

TOMASZ ŚCIEŻOR

<https://orcid.org/0000-0001-6158-6074>

Politechnika Krakowska

Wydział Inżynierii Środowiska i Energetyki

ul. Warszawska 24, 31-155 Kraków, Polska

tsciezor@pk.edu.pl

Wewnętrzne oświetlenie mieszkań jako źródło zewnętrznego zanieczyszczenia światłem

Indoor Apartment Lighting as a Source of Outdoor Light Pollution

Abstract: This paper presents the results of research on the impact of indoor lighting in apartments in a Kraków housing estate on increased outdoor light pollution. The study aimed to determine the scale of this type of light pollution in relation to street lighting and to identify the potential negative impact of illuminated interiors on the surrounding area. It was found that this lighting contributes negligibly to the increase in the brightness of the night sky glow, practically having no impact on this form of light pollution. However, it often impacts the quality of life of residents by illuminating neighbouring windows, balconies, and terraces. In the case of apartments located on lower floors, their lighting affects the vegetation of nearby trees and shrubs. It should be emphasised that in the vast majority of cases, apartment lighting is turned off before midnight, allowing for a restful sleep, even without curtains, blinds, etc. However, in the evening, brightly lit windows become a trap for nocturnal insects and, indirectly, for birds and bats that prey on them. By creating artificial constellations on the facades of apartment buildings, brightly lit windows disrupt the coordination of migratory and hunting birds at night. It should be noted that even this impact of indoor lighting on the environment can be significantly reduced by covering the windows at night.

Keywords: light pollution; indoor lighting; resident well-being; external emission of indoor lighting

Abstrakt: W pracy przedstawiono wyniki badań dotyczących wpływu wewnętrznego oświetlenia mieszkań na jednym z osiedli krakowskich na wzrost zanieczyszczenia światłem w otoczeniu. Celem badania było określenie skali tego typu zanieczyszczenia światłem w odniesieniu do oświetlenia ulicznego oraz wskazanie potencjalnych negatywnych oddziaływań oświetlanych wewnątrz na otoczenie. Stwierdzono, że oświetlenie to w znikomym sposób przyczynia się do wzrostu jasności łuny świetlnej nocnego nieba, co w praktyce nie wpływa na tę formę zanieczyszczenia światłem. Niejednokrotnie

wpływa ono jednak na komfort życia mieszkańców osiedla, oświetla bowiem sąsiednie okna, balkony i tarasy. W przypadku mieszkań położonych na niższych kondygnacjach ich oświetlenie oddziałuje na roślinność pobliskich drzew i krzewów. Należy podkreślić, że w zdecydowanej większości przypadków oświetlenie mieszkań jest wyłączane przed północą, co pozwala na spokojny sen, nawet przy braku zasłon, rolet itp. Jednakże wieczorem jasno oświetlone okna stają się pułapką dla owadów nocnych, a pośrednio również dla polujących na nie ptaków czy nietoperzy. Tworząc na elewacjach bloków mieszkalnych sztuczne konstelacje, jasno świecące okna powodują zakłócenie koordynacji ptaków migrujących i polujących w nocy. Należy zwrócić uwagę na to, że nawet ten wpływ oświetlenia wewnętrznego na środowisko można znacząco zredukować poprzez zasłanianie okien na noc.

Słowa kluczowe: zanieczyszczenie świetlne; oświetlenie wewnątrz; dobrostan mieszkańców; zewnętrzna emisja oświetlenia wewnątrz

WSTĘP

Zanieczyszczenie świetlne (*light pollution*) jest narastającym problemem i zagrożeniem cywilizacyjnym. Do niedawna niezauważane, ostatnio stało się przedmiotem coraz większej liczby badań i analiz. Spośród kilku rodzajów tego zanieczyszczenia najczęściej podnosi się kwestię rozjaśnienia nocnego, bezchmurnego nieba przez naziemne sztuczne źródła światła (Kyba i in., 2015). Często to rozjaśnienie, określane jako łuna świetlna bądź sztuczna poświata niebieska, jest traktowane jako synonim terminu „zanieczyszczenie świetlne” (Czarnecka i in., 2021). Jest to zapewne związane z faktem uciążliwości tego zjawiska przy obserwacjach astronomicznych. Z kolei biolodzy podnoszą problem rozjaśnienia nieba zachmurzonego przez odbite od chmur światło ze źródeł naziemnych (Kyba i in., 2011). Przywołane tu kategorie zanieczyszczenia świetlnego określa się często jako „smog świetlny” (Posch i in., 2013). Niekiedy podkreśla się również kwestię oślepiania (oślnienia) ludzi i zwierząt przez zbyt jasne światło, oddziałujące wprost na zmysł wzroku (Balafoutis i in., 2025).

W wymienionych wyżej przypadkach jako źródła zanieczyszczenia świetlnego rozpatruje się najczęściej tylko zewnętrzne instalacje oświetleniowe. Niekiedy, w pojedynczych publikacjach, oświetlenie pomieszczeń jest wymienione jedynie jako jedno ze źródeł zanieczyszczenia świetlnego; podawany jest też czasem jego szacowany udział w całości problemu (Al-Ansari i in., 2022; Bará i in., 2019). Ponadto podjęto próbę modelowania tego zjawiska (Bará, 2025; Novak i in., 2025). W niniejszym artykule celem jest udzielenie odpowiedzi na następujące pytanie: Czy – a jeżeli tak, to w jakim stopniu – wewnętrzne oświetlenie pomieszczeń generuje zanieczyszczenie świetlne w ich otoczeniu?

