Spring Festival in Western Cities, *Remote Sensing* 2020 (12), p. 1416.

roku. Wspomniane właściwości przemawiają za szerszym wykorzystaniem obrazowych danych teledetekcyjnych rejestrowanych z wyższych pułapów w powtarzalnych badaniach emisji sztucznego światła.

Najpowszechniej wykorzystywane są w chwili obecnej dane pochodzące z satelitów SUOMI-NPP wyposażonych w kamerę VIIRS (ang. *Visible Infrared Imaging Radiometer Suite*). Do celów analizy emisji światła przez obiekty naziemne wykorzystuje się zakres spektralny DNB (ang. *Day/Night Band*). Pokrywa on większość zakresu widzialnego, za wyjątkiem światła niebieskiego (poniżej 500 nm). Umożliwia to otrzymanie informacji o emisji z infrastruktury oświetlenia zewnętrznego.

W przypadku analizowania średnich miesięcznych wartości radiancji można wykorzystywać zobrażenia satelitarne dostarczane przez Earth Observation Group<sup>101</sup>, które zostają wykonane w czasie, gdy powierzchnia Ziemi nie jest przesłonięta chmurami. Udostępniane dane zostają wcześniej poddane korekcji radiometrycznej, która redukuje wpływ światła bezpośrednio oświetlającego kamerę, i przez to czyni je wysoce wiarygodnymi. W przypadku konieczności analizowania wartości radiancji wyznaczonych każdej nocy, można wykorzystywać dobowe dane obrazowe VIIRS/DNB, dostarczane przez system Level-1 and Atmosphere Archive and Distribution System Distributed Active Archive Center (LAADS DAAC)<sup>102</sup>. Dla obszaru Polski zdjęcia te wykonywane są około godziny 01:00 czasu CET, gdy zdecydowana większość źródeł światła związana z oświetleniem gospodarstw domowych jest

wyłączona. Oznacza to, że rejestrowane są wówczas przede wszystkim użytkowe źródła światła, takie jak oświetlenie drogowe ciągów komunikacyjnych, osiedli mieszkaniowych i zakładów przemysłowych. Należy jednak pamiętać, że w związku z występowaniem białych nocy astronomicznych na szerokościach geograficznych Polski w okresie zbliżonym do przesilenia letniego, wśród tych zobrażeń brak jest danych wykonanych w czerwcu każdego roku.

Opisana powyżej analiza pomiarów satelitarnych radiancji informuje nas o tym, jak duża ilość światła emitowana jest z danego obszaru do otoczenia. Większa emisja przekłada się na wyższy poziom zanieczyszczenia światłem. Jednak poziom ten zależy też od stanu atmosfery w momencie rejestracji. Dlatego wskaźnik poziomu zanieczyszczenia światłem danego obszaru powinien uwzględniać stopień rozproszenia światła przez cząsteczki atmosfery ziemskiej, jak również inne czynniki atmosferyczne powodujące rozpraszanie, pochłanianie i odbijanie światła, takie jak pyły zawieszone różnej wielkości<sup>103</sup> czy chmury<sup>104</sup>. Efektem tego rozpraszania światła jest wzrost jasności powierzchniowej nocnego nieba, określanej jako łuna świetlna. Wyższa emisja światła, jak również wyższe stężenie wspomnianych składowych atmosfery, przekłada się na wyższą jasność powierzchniową nocnego nieba. Jasność ta, to jeden z parametrów kluczowych dla określenia możliwości prowadzenia obserwacji ciał niebieskich. Z tego powodu pomiar tej jasności jest od wielu lat skutecz-

<sup>103</sup> T. Ścieżor, A. Czaplicka, The impact of atmospheric aerosol particles on the brightness of the night sky, *Journal of Quantum Spectroscopy and Radiative Transfer* 2020 (254), p. 107-168.

<sup>104</sup> T. Ścieżor, The impact of clouds on the brightness of the night sky, *Journal of Quantum Spectroscopy and Radiative Transfer* 2020 (247), p. 106962.

<sup>101</sup> Zob. więcej <https://eogdata.mines.edu/products/vnl/>.

<sup>102</sup> Zob. więcej <https://ladsweb.modaps.eosdis.nasa.gov/archive/allData/5000/?process=ftpAsHttp&path=allData%2f5000>.

nie wykorzystywany w astronomii i dlatego jest on także nazywany teledetekcją astronomiczną. Pomiaru te dają możliwość uzyskania informacji na temat stanu nocnego środowiska pod kątem zanieczyszczenia światłem.

Teledetekcja astronomiczna umożliwia prowadzenie długoterminowego, niskokosztowego monitoringu emisji sztucznego światła. Otrzymanie informacji dla rozleglejszych obszarów wymaga jednak zbudowania rozproszonej sieci pomiarowej i jej wspomoczenia mobilnymi zestawami.

