

Modernizacja instalacji oświetleniowej osiedla mieszkaniowego – analiza przypadku

Modernisation of the lighting installation of a housing estate – case study

TOMASZ ŚCIEŻOR

DOI 10.36119/15.2024.7-8.7

Prawidłowe oświetlenie miejsca zamieszkania w nocy, a zwłaszcza w zimowe wieczory, jest niezwykle ważne zarówno pod kątem zapewnienia bezpieczeństwa, jak również komfortu wypoczynku nocnego. Niestety, budowane kilkadziesiąt lat temu osiedla mieszkaniowe oświetlane są przez archaiczne, często w dużym stopniu zaniedbane, oprawy oświetleniowe współpracujące z lampami HPS, zwykle również nieprawidłowo zamontowane. Oświetlenie to jest najczęściej niewystarczające, jednocześnie generując różne formy zanieczyszczenia świetlnego. Obecnie w Krakowie systematycznie w osiedlowych instalacjach oświetleniowych montowane są nowoczesne oprawy oświetleniowe wykonane w technologii LED. Niejednokrotnie w mediach podnoszony jest zarzut, że to właśnie to nowe oświetlenie nie jest wystarczające, a wręcz gorsze od poprzedniego. W sierpniu 2023 r. została zmodernizowana cała instalacja oświetleniowa Osiedla Żywieckiego w Krakowie, co pozwoliło na weryfikację tych zarzutów. Porównanie wartości natężenia oświetlenia oraz rozkładu luminancji w różnych częściach tego osiedla przed i po wspomnianej modernizacji pozwoliło stwierdzić, że w chwili obecnej oświetlenie jego przestrzeni jest prawidłowe, zapewniając komfort mieszkańcom, spełniając jednocześnie wymogi polskich norm oświetleniowych.

Słowa kluczowe: zanieczyszczenie świetlne, oświetlenie ulic i chodników, natężenie oświetlenia, lampy, oprawy oświetleniowe, bezpieczeństwo

Proper lighting of the place of residence at night, especially on winter evenings, is extremely important both in terms of ensuring safety and comfort of sleep at night. Unfortunately, housing estates built several dozen years ago are lit by archaic, usually largely neglected, HPS type luminaires, usually incorrectly installed. This lighting is most often insufficient, while generating various forms of light pollution. Currently, in Kraków, modern LED luminaires are systematically installed in housing estate lighting installations. The accusation is often raised in the media that the new lighting is not sufficient and is even worse than the previous one. In August 2023, the entire lighting installation of the Żywieckie Housing Estate in Kraków was modernised, which allowed these allegations to be verified. Comparison of the illuminance values and luminance distribution in various parts of this estate before and after the above-mentioned modernisation allowed us to conclude that currently the lighting of its space is correct, ensuring the comfort of residents, while meeting the requirements of Polish lighting standards.

Keywords: light pollution, street and sidewalk lighting, illuminance, luminance, lamps, lighting fixtures, safety

Wprowadzenie

Problematyka zanieczyszczenia świetlnego, jak też prawidłowego oświetlenia różnego rodzaju przestrzeni publicznych, takich jak kompleksy biurowe czy parkingi, była już kilkakrotnie poruszana na łamach czasopisma Instal [1, 2, 3], jak również wielu publikacji krajowych [4, 5, 6] i zagranicznych [7, 8, 9]. Jednak nie było jak dotąd opracowania opisującego całość oświetlenia przestrzeni osiedli mieszkaniowych. Brakowało zwłaszcza porównania obecnie montowanych nowoczesnych instalacji oświetleniowych ze, spotykanymi jeszcze często, instalacjami montowanymi w drugiej połowie XX w. Opublikowana była jedynie analiza istniejącego oświetle-

nia traktów pieszych i pieszo-jezdnych na obszarze osiedla mieszkaniowego [10].

Prawidłowe oświetlenie przestrzeni publicznych osiedli mieszkaniowych jest niezwykle istotne, zarówno ze względu na zapewnienie bezpieczeństwa ich mieszkańcom podczas wieczornych powrotów do domów czy nocnych spacerów, jak również możliwości efektywnego wieczornego i nocnego relaksu we własnych mieszkaniach. Niestety, wiele osiedli mieszkaniowych zbudowanych w okresie powojennym oświetlanych jest przez archaiczne i często zaniedbane instalacje oświetleniowe. O sposobie montażu, typie i usytuowaniu opraw oświetleniowych decydowały przede wszystkim względy architektoniczne, nie liczące się z zasadami prawidłowe-

go oświetlenia. W efekcie zarówno ulice, jak też trakty piesze pozostawały niedoświetlone, natomiast często światło lamp wpadało przez okna do wnętrza mieszkań znajdujących się na parterze, a nawet na wyższych piętrach budynków. Ponadto, po kilkadziesiąt lat użytkowania zamontowane wtedy oprawy oświetleniowe są już obecnie silnie zdegradowane, nie spełniając zupełnie założonej funkcji oświetleniowej. Od kilku lat na obszarze Krakowa systematycznie dokonywana jest wymiana tych właśnie przestarzałych i zdegradowanych opraw oświetleniowych współpracujących z lampami wyladowczymi (najczęściej z wysokoprężnymi lampami sodowymi – HPS), na nowoczesne oprawy oświetleniowe wykonane w technologii LED.