W celu określenia wpływu oświetlenia wewnętrznego pomieszczeń na zanieczyszczenie świetlne należy najpierw zdefiniować ten termin. W literaturze znajduje

się wiele definicji, szczególnie należy zwrócić uwagę na kilka z nich. Pierwsza historycznie definicja tego zjawiska, rozumianego w aspekcie biologicznym, została podana w 1985 r. (Verheijen, 1985). Autor pracy zdefiniował wprowadzony przez siebie termin „fotozanieczyszczenie” jako degradację środowiska naturalnego przez sztuczne oświetlenie. Powołana w 1988 r. przez Davida Crawforda Międzynarodowa Organizacja Ciemnego Nieba (IDA – International Dark Sky Association, obecnie DarkSky International) wprowadziła termin „zanieczyszczenie świetlne” (*light pollution*), określający je jako każdy negatywny wpływ sztucznego oświetlenia, taki jak: oślepienie, emisja światła do otoczenia, grupowanie źródeł światła, obniżona widzialność, łuna świetlna i marnowanie energii (Pérez Vega, 2024). Grupa badawcza kierowana przez Pierantonio Cinzano w 2000 r. określiła zanieczyszczenie świetlne jako zmianę naturalnych poziomów oświetlenia w otoczeniu przez sztuczne źródła światła (Cinzano, 2000). W kolejnych latach opisywane zjawisko było niekiedy ujmowane w prawodawstwie. I tak np. w 2006 r. Ministerstwo Ochrony Środowiska Japonii określiło zanieczyszczenie świetlne jako każdy niekorzystny efekt i zakłócenie środowiska poprzez emisję światła do otoczenia w rezultacie niewłaściwego użycia sztucznego oświetlenia (Ministry of the Environment, Government of Japan, 2006). Należy jeszcze wspomnieć o definicji sformułowanej przez IAC oraz Centrum Światowego Dziedzictwa UNESCO w 2009 r., zgodnie z którą zanieczyszczenie świetlne to wprowadzanie przez człowieka, w sposób bezpośredni lub pośredni, sztucznego oświetlenia do środowiska (Marin, 2011; UNESCO, 2009).

Oświetlenie pomieszczeń, które powoduje, że część światła „ucieka” przez okna w otaczającą przestrzeń, spełnia wszystkie warunki powyższych definicji zanieczyszczenia światłem. Pozostaje jedynie odpowiedzieć na pytania, na ile jest ono istotnym czynnikiem oraz w jaki sposób oddziałuje na środowisko.

Jak już wskazano, z definicji IDA wynika, że zanieczyszczenie światłem dotyczy pięciu głównych zjawisk, którymi są:

- oślepienie (oślnienie) – polega na bezpośrednim oddziaływaniu nieosłoniętych źródeł światła na zmysł wzroku ludzi i zwierząt;
- nadmiar oświetlenia – polega na użyciu do oświetlania okolicy źródeł światła o nadmiernej mocy w stosunku do zapotrzebowania;
- zbędne grupowanie źródeł światła – polega na użyciu do oświetlania okolicy nadmiernej liczby źródeł światła w stosunku do zapotrzebowania;
- emisja światła do otoczenia – polega na oświetlaniu obszaru lub obiektów niebędących celami intencjonalnego oświetlenia;
- łuna świetlna – polega na odbiciu światła pochodzącego ze źródeł naziemnych przez różnego rodzaju aerozole atmosferyczne lub przez chmury.

W związku z tym należy rozważyć, do której z tych kategorii można zaliczyć wewnętrzne oświetlenie pomieszczeń jako źródło zanieczyszczenia świetlnego.

OBSZAR BADAŃ

Jako obszar badań wpływu wewnętrznego oświetlenia pomieszczeń na środowisko wybrano Osiedle Podwawelskie w Krakowie, należące do Dzielnicy VIII „Dębniki”. Osiedle położone jest po zachodniej stronie Wisły, w pobliżu historycznego centrum Krakowa. Jego kształt przypomina prostokąt, ograniczony od wschodu ulicą Konopnicką, od północy ulicami Dworską i Wierzbową, od zachodu ulicą Kapelanka, a od południa doliną Wilgi.

Zespół Osiedla Podwawelskiego powstał w wyniku konkursu architektonicznego rozstrzygniętego w 1965 r. Projekt osiedla „osiedlowo-parkowego” został opracowany przez zespół prof. Witolda Cęckiewicza. Układ urbanistyczny osiedla składa się z 21 długich, czterokondygnacyjnych budynków mieszkalnych z elewacjami zwróconymi na południe, ułożonych w równoległe pasy w czterech rzędach (Cęckiewicz, 2015; Podwawelskie 5.16, 2022). Takie rozmieszczenie budynków – od zachodu na wschód – umożliwia prawidłową wentylację kompleksu, zgodnie z kierunkiem większości wiatrów w Krakowie. Osiedle obejmuje również 16 dziesięciopiętrowych budynków wysokościowych. Zostały one zlokalizowane na terenach trawiastych (Cęckiewicz, 2015) na zachodnich, południowych i wschodnich obrzeżach Osiedla Podwawelskiego. Kompleks uzupełniają liczne pawilony handlowe i usługowe. Przez środek osiedla, na osi północ–południe, przebiega zielony szlak spacerowy, który stanowi jego główny, otwarty teren zielony, zamknięty od południa Kościołem Matki Boskiej Fatimskiej.

Rozwój zespołu urbanistycznego Osiedla Podwawelskiego miał miejsce w latach 1967–1976 (Podwawelskie 5.16, 2022). Zdobyło ono wiele nagród za najlepiej zaprojektowane osiedle mieszkaniowe w Polsce – jest zielone, z odpowiednią cyrkulacją powietrza i dobrą infrastrukturą. W porównaniu z innymi, nowszymi osiedlami w Krakowie znaczny procent powierzchni zajmują tereny zielone: przestrzenie międzyblokowe, place zabaw, boiska sportowe i alejki spacerowe. Powierzchnia Osiedla Podwawelskiego wynosi około 421 000 m² (co stanowi 0,1% powierzchni całego miasta), z czego zieleń zajmuje około 185 000 m², tj. aż 44% analizowanej powierzchni.