Jasność nocnego nieba może być mierzona przez instrumenty nieobrazujące (fotometry) i obrazujące (aparaty fotograficzne, kamery). W obu przypadkach istotne jest, aby detektor posiadał czułość widmową pokrywającą całość zakresu światła widzialnego. Jest to niezwykle ważne, ponieważ światło emitowane z infrastruktury oświetlenia zewnętrznego może mieć różny rozkład widmowy. Brak czułości detektora w którymkolwiek przedziale zakresu widzialnego będzie skutkowało uzyskaniem niepełnej informacji, co może prowadzić do błędnych wniosków.

W chwili obecnej jako fotometry, służące do tego typu pomiarów, stosowane są powszechnie niskokosztowe, mieszczące się w przedziale cenowym od około kilkuset do maksymalnie dwóch tysięcy złotych, mierniki jakości nocnego nieba, tzw. fotometry astronomiczne typu SQM (ang. *Sky Quality Meters*)<sup>105</sup> i TESS (ang. *Telescope Encoder and Sky Sensor*)<sup>106</sup>. Oferowane są one zarówno w wersjach przeznaczonych do obsługi ręcznej, jak również automatycznych, działających off- lub on-line. Fotometry dokonują pomiaru jasności powierzchniowej nieba ( $S_a$ ),

<sup>105</sup> Zob. więcej: <http://www.unihedron.com/>

<sup>106</sup> Zob. więcej: <https://tess.stars4all.eu/>

wyrażonego w jednostce magnitudo na sekundę kątową do kwadratu ( $\text{mag}/\text{arcsec}^2$ ), powszechnie stosowaną w astronomii, m.in. przy ocenie jakości nocnego nieba. Wysoka czułość i dokładność fotometrów astronomicznych pozwala na ich użycie do pomiaru bardzo małych jasności.

Pomiary za pomocą fotometrów astronomicznych najczęściej wykonuje się przy oknie pomiarowym miernika skierowanym w górę (w zenit), przez co wyznacza się tzw. zenitalną jasność powierzchniową nieba. Wartość ta bezpośrednio informuje o wielkości zanieczyszczenia światłem danego obszaru. Skala jednostek, stosowana w fotometrach astronomicznych ( $\text{mag}/\text{arcsec}^2$ ) jest logarytmiczna i odwrotna, czyli wyższa wartość oznacza mniejszą jasność nieba a wartość niższa – jasność większą. W idealnych warunkach pomiarowych, tj. przy bezchmurnej i bezksiężycowej nocy na obszarach wolnych od zanieczyszczenia światłem, wynosi ona około  $22 \text{ mag}/\text{arcsec}^2$ , natomiast w jasno oświetlonych centrach dużych miast przy w pełni zachmurzonym niebie może osiągnąć nawet wartości około  $13 \text{ mag}/\text{arcsec}^2$ . Oznacza to, że niebo w drugim przypadku jest około 4 tys. razy jaśniejsze, niż w pierwszym<sup>107, 108</sup>. Możliwe jest przeliczenie opisywanej skali jednostek jasności powierzchniowej na liniową skalę luminancji w układzie SI [ $\text{cd}/\text{m}^2$ ], czytelniejszą dla fizyków, jak również łatwiejszą do zrozumienia przez ogół naukowców.

W przypadku wykorzystywania aparatów fotograficznych lub kamer do monitoringu

<sup>107</sup> T. Ścieżor, Naturalne i antropogeniczne czynniki łuny świetlnej nocnego nieba, Monografie Politechniki Krakowskiej 2018 (177), s. 71–83.

<sup>108</sup> S. Kołomański, A. Wiernasz, K. Borodacz, R. Białek, P. Mikołajczyk, ALPS – stacje obserwacyjne zanieczyszczenia światłem [w:] A.Z. Kotarba (red.), Zanieczyszczenie światłem. Źródła, obserwacje, skutki, Centrum Badań Kosmicznych PAN Warszawa 2019.

jasności nocnego nieba, konieczne jest wykonywanie zdjęć w formacie bezstratnym RAW czy FITS, z których, po kalibracji, można w prosty sposób uzyskać informacje o jasności powierzchniowej z całego fotografowanego obszaru. W przypadku, gdy tego rodzaju zdjęcia wykonywane są z wykorzystaniem obiektywu typu „rybie oko” (ang. *all-sky*), możliwy jest pomiar jasności powierzchniowej całego obszaru nieba, a nie tylko z okolic zenitu, jak w przypadku pomiarów fotometrem SQM. Można w tym celu wykorzystać specjalizowane oprogramowanie, jak np. komercyjne “Sky Quality Camera” (Euromix, Ljubljana, Slovenia) czy też darmowy pakiet DiCaLum (zarówno w wersji Linux, jak Windows)<sup>109</sup> umożliwiający konwersję obrazów w formacie RAW na wizualizację jasności powierzchniowej.