dr hab. Tomasz Ścieżor prof. PK, <https://orcid.org/0000-0001-6158-6074> – Wydział Inżynierii Środowiska i Energetyki Politechnika Krakowska, Kraków. Autor do korespondencji/ Corresponding author: tsciezor@pk.edu.pl

Głównym argumentem przemawiającym za wymianą opraw oświetleniowych jest kwestia oszczędnościowa, gdyż instalacje LED mają znacznie wyższą skuteczność świetlną, która jest miarą energooszczędności, przez co cechują się znacząco mniejszymi kosztami użytkowania niż, stosowane poprzednio, instalacje HPS. W przestrzeni publicznej pojawiają się jednak co jakiś czas wątpliwości, czy oprawy oświetleniowe LED są rzeczywiście lepsze od dotychczas stosowanych, czy oprócz korzyści energetycznych zapewniają właściwe oświetlenie ulic i chodników? Niekiedy wręcz pojawiają się stwierdzenia o pogorszeniu jakości ich oświetlenia po zastosowaniu opraw oświetleniowych LED [11]. Okazją do weryfikacji tych uwag stała się wymiana instalacji oświetleniowej, opartej w całości na oprawach oświetleniowych współpracujących z lampami HPS, na oprawy oświetleniowe wykonane w technologii LED, na całym, zwanym obszarze Osiedla Żywieckiego w Krakowie, dokonana w sierpniu 2023 r. Dzięki uprzejmości Zarządu Dróg Miasta Krakowa, Pracownia Monitoringu Zanieczyszczenia Świetlnego, działająca przy Politechnice Krakowskiej, otrzymała wcześniej informację o planowanej modernizacji oświetlenia. Umożliwiło to wykonanie odpowiednich pomiarów i analiz w kwietniu 2023 r., jeszcze przed wspomnianą wymianą, jak też w marcu 2024 r., już po dokonanej modernizacji, co pozwoliło na jakościową i ilościową ocenę efektów tych zmian. Analiza wyników przeprowadzonych badań jest przedmiotem niniejszej pracy.

Podstawy normatywne oświetlenia ulic i chodników

Analizując oświetlenie osiedli mieszkaniowych należy wziąć pod uwagę następujące przestrzenie:

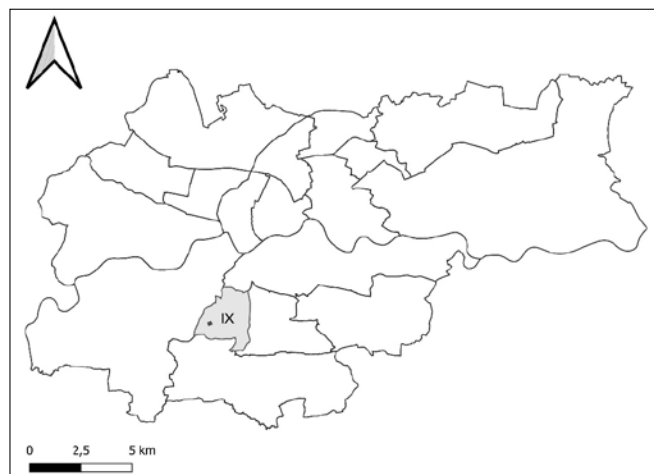
- ulice gminne, przecinające osiedle lub przechodzące przy jego krawędzi, wraz ze związanymi z nimi chodnikami;
- ulice wewnątrzosiedlowe;
- chodniki wewnątrzosiedlowe;
- elewacje budynków, w szczególności okna mieszkańców.