W porze nocnej jedynymi oświetlonymi wewnątrz pomieszczeniami na osiedlu są mieszkania w wymienionych wyżej budynkach mieszkalnych. W budynkach czteropiętrowych okna mieszkań znajdują się w ich elewacjach południowych i północnych, przy czym w związku z różną długością tych budynków, a więc też elewacji, liczba okien w każdym z nich jest inna. Przeprowadzona prospekcja wykazała, że na obszarze całego osiedla w budynkach tych znajduje się 7725 okien, będących potencjalnymi drogami ucieczki światła wewnętrznego. W budynkach wysokościowych okna znajdują się na każdej z czterech elewacji. W tym przypadku

na obszarze osiedla stwierdzono 2640 okien. Łącznie na Osiedlu Podwawelskim stwierdzono 10 365 okien. W analizie należy wziąć pod uwagę to, że część z analizowanych okien stanowią okna balkonowe, zagłębione w elewacji bloku, przez co emisja światła z tego rodzaju okien powyżej płaszczyzny horyzontu jest znacząco mniejsza niż z pozostałych okien. W budynkach czteropiętrowych okna balkonowe stanowią około 20% całkowitej liczby okien, a w budynkach wysokościowych jest to około 40%.

MATERIAŁY I METODY

Określenie luminancji oświetlonych okien w budynkach mieszkalnych jest trudne przede wszystkim ze względu na geometrię zagadnienia, związaną z ich lokalizacją na różnych wysokościach nad powierzchnią ziemi. Idealnym rozwiązaniem byłoby wykonanie pomiarów luminancji przy pomocy odpowiedniego miernika, umieszczonego na poziomie ziemi lub zamontowanego na bezzałogowym statku powietrznym (dronie).

Należy przy tym zauważyć, że pomiar luminancji w przypadku świecących okien jest utrudniony. Kąt zbierania miernika (kąt apertury) ma określoną wartość – dla używanego w celach kontrolnych miernika TES-137 wynosi 2° . Oznacza to, że przy standardowej wysokości okna równej około 130–150 cm wypełnia ono pole widzenia miernika przy pomiarach przeprowadzanych w odległości pomiarowej kilkunastu metrów. Przy zwiększaniu odległości zaczyna być mierzona luminancja nie tylko analizowanego okna, lecz także sąsiadującej ściany, a przy dalszym zwiększaniu odległości również sąsiednich okien.

Ponadto w przypadku pomiarów wykonywanych z poziomu ziemi trudno porównywać luminancję coraz wyżej położonych okien w związku z efektem perspektywy – o ile dla okien znajdujących się na poziomie parteru pomiar obejmuje całość strumienia świetlnego z wnętrza mieszkania, o tyle dla wyższych pięter jest to jedynie światło odbite od sufitu, oświetlonej ramy okiennej lub wręcz źródła światła (lampy w mieszkaniu). Wraz ze wzrostem wysokości coraz większemu skróceniu perspektywicznemu ulega również wymiar pionowy okna, co powoduje przy pomiarze luminancji coraz większy udział światła odbitego od sąsiadującej ściany w polu widzenia miernika. Idealnym rozwiązaniem jest dron z zamontowanym miernikiem luminancji. Niezależnie od problemu odczytu danych z tak zamontowanego miernika konieczne jest wtedy zbliżenie się do każdego z oświetlonych okien i wykonanie pomiaru. W analizowanym przypadku istotny był pomiar luminancji kilkudziesięciu okien w tym samym momencie – przy wykorzystaniu drona pomiar dla jednego bloku mógł zająć nawet kilka godzin.

Należy również zauważyć, że lot dronem wewnątrz osiedla w pobliżu ścian bloków wymaga specjalnych uprawnień, a wykonywanie z bliska zdjęć wnętrz mieszkań zdecydowanie narusza prawo do prywatności oraz prawo o ochronie danych osobowych.

W związku z powyższymi uwagami przy pomocy miernika TES-137 wykonano jedynie kontrolne pomiary luminancji kilkunastu okien mieszkań położonych na parterach analizowanych bloków. Wykazały one średnią luminancję okna równą około 2 cd/m^2 .

Celem przeprowadzonych badań była analiza luminancji jak największej liczby oświetlonych okien przy zachowaniu podobnej geometrii pomiarów. Jako jedyną możliwą metodę wykonywania pomiarów luminancji jednocześnie w kilku blokach mieszkalnych wybrano analizę zdjęć cyfrowych wykonanych z wysokości ich środkowych pięter, z odległości przynajmniej około 100 m w celu zminimalizowania efektu perspektywy. W efekcie można założyć, że płaszczyzny wszystkich okien były praktycznie prostopadłe do kierunku wykonywania zdjęcia i w każdym przypadku mierzony był strumień świetlny wydostający się w płaszczyźnie horyzontalnej z wnętrza mieszkań. W tym celu wykorzystano zdjęcia elewacji bloków wykonane z odległości 80–185 m przy pomocy aparatu Canon EOS 6D z obiektywem Canon Ultrasonic 28-135 i zapisane w formacie RAW (ISO 1600, 10 s). Dla każdego zdjęcia wykonano ekwidensytogram. Jak wiadomo, zmierzone jasności pikseli ekwidensytogramu, podane w jednostkach umownych, są proporcjonalne do luminancji (Lau i Krug, 1968). W celu określenia udziału oświetlenia mieszkań w całkowitym oświetleniu osiedla analogicznie wyznaczono luminancje ulicznych opraw oświetleniowych znajdujących się w tych samych odległościach co badane okna. Okna mieszkań oraz uliczne oprawy oświetleniowe nie są obiektami punktowymi, lecz widoczna jest emisja światła z oświetlonych przez źródła światła (żarówki, panele LED) powierzchni wtórnych. W związku z tym konieczny jest pomiar jasności z określonej liczby pikseli na zdjęciach wykonanych w formacie RAW. Tego rodzaju pomiary wykonano przy pomocy programu AstroArt v.9, podającego mierzone wartości w jednostkach ADU (Analog-to-Digital Unit). Jest to podstawowa jednostka w obrazowaniu cyfrowym, reprezentująca jasność lub poziom energii piksela jako cyfrę po przeliczeniu skumulowanego ładunku elektrycznego z fotonów. Można przyjąć, że jest to liczba elektronów przekonwertowana na wartość cyfrową, przy czym wyższe wartości ADU oznaczają jaśniejsze piksele, a ustawienie wzmocnienia aparatu określa, ile elektronów odpowiada jednemu ADU.