## 5.2. Monitoring emisji światła pochodzącego z zewnętrznego oświetlenia elektrycznego

Monitoring emisji światła wymaga prowadzenia regularnych pomiarów. Pomiarów te mogą być wykonywane metodami przedstawionymi w poprzednim rozdziale. Istotne jest, żeby pomiary prowadzone były tak, aby możliwe było porównanie ze sobą wyników otrzymanych w różnych miejscach i w różnych momentach czasu. Wymaga to odpowiedniej kalibracji sprzętu pomiarowego oraz unifikacji metod używanych do analizy danych i interpretacji wyników. Odpowiednio prowadzony monitoring pozwoli na gromadzenie informacji na temat zanieczyszczenia światłem, jego zmienności czasowej i przestrzennej oraz obserwowanych trendach. Monitoring jest też niezbędnym narzędziem

nadzoru nad stanem wdrażania oraz kontroli skuteczności wprowadzania zapisów i wytycznych zrównoważonej polityki oświetlenia zewnętrznego.

Monitoring emisji światła z wykorzystaniem teledetekcji astronomicznej wymaga stworzenia sieci stacjonarnych stanowisk pomiarowych i/lub wspomagających mobilnych stacji pomiarowych. Każde stanowisko (stacja) pomiarowe powinno być wyposażone, w co najmniej fotometr i/lub aparat/kamerę, umożliwiające pomiar jasności powierzchniowej nieba. Niezależnie od wyboru, instrument pomiarowy powinien mieć odpowiednio wysoką czułość w całym zakresie światła widzialnego.

Dla części organizmów żywych (np. ptaki nocne) negatywna jest sama obecność łuny świetlnej, która zakłóca ich orientację przestrzenną oraz rytm funkcjonowania, dla innych (np. płazy) niepożądane jest natężenie oświetlenia powierzchni ziemi przez rozjaśnione nocne niebo<sup>110</sup> (stwierdzono, że może ono przekraczać nawet wartości występujące przy Księżycu w pełni<sup>111</sup>). W związku z tym, przynajmniej na części stanowisk powinny być okresowo wykonywane pomiary natężenia oświetlenia powierzchni ziemi w celu ich powiązania z mierzoną jasnością powierzchniową nocnego nieba.

Należy pamiętać, że światło, rozchodząc się i rozpraszając w atmosferze ziemskiej, dociera na znaczne odległości, przekraczające granice administracyjne miejscowości, będących

<sup>110</sup> C. Rich (ed.), *Ecological Consequences of Artificial Night Lighting*, T. Longcore, Island Press 2006.

<sup>111</sup> T. Ścieżor, M. Kubala, W. Kaszowski, T.Z. Dworak, *Zanieczyszczenie świetlne nocnego nieba w obszarze aglomeracji krakowskiej. Analiza pomiarów sztucznej poświaty niebieskiej*, Kraków 2010, s. 52–54.

<sup>109</sup> Zob. więcej: <http://dicalum.eu/>

jego źródłem<sup>112</sup>. Oznacza to, że monitoring zanieczyszczenia światłem powinien być prowadzony również poza obszarami zurbanizowanymi. Dane zdobyte z takich stanowisk pomiarowych pozwolą ocenić:

- stopień zaburzenia nocnego środowiska naturalnego w obszarach, w których nie występuje oświetlenie lokalne; w szczególności dotyczy to obszarów chronionych, jak np. parki narodowe i krajobrazowe czy inne obszary cenne przyrodniczo oraz miejsc szczególnie „wrażliwych” na zanieczyszczenie światłem, takie jak obserwatoria astronomiczne czy obszary do uprawiania astroturystyki,
- sezonowe zmiany poziomu zanieczyszczenia światłem, związane m.in. ze stopniem zapylenia atmosfery pyłami zawieszonymi (zwłaszcza w okresie grzewczym – tego typu pomiary bezpośrednio wiążą takie badania z problematyką smogu) czy też pojawianiem się pokrywy śnieżnej,
- wpływ wdrażania ustaleń zrównoważonej polityki oświetlenia zewnętrznego na redukcję tego zaburzenia; przy czym skuteczność realizacji polityki powinna uwidocznić się docelowo, jako zmniejszenie zasięgu przestrzennego zjawiska zanieczyszczenia światłem.

Warunkiem prowadzenia wiarygodnego i powtarzalnego monitoringu zanieczyszczenia światłem jest zaplanowanie i realizacja sieci stanowisk/stacji pomiarowych, w miarę możliwości równomiernie na badanym obszarze. W każdym stanowisku powinien się znajdować niskokosztowy fotometr astronomiczny, wykonujący automatycznie pomiary jasności nocnego nieba w zenicie (poprzez pomiar jasności zenitalnej) bądź w kierunku bieguna niebieskiego (poprzez pomiar

<sup>112</sup> Tamże, s. 60–64.

jasności biegunowej). W pierwszym przypadku zapewniona jest azymutalna symetria przestrzenna wpływu okolicznych źródeł światła na jasność nieba, w drugim unika się wpływu zmian położenia naturalnych obiektów niebieskich – gwiazd i planet, w ciągu roku na mierzoną jasność. W związku jednak z tym, że pomiary wykonywane będą często w obszarach zanieczyszczonych światłem, wpływ naturalnych obiektów niebieskich będzie znikomy, a istotniejsze będzie oddziaływanie okolicznych sztucznych źródeł światła. Z tego względu zaleca się wykonywanie pomiarów zenitalnych.