Sytuację każdej z wymienionych przestrzeni normują odpowiednie wytyczne normy oświetleniowej. Na terenie osiedli znajdują się zarówno drogi o niskim natężeniu ruchu, jak też trakty piesze (chodniki) i ścieżki rowerowe. Dobierając oświetlenie dla takich obszarów, należy odnieść się do zaleceń normy PN-EN 13201:2016, dotyczącej oświetlenia dróg [12, 13]. Zgodnie z tą normą, ulice wewnątrzosiedlowe nale-

żą do klasy oświetleniowej P, dotyczącej dróg i stref dla ruchu z niską prędkością. Zalicza się tu drogi piesze i rowerowe, chodniki i ścieżki rowerowe, uliczki osiedlowe, obszary niezależne od jezdni. Wymagania im stawiane ograniczają się jedynie do poziomu średniego i minimalnego natężenia oświetlenia. Do oświetlenia dróg osiedlowych i chodników, zazwyczaj należących do klasy oświetleniowej P4 lub P5, mogą być wykorzystywane prawidłowo skonstruowane i właściwie zamontowane uliczne oprawy oświetleniowe małej mocy, które przy zachowaniu odpowiedniej wzajemnej odległości słupów o wysokości 3-4 m bardzo dobrze oświetlają powierzchnię chodników czy uliczek osiedlowych, zapewniając spełnienie wymagań wspomnianej normy [14]. Na podstawie posiadanych danych (prędkość poruszania się pojazdów, natężenie ruchu, rodzaj ruchu), dla ulic wewnątrzosiedlowych Osiedla Żywieckiego przyjęto klasę oświetleniową P4. Przy tej klasie oświetleniowej wymagane przez normę średnie natężenie oświetlenia powierzchni jezdni nie może być mniejsze niż 5 lx, natomiast wartość natężenia oświetlenia w żadnym z punktów na siatce pomiarowej nie może być mniejsza niż 1 lx.

Chodnikom, znajdującym się na badanym osiedlu, przypisano klasę oświetleniową P6, w przypadku której PN-EN 13201:2016 przewiduje średnie natężenie oświetlenia powierzchni gruntu równe 2 lx (przy minimalnej wartości natężenia oświetlenia w każdym punkcie siatki pomiarowej równej 0,6 lx).

Rys. 1. Obszar Krakowa z podziałem na dzielnice, z zaznaczoną dzielnicą IX Łagiewniki-Borek Fałęcki (szare tło) i obszarem badań (czarny punkt) Fig. 1. The area of Kraków divided into districts, with district IX Łagiewniki-Borek Fałęcki (gray background) and the research area (black dot) marked



Dojazd do Osiedla Żywieckiego zapewnia, biegnąca jego północnym skrajem, ul. Żywiecka, przecięta w kilku miejscach przejściami dla pieszych (bez sygnalizacji świetlnej) prowadzącymi do położonych po drugiej stronie jezdni leśnych parkingów. Dodatkowo, od ulicy tej odchodzą wspomniane wcześniej ulice wewnątrzosiedlowe: ul. Kępna i ul. Taminowa. Należy

w związku z tym uznać, że ul. Żywiecka mieści się w strefie konfliktowej, odpowiadającej sytuacji, kiedy strumienie pojazdów krzyżują się lub gdy przebiegają przez obszar uczęszczany przez: pieszych, rowerzystów lub innych użytkowników drogi [15]. Ich istnienie w efekcie stanowi potencjalne zagrożenie wystąpienia kolizji pomiędzy pojazdami, pojazdami i pieszymi, rowerzystami lub stałymi przeszkodami. Dla tego rodzaju ulic zastosowanie mają klasy oświetleniowe C. Dla ul. Żywieckiej przyjęto klasę oświetleniową C4. W tym przypadku zalecane przez normę eksploatacyjne minimalne natężenie oświetlenia powierzchni jezdni wynosi 10 lx [15].

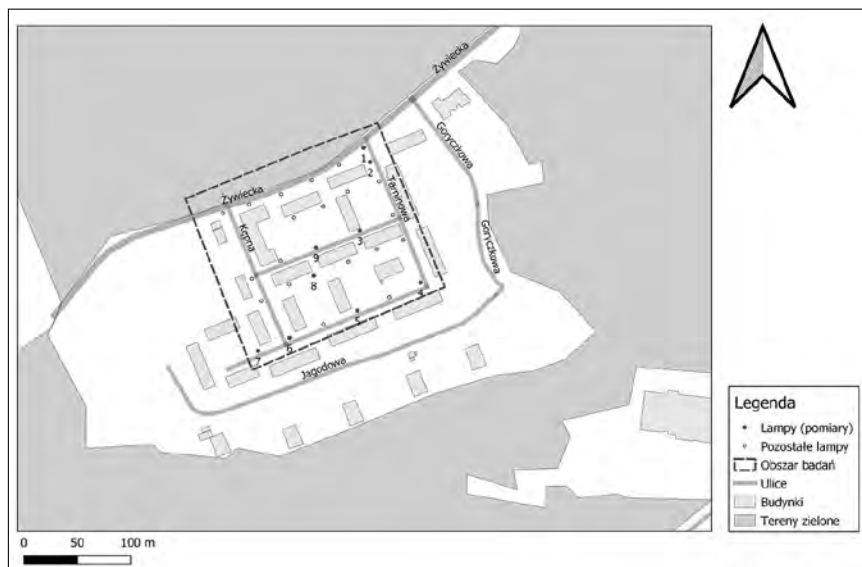
Należy też pamiętać, że oświetlenie ulic nie powinno być uciążliwe dla otoczenia, czyli nie może stanowić źródła zanieczyszczenia świetlnego. W szczególności, nie powinno oświetlać terenów przyległych, zwłaszcza okien pobliskich budynków, nie powinno też oslepać kierowców i przechodniów. Niewłaściwie dobrana oprawa oświetleniowa, ze względu na sposób dystrybucji światła i/lub jej montaż, może też wносить wkład do łuny świetlnej nocnego nieba, generowanej przez miasto [16, 17, 18, 19].