Do analizy szczegółowej wykorzystano zdjęcia elewacji czterech bloków mieszkalnych, wykonywane systematycznie w ciągu całego tygodnia co pół godziny, począwszy od godz. 17:00 CET, a skończywszy o godz. 1:00 CET (zob. ryc. 1).

Na zdjęciach widać łącznie 233 okna – przy założeniu, że jako okno rozumiana jest pojedyncza prostokątna kwatera, zarówno w przypadku okien pojedynczych, jak i podwójnych.



Uwaga: literami oznaczono bloki znajdujące się w następujących odległościach od miejsca pomiaru: A – 185 m, B – 120 m, C – 180 m, D – 80 m.

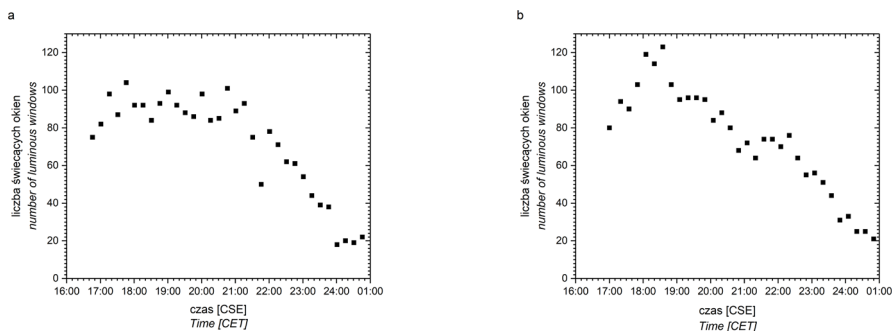
Note: the letters mark the blocks located at the following distances from the measurement site: A – 185 m, B – 120 m, C – 180 m, D – 80 m.

Ryc. 1. Bloki mieszkalne na Osiedlu Podwawelskim w Krakowie, których zdjęcia wykorzystano w analizie (fot. T. Ścieżor, 7.12.2025, 18:05 CET)

Fig. 1. Apartment blocks in the Podwawelskie Housing Estate in Kraków, whose photos were used in the analysis (photo by T. Ścieżor; 7.12.2025, 18:05 CET)

WYNIKI

Analizy zmian czasowych emisji światła z okien bloków mieszkalnych dokonano zarówno w ciągu tygodnia (zob. ryc. 2a), jak i w weekend (zob. ryc. 2b). Stwierdzono, że wieczorem w ciągu tygodnia utrzymuje się stała liczba świecących okien do około godz. 21:15, po czym zaczyna się systematycznie zmniejszać. W weekend (niedziela) widoczne jest wyraźne maksimum około godz. 18:00.



Ryc. 2. Zmiany liczby oświetlonych okien w analizowanych czterech blokach mieszkalnych Osiedla Podwawelskiego w Krakowie w godz. 16:00–1:00 CET w wybranych dniach tygodnia (a – poniedziałek, b – niedziela)

Fig. 2. Changes in the number of lit windows in the four analysed residential blocks of the Podwawelskie Housing Estate in Kraków between 4:00 p.m. and 1:00 a.m. CET on selected days of the week (a – Monday, b – Sunday)

W tych godzinach, w których liczba okien, z których następuje emisja światła, jest największa, emisję tę stwierdzono dla 120 okien (52%). Wśród nich emisja z 42 okien (18%) nie jest zmniejszona przez jakiegokolwiek firany bądź zasłony. Jedynie w około 3% przypadków światło z okien emitowane jest powyżej płaszczyzny horyzontu.

W tab. 1 zebrano wyniki pomiarów całkowitej jasności pikseli (w jednostkach ADU) na powierzchni okien w trzech testowych blokach mieszkalnych (A, B, C) w niedzielę w grudniu 2025 r. o godz. 18:00 CET (zob. ryc. 2b). Nie wykonano pomiarów dla bloku D, gdyż elewacja zachodnia, wykorzystywana przy obliczaniu liczby oświetlonych okien, widoczna jest w silnym skrócie perspektywicznym, co uniemożliwia wykonanie wiarygodnych pomiarów jasności pikseli, porównywalnych do wykonanych dla pozostałych bloków w próbie. W tabeli podano również analogicznie zmierzone luminancje ulicznych opraw oświetleniowych, znajdujących się w tej samej odległości co dany blok mieszkalny.