Pomiary powinny być wykonywane w sposób ciągły, niezależnie od pogody. Fotometry astronomiczne działające autonomicznie, z własnym zasilaniem bateryjnym oraz zapisem danych w pamięci wewnętrznej, powinny być montowane na obszarze, gdzie brak jest dostępu zarówno do bezprzewodowych sieci komunikacyjnych, jak również do infrastruktury informatycznej czy zasilania, oczywiście przy zapewnieniu ochrony urządzenia przed uszkodzeniami przez zwierzęta bądź osoby postronne. Mogą to być miejsca wykorzystywane w monitoringu innych parametrów środowiskowych (stacje meteorologiczne) oraz leśniczówki, schroniska górskie czy terenowe stacje badawcze jednostek naukowych. Standardowy pakiet baterii wystarcza na zasilenie miernika przez okres około pół roku. Pobieranie danych pomiarowych z takiego stanowiska powinno się dokonywać jak najczęściej, przynajmniej raz w miesiącu. W miejscach ze stałym dostępem do zasilania i bezprzewodowych sieci komunikacyjnych można wykorzystać fotometry astronomiczne umożliwiające zdalny dostęp do mierzonych danych oraz ich bezpośredni zapis na wskazanej przestrzeni dyskowej.



Pomiary powinny być wykonywane w porze nocnej, w regularnych, kilkuminutowych odstępach czasowych. Dla zachowania jakości pomiarów należy pamiętać o regularnym czyszczeniu okienka pomiarowego miernika, zwłaszcza w miesiącach zimowych.

Stacje pomiarowe powinny być rozmieszczone reprezentatywnie na badanym terenie, najlepiej w równomiernej sieci, w odstępach kilkukilometrowych, pokrywających zasięgowo cały obszar dla którego prowadzony ma być monitoring. Odstępy pomiędzy stanowiskami, oraz lokalizacja i otoczenie takich punktów zależy od celu prowadzenia badań, obecnej jakości stanu środowiska i występujących źródeł światła. Pod względem planowanej liczebności stanowisk oraz wyboru miejsc do realizacji powtarzalnych badań należy uwzględnić wielkość i strukturę przestrzenną danej jednostki osadniczej, a także główne elementy pokrycie/użytkowanie terenu<sup>113</sup>. W inny sposób realizowany będzie monitoring dla dużych miast lub poszczególnych ich centrów czy dzielnic, a inny dla obszarów położonych poza strefami intensywnej zabudowy, w terenach podmiejskich, na wsiach, obszarach chronionych<sup>114</sup> czy obserwatoriach astronomicznych.

Pożądanym jest, aby przynajmniej dla jednej stacji, spośród działających na danym obszarze, dostępne były dane meteorologiczne z własnych pomiarów, bądź dane pochodzące

z okolicznych stacji meteorologicznych<sup>115</sup>. Analogicznie, przynajmniej na jednej stacji w danej jednostce osadniczej powinna być umieszczona kamera typu „rybie oko” z automatyczną rejestracją obrazu nieba realizowaną w stałych, kilkuminutowych odstępach.

Obecnie w Polsce działają cztery tego rodzaju sieci pomiarowe:

- 1) sieć pomiarowa Pracowni Monitoringu Zanieczyszczenia Światlnego Politechniki Krakowskiej LPML (Light Pollution Monitoring Laboratory), uruchomiona w 2015 roku, składająca się z 11 stanowisk rozmieszczonych na obszarze Małopolski; wszystkie stanowiska są wyposażone w fotometrię SQM, w tym trzy stanowiska z dostępem do danych meteorologicznych oraz trzy stanowiska z dostępem do obrazów z kamer „rybie oko”<sup>116</sup>,
- 2) sieć pomiarowa Uniwersytetu Wrocławskiego ALPS (Allsky Light Pollution Survey<sup>117, 118</sup>), uruchomiona w 2017 roku, posiada obecnie 7 automatycznych stanowisk rozmieszczonych w całej Polsce, głównie w obserwatoriach astronomicznych; dwa z tych stanowisk należą również do sieci LPML; każde stanowisko wyposażone jest w fotometr SQM i kamerę z obiektywem „rybie oko”,
- 3) sieć pomiarowa Parku Gwiazdnego Nieba Bieszczady Wysokie, założona w 2013

<sup>113</sup> D. Karpińska, M. Kunz, Wpływ pokrycia terenu na zanieczyszczenie światłem nocnego nieba [w:] A. Danielewska, M. Maciąg (red.), *Badania z zakresu nauk przyrodniczych – nowe trendy*, Lublin 2020, s. 206–223.

<sup>114</sup> D. Karpińska, M. Kunz, *Ochrona nocnego nieba – wyzwanie dla Rezerwatu Biosfery Bory Tucholskie* [w:] M. Kunz (red.) *Rola i funkcjonowanie parków krajobrazowych w rezerwach biosfery*, Toruń 2020, s. 329–346.