Obszar badań

Przedmiotem analizy jest instalacja oświetleniowa Osiedla Żywieckiego¹ w Krakowie, wchodzącego w skład Dzielnicy IX Łagiewniki-Borek Fałęcki (Rys.1). Osiedle ma charakter izolowany, ograni-

czony jest od południa, zachodu i północy przez kompleksy leśne Lasu Borkowskiego, od wschodu przez Park Solvay. Badaniami objęto obszar o kształcie kwadratu ograniczony ulicami: Tarninową od wschodu i południa, Kępną od zachodu oraz Żywiecką od północy (Rys.2).

¹ Osiedle na niektórych mapach jest oznaczone jako Osiedle Borek Fałęcki.



Rys. 2. Plan Osiedla Żywieckiego z zaznaczonym obszarem badań. Pokazane są wszystkie zamontowane uliczne oprawy oświetleniowe. Numerami wyróżniono oprawy oświetleniowe, przy których wykonywano pomiary
Fig. 2. Map of the Żywieckie Housing Estate with the research area marked. All installed street luminaires are shown. Numbers indicate the luminaires at which measurements were taken

Zespół Osiedla Żywieckiego powstał w latach 1949-1955 wg projektu Mikołaja Soroki i Stanisława Hagera [20]. Położony jest wśród zieleni, na styku z Lasem Borkowskim. Jest on kompozycją zwartych kwartałów utworzonych z wolnostojących budynków, z dominacją układu równoległego do ulicy głównej, którą jest ul. Żywiecka. Osiedle tworzy zabudowa niska, trzykondygnacyjne budynki tworzą obudowę zewnętrzną, wewnątrz usytuowano bloki dwukondygnacyjne domykające wnętrza urbanistyczne. Całość przestrzennego układu umieszczono w zieleni niskiej i wysokiej, nawiązując do modernistycznych osiedli mieszkaniowych w ogrodzie, o niskiej intensywności zabudowy.

Powierzchnia badanego obszaru wynosi ok. 36 tys. m². Na załączonej mapie zaznaczono wszystkie ulice i budynki, jak również oprawy oświetleniowe, przy których ulokowano punkty pomiarowe (Rys.2). Łącznie na Osiedlu Żywieckim zidentyfikowano 28 opraw oświetleniowych, spośród których 6 zainstalowano na słupach o wysokości 6 m, rozmieszczonych co 24 m wzdłuż ul. Żywieckiej. Pozostałe oprawy oświetleniowe, oświetlające zarówno ulice wewnątrzosiedlowe (ul. Tarninowa, ul. Kępna), jak również trakty piesze pomiędzy blokami mieszkalnymi, są zamontowane na nieregularnie rozmieszczonych słupach o wysokości 3,5 m.

W ramach prezentowanych badań przeanalizowano zmiany oświetlenia ulic i chodników położonych w obrębie Osiedla Żywieckiego po wymianie opraw oświetleniowych, która nastąpiła w sierpniu 2023 r.

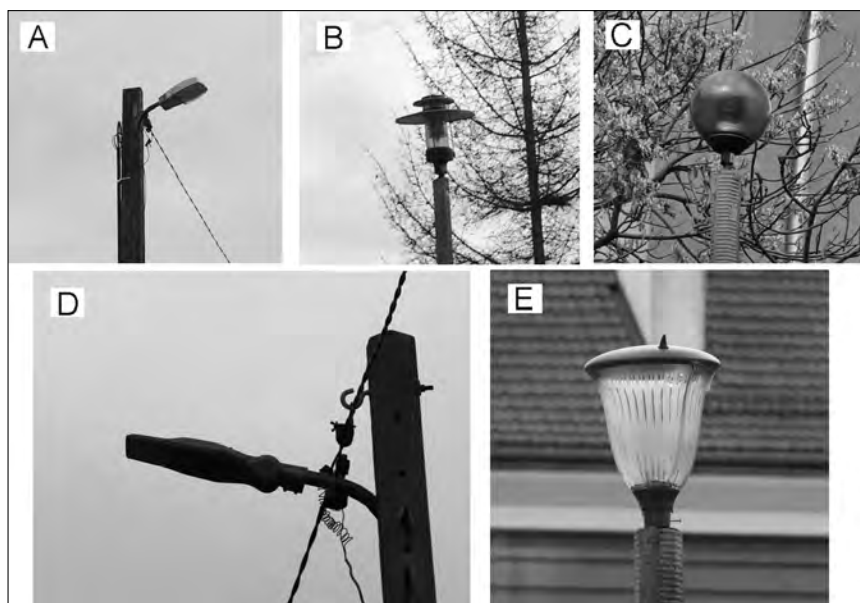
Oświetlenie uliczne na Osiedlu Żywieckim