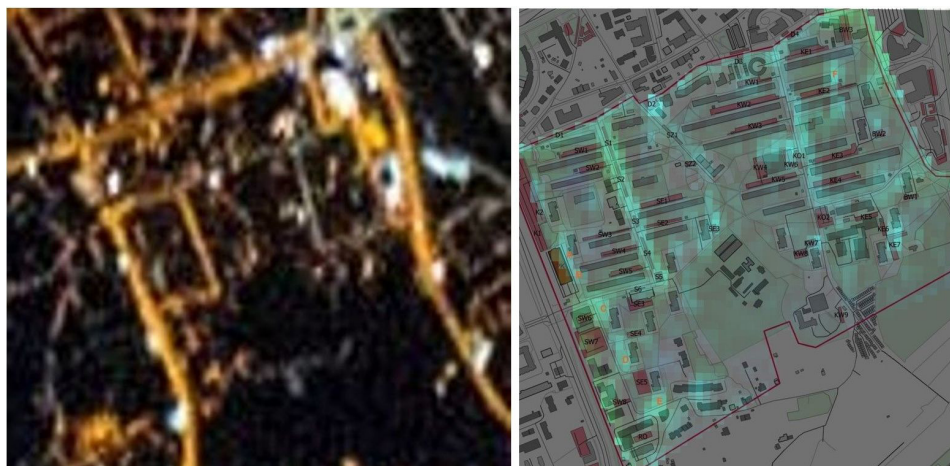
Tab. 1. Zmierzone jasności pikseli z powierzchni okien elewacji południowych w trzech analizowanych blokach mieszkalnych na Osiedlu Podwawelskim w Krakowie oraz z powierzchni równoodległych ulicznych opraw oświetleniowych (opracowanie własne)

Tab. 1. Measured pixel brightnesses from the surfaces of windows on the southern facades in the three analysed apartment blocks in the Podwawelskie Housing Estate in Kraków and from the surfaces of equidistant street luminaires (own elaboration)

Oznaczenie bloku mieszkalnego / Designation of the apartment block	Jasność pikseli z powierzchni okien elewacji południowej bloku (ADU) / Pixel brightness of the windows on the south facade of the building (ADU)	Jasność pikseli z powierzchni równoodległej ulicznej oprawy oświetleniowej (ADU) / Pixel brightness from the surface of an equidistant street luminaires (ADU)
A	2 032 400	128 001
B	4 830 146	115 018
C	1 082 176	103 018

Stwierdzono, że dla bloku o największej liczbie oświetlonych okien (blok B) jasność pikseli w obrazie cyfrowym elewacji jest prawie 50 razy większa od jasności pikseli obrazów cyfrowych równoodległej ulicznej oprawy oświetleniowej. Kontrolne pojedyncze pomiary porównawcze na pozostałym obszarze Osiedla Podwawelskiego wykazały, że można przyjąć, iż tak określona jasność pikseli pojedynczego okna jest zbliżona do jasności pikseli osiedlowej ulicznej oprawy oświetleniowej.

Przeanalizowano również zdjęcie satelitarne Osiedla Podwawelskiego, które pokazuje źródła radiancji z jego obszaru (zob. ryc. 3).



Ryc. 3. Fragment zdjęcia wykonanego z pokładu stacji ISS w 2017 r. (po lewej; Gateway to Astronaut Photography of Earth, <https://eol.jsc.nasa.gov/SearchPhotos/photo.pl?mission=ISS050&roll=E&frame=61063>, dostęp: 16.12.2025) oraz ten sam obraz na tle mapy GIS, przedstawiającej siatkę ulic oraz bloki mieszkalne (po prawej; © autorzy OpenStreetMap)

Fig. 3. Fragment of a photo taken from the ISS in 2017 (left; Gateway to Astronaut Photography of Earth, <https://eol.jsc.nasa.gov/SearchPhotos/photo.pl?mission=ISS050&roll=E&frame=61063>, access: 5.03.2026) and the same image against the background of a GIS map showing the street grid and apartment blocks (right; © OpenStreetMap authors)

DYSKUSJA

Analizie luminancji poddano elewacje czterech bloków mieszkalnych (po jednej z każdego bloku). Łącznie na analizowanych elewacjach zidentyfikowano 233 okna. W godzinach szczytu (około godz. 18:00) emisja światła z wnętrza mieszkań następowała ze 120 okien, co stanowi 52% całości. Dokonano również identyfikacji okien, w których stwierdzono obecność zasłon lub gęstych firan, skutecznie tłumiących światło. W analizowanej próbie jedynie 42 okna (czyli 18%

całości) pozbawione były jakichkolwiek tego typu zabezpieczeń, niewątpliwie generowały więc nadmierne oświetlenie do otoczenia. Jak już wcześniej stwierdzono, na Osiedlu Podwawelskim znajduje się 10 365 okien. Zakładając, że analizowana próba jest reprezentatywna dla całości osiedla, można stwierdzić, że nadmierna emisja światła następuje z około 1900 okien. Maksymalna jasność pikseli w obrazie cyfrowym pojedynczego okna (proporcjonalna do luminancji), zmierzona w tej samej odległości co jasność pikseli w obrazie cyfrowym analizowanych ulicznych opraw oświetleniowych, wyniosła 460 000 ADU, co dla wszystkich niezastłoniętych okien na Osiedlu Podwawelskim daje $8,74 \cdot 10^8$ ADU.

W ramach wcześniej przeprowadzonej analizy stwierdzono, że ulice i trakty piesze na Osiedlu Podwawelskim oświetlane są przez około 240 ulicznych opraw oświetleniowych (Ścieżor, 2022). W zależności od rodzaju ulicznej oprawy oświetleniowej łączna jasność pikseli zdjęcia cyfrowego oprawy, zmierzona z tej samej odległości co analizowanych bloków mieszkalnych, waha się w granicach od 103 000 ADU do 150 000 ADU, co łącznie dla całego osiedla daje wartości od $2,47 \cdot 10^7$ ADU do $3,60 \cdot 10^7$ ADU. Należy pamiętać o tym, że światło wydobywające się z okien ma charakter kierunkowy, podczas gdy uliczna oprawa oświetleniowa oświetla całą przestrzeń wokół (na Osiedlu Podwawelskim dominują kuliste uliczne oprawy oświetleniowe). Oznacza to, że w rzeczywistości łączna luminancja ulicznych opraw oświetleniowych na osiedlu jest kilkakrotnie wyższa od szacowanej powyżej.