<sup>115</sup> T. Ścieżor, Light pollution at the Botanical Garden of Jagiellonian University – preliminary analysis [in:] T. Ścieżor (ed.) *Ecological and astronomical aspects of light pollution*, Kraków 2020, p. 75–91.

<sup>116</sup> T. Ścieżor, *Naturalne i antropogeniczne czynniki łuny świetlnej nocnego nieba*, Kraków 2018, s. 71–83.

<sup>117</sup> Zob. więcej: <http://alps.astro.uni.wroc.pl/>

<sup>118</sup> S. Kołomański, A. Wiernasz, K. Borodacz, R. Białek, P. Mikołajczyk, *ALPS – stacje obserwacyjne zanieczyszczenia światłem* [w:] A.Z. Kotarba (red.), *Zanieczyszczenie światłem. Źródła, obserwacje, skutki*, Centrum Badań Kosmicznych PAN, Warszawa 2019.

roku, składa się z 3 stanowisk rozmieszczonych na obszarze Bieszczadów; stanowiska wyposażone są w fotometry SQM oraz w jedną kamerę „rybie oko”<sup>119</sup>,

- 4) sieć pomiarowa Wydziału Nauk o Ziemi i Gospodarki Przestrzennej Uniwersytetu Mikołaja Kopernika w Toruniu (SPMT), założona w granicach administracyjnych miasta Torunia w 2020 roku, złożona obecnie z 10 stanowisk pomiarowych i systematycznie rozbudowywana do docelowej liczby 38 lokalizacji<sup>120</sup>; akwizycja danych odbywa się w pełni autonomicznie poprzez urządzenia pomiarowe własnej konstrukcji<sup>121</sup> działające w sieci LoRa<sup>122</sup>; z sezonu 2017–2018 dostępne są także wyniki monitoringu świetlnego pozyskane z 24 stanowisk wyposażonych w fotometry SQM, reprezentujących wszystkie formy użytkowania terenu<sup>123</sup>.

Rozproszone, w chwili obecnej, bazy danych z wyżej wymienionych sieci pomiarowych zawierają już kilkaset tysięcy rekordów, często powiązanych z odpowiednimi danymi meteorologicznymi i obrazami z kamer typu „rybie oko”. Sieci te dostarczają też odpowiedniej wiedzy i doświadczenia niezbędnego do rozszerzenia monitoringu zanieczyszczenia światłem na inne obszary, powiększając nadzorowany zasięg przestrzenny. Są one

<sup>119</sup> T. Ściężor, *Naturalne i antropogeniczne czynniki łuny świetlnej nocnego nieba*, Kraków 2018, s. 83-85.

<sup>120</sup> Zob. więcej: <https://www.geo.umk.pl/wiadomosci/?id=20936>.

<sup>121</sup> D. Karpińska, M. Kunz, Device for automatic measurement of light pollution of the night sky – test results and conditions of operation. Abstract Book, 7th International Conference on Artificial Light At Night 2021 (ALAN 2021).

<sup>122</sup> D. Karpińska, M. Kunz, Analysis of the visibility and signal strength of the LoRaWAN network in an urbanized area – a case study of the Bielany campus at the Nicolaus Copernicus University in Toruń, *Bulletin of Geography. Socio-Economic Series* 2021.

<sup>123</sup> D. Karpińska, M. Kunz, Analysis of light pollution of the night sky in Toruń (Poland), *Civil and Environmental Engineering Reports* 2020, p. 155–172.

systematycznie rozbudowywane o kolejne stanowiska pomiarowe zakładane przy okazji realizacji nowych projektów. Na podstawie prowadzonych badań i wyników uzyskanych w rezultacie ich realizacji, powstało już szereg publikacji naukowych zamieszczonych w renomowanych czasopismach krajowych i zagranicznych oraz wydano kilka monografii opisujących w interdyscyplinarny sposób zjawisko zanieczyszczenia środowiska światłem oraz jego konsekwencje środowiskowe.

Niezależnie od stacjonarnych pomiarów zbieranych przez wymienione sieci, doraźnie wykonywane są również terenowe pomiary uzupełniające mobilnymi, ręcznymi fotometrami astronomicznymi (np. miernikami działającymi w sieci LPML, ALPS i SPMT)<sup>124</sup>.

Opisana metoda naziemnego monitoringu poziomu zanieczyszczenia światłem, w przypadku nocy bezchmurnych, powinna być wspomagana poprzez monitoring satelitarne, realizowany poprzez regularne pobieranie ogólnodostępnych danych satelitarnych (np. pochodzących z satelitów SUOMI-NPP wyposażonych w kamerę VIIRS)<sup>125</sup>.

W badaniach dotyczących określenia chwilowego poziomu zanieczyszczenia środowiska światłem można wykorzystać pomiary wykonane z niższych wysokości (zgodnie z przepisami prawa lotniczego do 120 m nad ziemią) przez bezzałogowe statki powietrzne lub z wysokości kilkuset metrów przez samoloty w ramach prowadzenia nocnej akwizycji danych pomiarowych czy obrazowych<sup>126</sup>.