Przed wymianą oświetlenia, do sierpnia 2023 r., na Osiedlu Żywieckim we wszystkich oprawach oświetleniowych zamontowane były wysokoprężne lampy sodowe (HPS). Na ul. Żywieckiej były to oprawy oświetleniowe typu ES-SYSTEM WSL-8 (ESS) (Rys. 3A), na ul. Tarninowej i Kępnej typu Elgo Park New (EPN) (Rys. 3B), natomiast na pozostałych, w tym

w przestrzeniach między blokami mieszkalnymi, typu Elektrim OCP-70 (OCP) (Rys. 3C). W sierpniu 2023 r. przy wszystkich ulicach na istniejących słupach zamontowano oprawy oświetleniowe LED, przy ul. Żywieckiej typu Schröder IZYLUM (IZ) (Rys.3D), w pozostałych przypadkach typu Schröder HAPILED (HAP) (Rys.3E).

Oprawy oświetleniowe typu OCP, zamontowane w latach 70. XX w., odznaczały się dużym stopniem degradacji zarówno kulistych kloszy (w szczególności ich górnych części, narażonych na warunki atmosferyczne oraz zanieczyszczenia biologiczne), jak też samych lamp HPS. Niezależnie od przeprowadzonych pomiarów, ocena wizualna tych opraw oświetleniowych wypadła negatywnie – nie oświetlały one w sposób wystarczający dedykowanego terenu, kierując większą część światła w niebo. Nieco lepiej pod tym względem wypadły oprawy oświetleniowe typu EPN, kierujące światło na oświetlany teren, jednak i one nie oświetlały go w sposób zadowalający. Najwyżej oceniono oprawy oświetleniowe typu ESS, które w sposób prawidłowy oświetlały zarówno ul. Żywiecką, jak też biegnący wzdłuż niej (po tej samej stronie ulicy) chodnik. Jednakże wypukły szklany klosz rozpraszał światło lampy w ten sposób, że oślepiało ono zarówno kierowców, jak i pieszych, kierując się dodatkowo w znacznej części w niebo.

Zamontowane w sierpniu 2023 r. oprawy oświetleniowe typów IZ czy HAP jakościowo można ocenić pozytywnie.



Rys. 3. Przykłady opraw oświetleniowych oświetlających ulice na Osiedlu Żywieckim w Krakowie przed (górny rząd) i po (dolny rząd) wymianie oświetlenia: ESS (A), EPN (B), OCP (C), IZ (D) i HAP (E) (objaśnienia skrótów w tekście)
Fig. 3. Examples of luminaires illuminating streets in the Żywieckie Housing Estate in Kraków before (top row) and after (bottom row) lighting replacement: ESS (A), EPN (B), OCP (C), IZ (D) and HAP (E) (explanation of abbreviations in text)

Emitowane przez nie światło kierowane jest w całości na oświetlany teren, nie rozpraszając się przy tym powyżej płaszczyzny horyzontu. Celem niniejszej pracy jest weryfikacja, czy oprócz opisanej jakościowej poprawy oświetlenia Osiedla Żywieckiego nastąpiła też poprawa ilościowa, czyli jak zmieniło się natężenie oświetlenia podłoża po wspomnianej wymianie opraw oświetleniowych.

Stosowane jednostki

W pracy wykorzystano jednostki, opisane już szczegółowo wcześniej [10]: dla radiancji (L), wyznaczonej na podstawie danych satelitarnych VIIRS/DNB, jest to $W/m^2 \cdot sr$ oraz jednostka pochodna $nW/m^2 \cdot sr$, natomiast dla natężenia oświetlenia na powierzchni ziemi (E) jest to luks (lx).

Metodologia pomiarów

Teledetekcja satelitarna

W celu określenia całkowitej radiancji z badanego obszaru wykorzystano zdjęcia nocne wykonane w zakresie spektralnym DNB (Day Night Band) przez kamerę VIIRS zamontowaną na satelicie Suomi National Polar-orbiting Partnership (SNPP) [21, 22].