Porównując wartości luminancji okien z luminancją ulicznych opraw oświetleniowych (pamiętając jednak o ich przybliżonym charakterze), można stwierdzić, że łączna jasność pikseli na zdjęciach cyfrowych okien (a więc także luminancja) na analizowanym obszarze jest przynajmniej 24 razy wyższa od łącznej luminancji ulicznych opraw oświetleniowych (przy założeniu kierunkowej emisji światła z oprawy). Po uwzględnieniu różnic w rozkładzie luminancji między ulicznymi oprawami oświetleniowymi a świecącymi oknami można oszacować, że i tak oświetlone okna mieszkań mają łącznie jasność zbliżoną (lub nawet większą) do łącznej jasności ulicznych opraw oświetleniowych. Są to oczywiście jedynie oszacowania, dokładne porównanie byłoby bowiem bardzo trudne lub wręcz niemożliwe.

Należy odpowiedzieć na pytanie, czy emisja ta stanowi zagrożenie środowiskowe jako źródło zanieczyszczenia światłem. Zważywszy na to, że zgodnie z podanymi wcześniej definicjami zanieczyszczenie świetlne to każde wprowadzenie sztucznego światła do środowiska, odpowiedź musi być twierdząca.

W takim razie należy odpowiedzieć na kolejne pytanie: Do której z wcześniej wymienionych kategorii zanieczyszczenia świetlnego można zaklasyfikować emisję światła z okien?

1. Oślepienie (oślnienie)

O ile w przypadku ludzi jasno świecące okno w bloku naprzeciwko nie wpływa oślepiająco na zmysł wzroku, o tyle u zwierząt efekt ten występuje. Można go zauważyć w przypadku owadów, które jasno oświetlone okno traktują jako naturalne źródło światła w nocy, czyli Księżyc. Zbliżając się do niego, w przypadku otwartego okna wlatują do mieszkań, gdzie najczęściej giną. W pewnym sensie obrazowym modelem tego zjawiska może być zaobserwowane zachowanie inteligentnego automatycznego teleskopu cyfrowego typu Seestar. Teleskop ten, szukając Księżyca na niebie, w przypadku „znalezienia” jasno oświetlonego okna zatrzymuje się, ponieważ traktuje je właśnie jako swój cel.

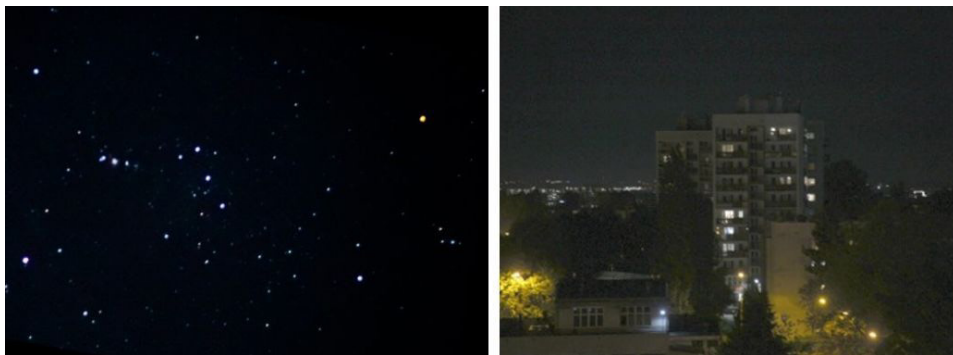
Efekt oślepiania owadów latających został odnotowany w literaturze (Owens i in., 2020) i należy go uznać za jeden z najistotniejszych negatywnych efektów jasno świecących okien. Zważywszy na liczbę 1900 niezasłoniętych okien na Osiedlu Podwawelskim, stanowi to poważny problem ekologiczny, zwłaszcza że sąsiaduje ono z obszarami cennymi przyrodniczo (Park Rieczny Dolina Wilgi, Park Zakrzówek). Należy też pamiętać, że owady nocne stanowią pożywienie zarówno dla ptaków nocnych, jak i dla nietoperzy, więc opisany efekt wpływa również na te grupy zwierząt.

2. Nadmiar oświetlenia

W analizowanym przypadku kategoria ta dotyczy okien niezasłoniętych firankami lub zasłonami. W efekcie takie okno zdecydowanie wyróżnia się na tle nieoświetlonej ściany bloku, przyczyniając się do oślepiania zwierząt.

3. Zbędne grupowanie źródeł światła

Oczywiście oświetlenie wewnątrz mieszkalnych nie jest zbędne, ale nie zawsze jest ono wyłączane w pomieszczeniach w danym momencie nieużywanych. Grupy jasno świecących okien na ciemnym tle elewacji bloków tworzą sztuczne „konstelacje gwiazd”, które powodują dezorientację ptaków migrujących nocą. Ptaki te często kierują się zgodnie z zapamiętanymi układami gwiazd. Takie „fałszywe gwiazdozbiory” (zob. ryc. 4) prowadzą do tego, że ptaki zmieniają swoje stałe trasy i często giną na skutek zderzenia z jasno świecącymi oknami (Lao i in., 2020) lub poprzez znalezienie się w niekorzystnym dla siebie środowisku (Hirschhofer i in., 2026).