<sup>124</sup> T. Ściężor, M. Kubala, W. Kaszowski, T.Z. Dworak, *Zanieczyszczenie świetlne nocnego nieba w obszarze aglomeracji krakowskiej. Analiza pomiarów sztucznej poświaty niebieskiej*, Kraków 2010.

<sup>125</sup> T. Ściężor, Effect of street lighting on the urban and rural night-time radiance and the brightness of the night sky, *Remote Sensing* 2021 (13/9), p. 1–41.

<sup>126</sup> Zob. więcej: <https://geoforum.pl/news/30109/mapa-zanieczyszczenia-swiatlem-w-ofercie-mggp-aero>.

Pierwsza metoda jest niskokosztowa, referencyjna i powtarzalna, wykorzystując zamontowane na pokładzie statku powietrznego fotometry SQM<sup>127</sup>, natomiast druga realizowana jest raczej przy okazji innych nalołów fotogrametrycznych związanych głównie ze skanowaniem laserowym czy rejestracją termowizyjną.

Wartości radiancji, uzyskane z wykorzystaniem teledetekcji satelitarnej w powiązaniu z pomiarami naziemnymi jasności powierzchniowej nocnego nieba umożliwiają pełną analizę emisji światła z powierzchni ziemi i jego propagacji w atmosferze. Do przetwarzania pozyskanych danych, zarówno w aspekcie jakościowym, jak też ilościowym można wykorzystać oprogramowanie geoinformacyjne z rozszerzeniami i skryptami, zarówno komercyjne (np. ArcGIS, Geomedia), jak i wolne i otwarte (np. QGIS, GRASS, Saga GIS).

## 6. Zakończenie

W niniejszym Memorandum przedstawiono złożoność problemów, których rozwiązanie wymaga racjonalnego i odpowiedzialnego planowania i zarządzania infrastrukturą oświetlenia zewnętrznego. Odpowiedzią na związane z tym wyzwania może być wyłącznie zrównoważona polityka, która wpisuje się w konstytucyjną zasadę zrównoważonego rozwoju. Ustawodawca dookreśla treść tej zasady w art. 3 pkt 40 P.o.ś. jako: „taki rozwój społeczno-gospodarczy, w którym następuje proces integrowania działań politycznych, gospodarczych i społecznych, z zachowaniem równowagi przyrodniczej oraz trwałości podstawowych procesów

przyrodniczych, w celu zagwarantowania możliwości zaspokajania podstawowych potrzeb poszczególnych społeczności lub obywateli zarówno współczesnego pokolenia, jak i przyszłych pokoleń”. Zrównoważoną politykę oświetlenia zewnętrznego należy traktować, jako świadomą i celową działalność władzy publicznej zmierzającą do racjonalnego planowania, realizowania oraz użytkowania infrastruktury oświetlenia zewnętrznego w celu zaspokojenia zbiorowych potrzeb ludności z uwzględnieniem zasady ładu przestrzennego i zrównoważonego rozwoju oraz wymogów ochrony środowiska i efektywności energetycznej.

Prawidłowe gospodarowanie infrastrukturą oświetleniową może przynieść korzyści estetyczne, środowiskowe i gospodarcze, wpływając pozytywnie na krajobraz terenów zurbanizowanych, ochronę terenów o walorach przyrodniczych oraz komfort i bezpieczeństwo użytkowników przestrzeni publicznej po zapadnięciu zmroku. Określone cele wymagają jednak zrównoważonych działań na szczeblu władzy centralnej i samorządowej, które pogodzą konflikty przestrzenne i różne zapotrzebowanie na światło, w zależności od funkcji i przeznaczenia danego terenu.

Konkluzją opracowania jest zwrócenie uwagi na rolę „dobrego prawa” w zakresie kształtowania i prowadzenia zrównoważonej polityki oświetlenia zewnętrznego. Poszczególne państwa członkowskie Unii Europejskiej zdając sobie sprawę ze znaczenia narzędzi prawnych w zakresie szeroko rozumianego zarządzania infrastrukturą oświetlenia zewnętrznego, podejmują niezbędne inicjatywy legislacyjne w odrębnych aktach prawnych rangi ustawowej (np. Chorwacja),

<sup>127</sup> Zob. więcej: <https://www.geo.umk.pl/wiadomosci/?id=21483>.

w rozporządzeniach (np. Słowenia, Francja) bądź w ustawodawstwie z zakresu ochrony środowiska i przyrody (Niemcy).

Wobec wykazanych niedostatków w zakresie obowiązującego prawa, konieczne wydaje się podjęcie również przez polskiego prawodawcę działań legislacyjnych, które przyczynią się do ustanowienia prawnych warunków dla kształtowania i prowadzenia zrównoważonej polityki oświetlenia zewnętrznego.