Dodatkowo, wykorzystano też wysokorozdzielcze zdjęcia otrzymane ze stacji kosmicznej ISS. Porównano tego rodzaju zdjęcia Krakowa w nocy, wykonane w 2017 r. z obrazami VIIRS/DNB [23, 24, 25]. Pojedynczy piksel na zdjęciu ISS obejmuje obszar o wymiarach $13,5 \times 13,5$ m, co pozwala na stosunkowo pewną identyfikację źródeł radiancji z badanego obszaru.

Pomiary natężenia oświetlenia

Do pomiarów natężenia oświetlenia na powierzchni ziemi wykorzystywany był luksonierz L-200, o rozdzielczości 0,001 lx na dolnym zakresie, współpracujący z panelem sterującym Sonopan P-200. Pomiary wykonywano na poziomie gruntu w otoczeniu wybranych opraw oświetleniowych, przy oknie pomiarowym luksonierza skierowanym w zenit. Wyboru opraw oświetleniowych dokonano w ten sposób, aby dla okresu przed modernizacją oświetlenia w pomiarach reprezentowany był każdy ich rodzaj: oprawa oświetleniowa ESS (nr 1), oprawa oświetleniowa EPN (nr 2) oraz oprawy oświetleniowe OCP (nr 3-9). Pomiary natężenia oświetlenia powierzchni ziemi na obszarze ruchliwych ulic (zwłaszcza ul. Żywieckiej) były w znacznym stopniu utrudnione. W związku z tym od każdej z wybranych dziewięciu opraw oświetleniowych poprowadzono transekt, prostopadły do biegu ulicy bądź traktu pieszego.

Wzdłuż tych transektów, począwszy od podstawy słupów, wyznaczono tylko kilka charakterystycznych punktów pomiarowych (opisanych poniżej), co pozwalało wykonywać pomiary w czasie krótkich przerw w ruchu samochodowym.

W przypadku ul. Żywieckiej (o szerokości 6 m), przy której chodnik biegnie po tej samej stronie, po której zamontowane są oprawy oświetleniowe, pomiarów dokonywano w czterech punktach, oddalających się od słupa (w nawiasach podano odległości od podstawy słupa): A – u podnóża słupa (1 m), B – na środku chodnika (2,5 m), C – na środku ulicy (5,5 m), D – przy krawężniku po przeciwnej stronie ulicy (9 m). W przypadku ulic wewnątrzosiedlowych (o szerokości 3 m), przy których oprawy oświetleniowe położone są zwykle co ok. 8 m, po przeciwnej stronie ulicy niż chodnik, odpowiednio były to punkty: A – u podnóża słupa (1 m), C – na środku ulicy (2,5 m), D – na środku chodnika po przeciwnej stronie ulicy (4,5 m).

W każdym przypadku pomiaru dokonywano w ten sposób, aby zarówno mierzący, jak też zaparkowane samochody nie rzucały cienia na element światłoczuły luksonierza. Zgodnie z podanymi zasadami wykonano pomiary natężenia oświetlenia w 41 punktach, zarówno w 2023 r., jak też w 2024 r.

Analiza widmowa

Identyfikację rodzajów źródeł światła w oprawach oświetleniowych wykonano przy pomocy siatek dyfrakcyjnych AstroMedia (Artikel Nr.407.NDI), o stałej siatki równej 1000 linii/mm [26].

Rozkład luminancji

Na podstawie fotografii wykonano analizę fotometryczną rozkładu luminancji oświetlanych powierzchni, wykorzystując metodę ekwidensytometryczną. Metoda ta polega na zastąpieniu obrazu fotograficznego obrazem utworzonym z linii biegnących przez punkty o jednakowej gęstości optycznej (ekwidensyty) [27]. Obraz ten jest skorelowany z rozkładem luminancji w analizowanym otoczeniu [28].

Pomiary

Teledetekcja satelitarna

Na podstawie analizy skalibrowanego zdjęcia ISS można stwierdzić, że widoczne na nim rozjaśnienia są związane głównie z oświetleniem ulic znajdujących się poza obszarem badań, przede wszystkim ul. Goryczkowej i Jagodowej (Rys. 4). Na badanym obszarze wyróżnia się jedynie oświetlenie ul. Żywieckiej oraz zaple-



Rys. 4. Plan Osiedla Żywieckiego w Krakowie nałożony na zdjęcie satelitarne tego obszaru wykonane z pokładu stacji ISS w 2017 r.
Fig. 4. Map of the Żywieckie Housing Estate in Kraków superimposed on a satellite image of this area taken from the ISS station in 2017

cza budynków przy ulicy wewnątrzosiedlowej, łączącej ul. Tarninową z ul. Kępną (w szczególności w pobliżu przedszkola). Był to jeden z powodów, dla których przy pomiarach natężenia oświetlenia używano m.in. właśnie jedną z opraw oświetleniowych przy ul. Żywieckiej (punkt pomiarowy nr 1) oraz jedną z opraw oświetleniowych na opisanym powyżej zapleczu (punkt pomiarowy nr 8).