Ryc. 4. Prawdziwe (gwiazdozbiór Oriona, po lewej) i sztuczne (Osiedle Podwawelskie w Krakowie, po prawej) konstelacje

Fig. 4. Real (Orion constellation, left) and artificial (Podwawelskie Housing Estate in Kraków, right) constellations

4. Emisja światła do otoczenia

Ta kategoria zanieczyszczenia świetlnego w pewnym stopniu wpływa na komfort życia sąsiadów. Nieosłonięte zasłonami okna oświetlają naprzeciwległe mieszkania w przypadku sąsiadujących ze sobą bloków, co zaobserwowano w południowej części Osiedla Podwawelskiego. Większe znaczenie ma jednak oświetlanie pobliskich drzew i krzewów przez światło wydobywające się z okien mieszkań znajdujących się na niższych kondygnacjach bloków mieszkalnych. W efekcie zaburzona zostaje vegetacja tych roślin, które w okresie jesieni opóźniają porę zrzućcia liści przed zimą (Czaja i Kołton, 2022). Ponadto rośliny te są bardziej podatne m.in. na uszkodzenia związane z mrozami w zimie.

5. Luna świetlna

Efekt łuny świetlnej, określanej również jako „sztuczna poświata niebieska”, jest często utożsamiany z zanieczyszczeniem świetlnym. Wiąże się to głównie z największym zasięgiem tej kategorii zanieczyszczenia światłem, powodującym oświetlenie nawet obszarów odległych od miejscowości będących jego źródłem. Jak wykazano wcześniej (Ścieżor, 2021), w miastach głównym źródłem światła rozpraszanego na aerozolu atmosferycznym czy odbijanego od chmur jest oświetlenie uliczne. Ilość światła wydobywającego się z okien mieszkań na Osiedlu Podwawelskim znacząco przekracza ilość światła generowanego przez uliczne oprawy oświetleniowe. W przypadku okien emisja światła następuje najwyżej w płaszczyźnie horyzontu, przez co w znikomym stopniu, trudnym jednak do oceny, rozprasza się ono w kierunkach zarówno powyżej, jak i poniżej tej płaszczyzny. Oznacza to, że

emisja światła z okien nie jest znaczącym czynnikiem generującym łunę świetlną. Dowodem na to są również zdjęcia satelitarne analizowanego osiedla (zob. ryc. 3), na których widoczna jest radiancja pochodząca jedynie z oświetlenia ulicznego, zarówno bezpośrednio z ulicznych opraw oświetleniowych, jak i – a nawet przede wszystkim – z odbicia ich światła od nawierzchni ulic. W przypadku wystąpienia mgły efekt rozpraszania światła jest istotniejszy, ale w związku z efektem tłumienia jest on lokalny i nie wpływa na dalsze otoczenie.

WNIOSKI

Przedstawiona analiza ma charakter przybliżony, w pewnym stopniu jakościowy, co wynika m.in. ze specyfiki zagadnienia. Przede wszystkim należy stwierdzić, że wpływ oświetlenia mieszkań na jasność łuny świetlnej miasta jest znikomy. Jest to spowodowane przede wszystkim kierunkowością tego rodzaju oświetlenia. Wydobywające się z wnętrza mieszkań światło jest ukierunkowane poziomo, co wynika z najczęstszego usytuowania jego źródeł w głębi pomieszczeń. Ponadto kierunek ten wymuszają osadzone w elewacji wnęki okienne oraz balkonowe. W efekcie światło to nie jest emitowane ani w kierunku zenitu, ani w kierunku podłoża.

Niewątpliwie jednak tego rodzaju oświetlenie ma wpływ ekologiczny, oddziałuje bowiem na zmysł wzroku nocnych zwierząt latających, takich jak owady, nietoperze czy ptaki. Można tu mówić o osłepianiu i wabieniu tych organizmów, w szczególności owadów, co może prowadzić nawet do ich śmierci. Szczególnie istotne wydaje się oddziaływanie jasnych okien na dezorientację owadów, które myślą tego typu obiekty z Księżycem, a także ptaków wędrujących nocą, dla których świecące okna osiedli mieszkaniowych tworzą sztuczne konstelacje.

Nieosłonięte oświetlone wnętrza mieszkań mają też niewątpliwie, potencjalnie negatywne, oddziaływanie na ludzi – mieszkańców sąsiednich bloków na osiedlu. Mogą nie tylko powodować odczuwalny dyskomfort, lecz także mieć nieuswiadomiony wpływ na ich zdrowie i dobrostan, w tym na obniżenie jakości snu oraz zdolności regeneracyjnych organizmu. Biorąc pod uwagę rosnący trend w kierunku zagęszczania tkanki budownictwa mieszkaniowego i coraz większą liczbę budynków wysokościowych (również oszklonych biurowców, których wnętrza są często oświetlone poza godzinami pracy), zjawisko to może mieć coraz większy wpływ na jakość życia w mieście.

Należy jednak zauważyć, że po godz. 21:00 oświetlenie wewnętrzne mieszkań jest systematycznie wyłączane i o północy są to już jedynie pojedyncze przypadki. Oznacza to, że negatywny efekt tego typu oświetlenia na otoczenie występuje głównie w okresie zimowym, w czasie długich wieczorów.

Na podstawie przeprowadzonej analizy można stwierdzić, że oświetlenie wewnątrz mieszkalnych ma minimalny wpływ na zanieczyszczenie świetlne generowane przez miasto. Należy przy tym zauważyć, że nawet ten niewielki wpływ można zredukować, zasłaniając wieczorem okna w mieszkaniu.

Badania luminancji okien będą kontynuowane. W szczególności zostaną wykonane pomiary weryfikacyjne tej wielkości, z tego samego punktu co w prezentowanej pracy, przy pomocy miernika luminancji z założonym odpowiednim obiektywem.