## Zespół autorski

**dr hab. Mieczysław Kunz, prof. UMK** – profesor uniwersytetu w Katedrze Geomatyki i Kartografii na Wydziale Nauk o Ziemi i Gospodarki Przestrzennej na Uniwersytecie Mikołaja Kopernika w Toruniu

**dr hab. Tomasz Ścieżor** – adiunkt w Katedrze Wodociągów Kanalizacji i Monitoringu Środowiska na Wydziale Inżynierii Środowiska i Energetyki na Politechnice Krakowskiej; Kierownik Pracowni Monitoringu Zanieczyszczenia Światlnego w Krakowie

**dr inż. Monika Czaja** – adiunkt w Katedrze Roślin Ozdobnych i Sztuki Ogrodowej na Wydziale Biotechnologii i Ogrodnictwa na Uniwersytecie Rolniczym w Krakowie

**dr Paweł Drożdżal** – adiunkt w Zakładzie Biologii Strukturalnej Organizmów Prokariotycznych w Instytucie Chemii Bioorganicznej Polskiej Akademii Nauk w Poznaniu

**dr Sylwester Kołomański** – adiunkt w Instytucie Astronomicznym na Wydziale Fizyki i Astronomii na Uniwersytecie Wrocławskim

**dr inż. Anna Kołton** – profesor uniwersytetu w Katedrze Botaniki, Fizjologii i Ochrony Roślin na Wydziale Biotechnologii i Ogrodnictwa na Uniwersytecie Rolniczym w Krakowie

**dr inż. Krzysztof Skarżyński** – adiunkt w Zakładzie Techniki Światlnej w Instytucie Elektroenergetyki na Politechnice Warszawskiej; członek Polskiego Komitetu Oświetleniowego

**dr Katarzyna Szlachetko** – adiunkt w Katedrze Prawa Administracyjnego na Wydziale Prawa i Administracji Uniwersytetu Gdańskiego; kierownik Programu Badawczego ‘Good Light Law’ przy Instytucie Metropolitalnym w Gdańsku; radca prawny

**dr inż. Przemysław Tabaka** – adiunkt w Instytucie Elektroenergetyki na Politechnice Łódzkiej; rzeczoznawca Stowarzyszenia Elektryków Polskich w dziale Technika Światlna; członek Prezydium Polskiego Komitetu Oświetleniowego

**dr inż. Małgorzata Zalesińska** – adiunkt w Zakładzie Metrologii, Elektroniki i Techniki Światlnej w Instytucie Elektrotechniki i Elektroniki Przemysłowej na Wydziale Automatyki, Robotyki i Elektrotechniki Politechniki Poznańskiej; wiceprzewodnicząca Prezydium Polskiego Komitetu Oświetleniowego

**dr Krystyna Zużewicz** – doktor nauk medycznych; specjalista w zakresie chronofizjologii

**Bartłomiej Idzikowski** – urbanista; projektant w Miejskiej Pracowni Urbanistycznej w Łodzi

**Dominika Karpińska** – doktorantka w Katedrze Geomatyki i Kartografii na Wydziale Nauk o Ziemi i Gospodarki Przestrzennej na Uniwersytecie Mikołaja Kopernika w Toruniu

**Piotr Nawalkowski** – Prezes Zarządu i koordynator Programu Ciemne Niebo – Polska Stowarzyszenia POLARIS – OPP w Sopotni Wielkiej; redaktor naczelny portalu [www.ciemneniebo.pl](http://www.ciemneniebo.pl); komunikolog i działacz społeczny

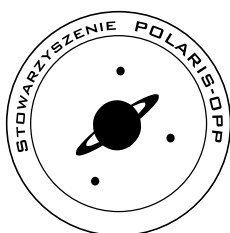
## Wykonawca



### Instytut Metropolitalny

To niezależna i samodzielna organizacja pozarządowa pełniąca funkcje naukowe i eksperckie (think tank). Wspiera działalność organów władzy publicznej, a w szczególności organów jednostek samorządu terytorialnego, a także osób pełniących funkcje publiczne. Specjalizuje się w zagadnieniach takich jak: decentralizacja władzy publicznej, organizacja i funkcjonowanie samorządu terytorialnego, w tym na obszarach metropolitalnych, dekoncentracja wewnętrzna poprzez dzielnice i osiedla, demokracja miejska i metropolitalna, rozwój, planowanie przestrzenne i rewitalizacja. W tak określonym przedmiocie prowadzi badania podstawowe i wdrożeniowe, udziela doradztwa publicznego, organizuje dyskurs naukowy, wydaje publikacje naukowe i eksperckie.