Dane satelitarne dotyczące radiancji z badanego obszaru, pochodzące z kamery VIIRS/DNB mają rozdzielczość 450×300 m. Badany obszar znajduje się na granicy czterech pikseli tych obrazów. W polu pomiarowym znajdują się jeszcze sąsiednie oświetlone obszary przy ul. Jagodowej i ul. Goryczkowej, już poza obszarem badań; poza tym w polu znajdują się jeszcze jedynie nieoświetlone tereny leśne. Analiza średnich miesięcznych wartości radiancji od stycznia 2023 r. do stycznia 2024 r. nie wykazała zmian tej wielkości, związanych z wymianą instalacji oświetleniowej w sierpniu 2023 r. W całym tym okresie całkowita radiancja z obszaru wspomnianych czterech pikseli wyniosła $76 (\pm 8) \cdot 10^{-9} W/cm^2$.

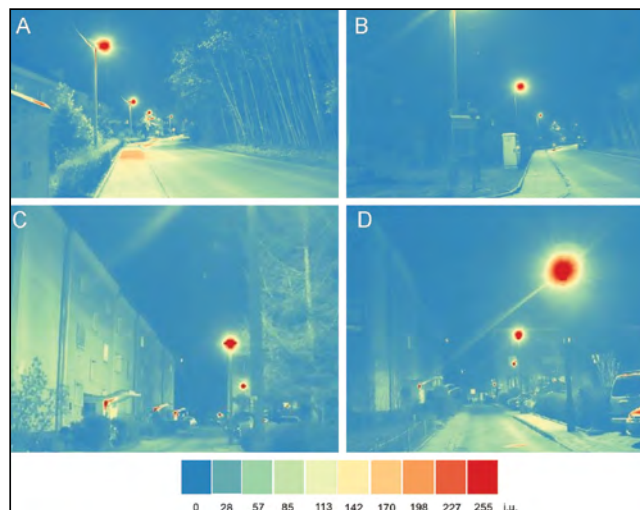
Pomiary natężenia oświetlenia

W celu pokazania ilościowych zmian natężenia oświetlenia powierzchni ziemi, w Tabeli 1 zestawiono jego przykładowe wartości zmierzone na środku oświetlanej ulicy/traktu pieszego przed (E_{2023}) i po wymianie oświetlenia (E_{2024}) (punkty pomiarowe C na opisanych wcześniej transektach).

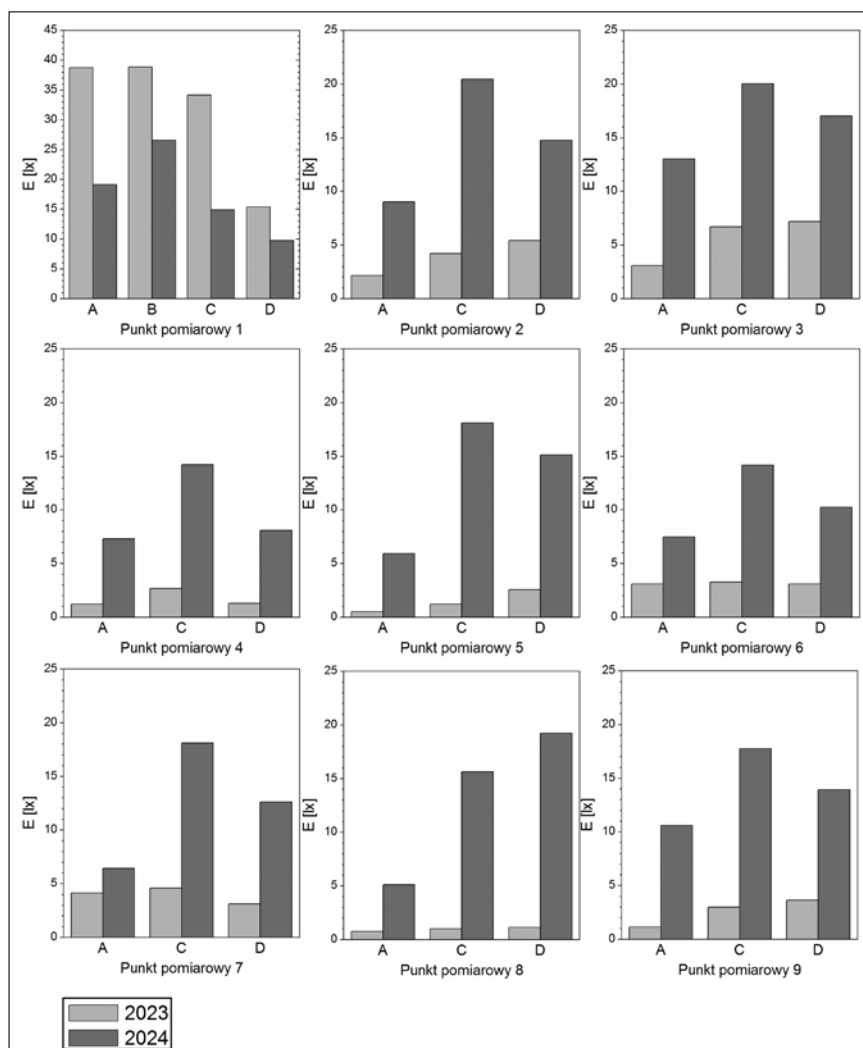
Wykresy (Rys. 5) pokazują różnice w oświetleniu powierzchni ziemi wzdłuż transektów poprzecznych do ulic/traktów pieszych, w kolejnych opisanych wcześniej punktach pomiarowych przed (jasnoszare kolumny) i po (ciemnoszare kolumny) modernizacji instalacji oświetleniowej.