BIBLIOGRAFIA

- Al-Ansari, R., Alawad, A., Hareri, R. (2022). An Exploratory Study on the Effect of Indoor Lighting for Buildings on Light Pollution. *Art and Design Review*, 10(1), 120–135. DOI: <https://doi.org/10.4236/adr.2022.101009>
- Balafoutis, T., Skandali, C., Niavis, S., Doulos, L.T., Zerefos, S.C. (2025). Light Pollution Beyond the Visible: Insights from People's Perspectives. *Urban Science*, 9, 251. DOI: <https://doi.org/10.3390/urbansci9070251>
- Bará, S. (2025). *Light Pollution from Windows in Buildings*. Preprints da Corredoira. DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.15870020>
- Bará, S., Rodríguez-Arós, Á., Pérez, M., Tosar, B., Lima, R.C., Sánchez de Miguel, A., Zamorano, J. (2019). Estimating the Relative Contribution of Streetlights, Vehicles, and Residential Lighting to the Urban Night Sky Brightness. *Lighting Research & Technology*, 51(7), 1092–1107. DOI: <https://doi.org/10.1177/1477153518808337>
- Cęckiewicz, W. (2015). *Rozmowy o architekturze*. T. 1. Instytut Architektury.
- Cinzano, P. (2000). Modelling Light Pollution from Searchlights. *Memorie della Società Astronomica Italiana*, 71, 239–248.
- Czaja, M., Kolton, A. (2022). How Light Pollution Can Affect Spring Development of Urban Trees and Shrubs. *Urban Forestry & Urban Greening*, 77, 127753. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2022.127753>
- Czarnecka, K., Błażejczyk, K., Morita, T. (2021). Characteristics of Light Pollution: A Case Study. *Environmental Pollution*, 285, 118113. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2021.118113>
- Hirschhofer, S., Ranacher, P., Weibel, R., Helm, B., Čiković, D., Barišić, S., Taylor, L., Bjelić, M., Laušić, B., Schmid, B. (2026). When Nocturnally Migrating Birds Encounter Low-Level Light Pollution Patches: A Case Study from the Croatian Coast. *Biological Conservation*, 313, 111620. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2025.111620>
- Kyba, C.C., Ruhtz, T., Fischer, J., Hölker, F. (2011). Cloud Coverage Acts as an Amplifier for Ecological Light Pollution in Urban Ecosystems. *PLOS One*, 6(3), e17307. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0017307>
- Kyba, C.C.M., Tong, K.P., Bennie, J., Birriel, I., Birriel, J., Cool, A., Danielsen, A., Davies, T.W., Lugt, P. van der, Edwards, W., Ehlert, R., Falchi, F., Giacomelli, A., Giubbilini, F., Haaima, M., Hesse, C., Heygster, G., Hölker, F., Gaston, K.J. (2015). Worldwide Variations in Artificial Skyglow. *Scientific Reports*, 5, 12180. DOI: <https://doi.org/10.1038/srep12180>
- Lao, S., Robertson, B.A., Anderson, A.W., Blair, R.B., Eckles, J.W., Turner, R.J., Loss, S.R. (2020). The Influence of Artificial Light at Night and Polarized Light on Bird-Building Collisions. *Biological Conservation*, 241, 108358. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2019.108358>
- Lau, E., Krug, W. (1968). *Equidensitometry*. Focal Press.

- Marin, C. (2011). Starlight: A Common Heritage. W: *Proceedings of the International Astronomical Union*. Vol. 5. *Symposium S260: The Role of Astronomy in Society and Culture* (s. 449–456). Cambridge University Press. DOI: <https://doi.org/10.1017/S1743921311002663>
- Ministry of the Environment, Government of Japan (2006). *Guidelines for Countermeasures against Light Pollution*. Online <https://www.env.go.jp/en/headline/310.html> (dostęp: 16.12.2025).
- Novak, T., Valicek, P., Gasparovsky, D., Raditschova, J., Brzobohaty, A. (2025). Large Residential Area Light Pollution Modelling. W: *Proceedings of the CIE 2025 Midterm Meeting* (s. 796–805). DOI: <https://doi.org/10.25039/x051.2025/kc7797>
- Owens, A.C.S., Cochard, P., Durrant, J., Farnworth, B., Perkin, E.K., Seymoure, B. (2020). Light Pollution Is a Driver of Insect Declines. *Biological Conservation*, 241, 108259. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2019.108259>
- Pérez Vega, C. (2024). *The Environmental Impact of Artificial Lighting in Urban Settings: Gaps, Challenges, and Sustainable Lighting Design*. Doctoral dissertation. Freie Universität Berlin. DOI: <https://doi.org/10.17169/refubium-43485>
- Podwawelskie 5.16 (2022). W: *Szlakami dziedzictwa. Krakowskie osiedla modernizmu lat 1945–1990. Wybrane przykłady*. Online: <http://www.sarp.krakow.pl/sd/om/016/index.html> (dostęp: 16.12.2025).
- Posch, T., Hölker, F., Uhlmann, T., Freyhoff, A. (2013). *Das Ende der Nacht: Lichtsmog: Gefahren – Perspektiven – Lösungen*. Wiley.
- Ścieżor, T. (2021). Effect of Street Lighting on the Urban and Rural Night-Time Radiance and the Brightness of the Night Sky. *Remote Sensing*, 13(9), 1654. DOI: <https://doi.org/10.3390/rs13091654>
- Ścieżor, T. (2022). Lighting of Pedestrian and Pedestrian-Driving Routes in a Housing Estate as a Source of Light Pollution. *Technical Transactions*, (12), 1–17. DOI: <https://doi.org/10.37705/TechTrans/e2022012>
- UNESCO (2009). *International Workshop and Expert Meeting on Starlight Reserves and World Heritage (Fuerteventura, Spain, 16 March 2009)*. Online: <https://whc.unesco.org/en/news/507> (dostęp: 16.12.2025).
- Verheijen, F.J. (1985). Photopollution: Artificial Light Optic Spatial Control Systems Fail to Cope with. Incidents, Causation, Remedies. *Experimental Biology*, 44(1), 1–18.

PUBLICATION INFO		
SUBMITTED: 2025.12.16	ACCEPTED: 2026.03.02	PUBLISHED ONLINE: 2026.04.08