## Patronat

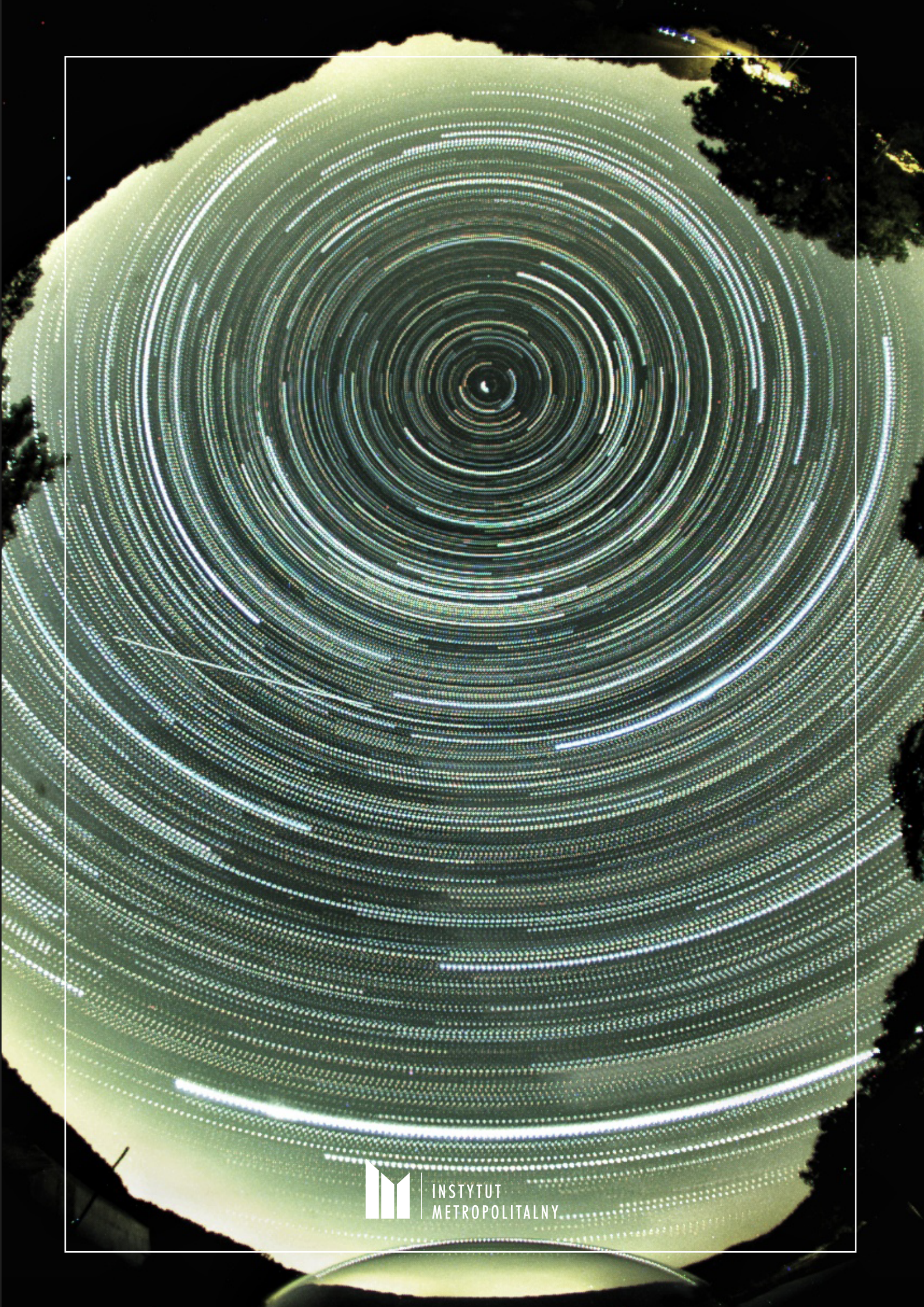


### Stowarzyszenie POLARIS – OPP

To organizacja pożytku publicznego, realizująca cele statutowe w przedmiocie pomocy społecznej oraz nauki i edukacji pozafORMALNEJ. Od 2005 r. jest administratorem Programu Ciemne Niebo – Polska ([www.ciemneniebo.pl](http://www.ciemneniebo.pl)), a także inicjatorem pierwszego w kraju, czynnego obszar redukcji zanieczyszczenia światłem na terenie gminy Jeleśnia (sołectwo Sopotnia Wielka). Realizuje liczne wydarzenia popularyzatorskie, eventy, meetingi tematyczne, zjazdy pasjonatów astronomii czy projekty dotacyjne, wśród których można m.in. wyróżnić przedsięwzięcie pt. Racjonalna polityka oświetleniowa w praktyce, finansowane z Funduszu EOG, we współpracy z Norwegią i Słowenią. Stowarzyszenie od 28 lat wdraża koncepcję tzw. astro-turystyki z udziałem kilku JST oraz podmiotów III sektora. Jest stałym współorganizatorem Ogólnopolskich Konferencji nt. Zanieczyszczenia Światłem w Polsce, wspierając je od 10 lat ze źródeł akcji Astroprocent.pl

**Okładka tylna:**

Gwiazdne łuki nad Obserwatorium Astronomicznym w Białkowie (Uniwersytet Wrocławski). Zdjęcie powstało ze złożenia 132 zdjęć wykonanych w regularnych odstępach w czasie 6,5 godziny. Zdjęcia uzyskano z jednej ze stacji obserwacyjnych sieci ALPS (All-sky Light Pollution Survey, [alps.astro.uni.wroc.pl](http://alps.astro.uni.wroc.pl)). Udostępnione przez dr. Sylwestra Kołomańskiego



INSTYTUT  
METROPOLITALNY