Tab. 1. Natężenie oświetlenia zmierzone na środku oświetlanej ulicy/traktu pieszego (punkt pomiarowy C) przed (E_{2023}) i po (E_{2024}) wymianie instalacji oświetleniowej na Osiedlu Żywieckim w Krakowie w sierpniu 2023 r.
 Table 1. Illuminance measured in the middle of the illuminated street/pedestrian route (measuring point C) before (E_{2023}) and after (E_{2024}) replacing the lighting installation at the Żywieckie Housing Estate in Kraków in August 2023

Nr oprawy oświetleniowej	Typ oprawy oświetleniowej 2023/2024	E_{2023} [lx]	E_{2024} [lx]	E_{2024}/E_{2023} [-]
1	ESS/IZ	34,2	14,9	0,4
2	EPN/HAP	4,2	20,4	4,9
3	OCP/HAP	6,7	20,0	3,0
4	OCP/HAP	2,7	14,2	5,3
5	OCP/HAP	1,2	18,1	15,1
6	OCP/HAP	3,3	14,2	4,3
7	OCP/HAP	4,6	18,1	3,9
8	OCP/HAP	1,0	15,7	15,7
9	OCP/HAP	3,0	17,8	5,9



Rys. 6. Rozkład luminancji wybranych ulic na Osiedlu Żywieckim: (A) ul. Żywiecka, 2023; (B) ul. Żywiecka, 2024; (C) ul. Tarninowa, 2023; (D) ul. Tarninowa, 2024. Kolor granatowo-niebieski oznacza najmniejszą luminancję (0 j.u.), kolor czerwony – najwyższą luminancję (255 j.u.)
 Fig. 6. Luminance distribution of selected streets in the Żywieckie Housing Estate: (A) Żywiecka street, 2023; (B) Żywiecka street, 2024; (C) Tarninowa street, 2023; (D) Tarninowa street, 2024. The blue colour means the lowest luminance (0 a.u.), the red colour – the highest luminance (255 a.u.)



Rys. 5. Natężenie oświetlenia wzdłuż transektów prostopadłych do biegu ulicy w kolejnych punktach pomiarowych: A – w odległości ok. 1 m od podstawy słupa, B – na środku chodnika (tylko dla punktu pomiarowego nr 2, ul. Żywiecka), C – na środku ulicy, D – na krawężniku po przeciwnej stronie ulicy (dla punktu pomiarowego nr 2, ul. Żywiecka) lub na środku chodnika po przeciwnej stronie ulicy (dla pozostałych punktów pomiarowych). Jaśniejsze kolumny dotyczą pomiarów przed wymianą oświetlenia ulicznego (2023), ciemniejsze – po wymianie oświetlenia (2024)
 Fig. 5. Illuminance along transects perpendicular to the street at the following measurement points: A – about 1 m from the base of the pole, B – in the middle of the sidewalk (only for measuring point No. 2, Żywiecka street), C – in the middle of the street, D – on the curb on the opposite side of the street (for measurement point No. 2, Żywiecka street) or in the middle of the sidewalk on the opposite side of the street (for other measurement points). The lighter columns refer to measurements before replacing street lighting (2023), the darker ones – after replacing the lighting (2024)

Jedynie w przypadku punktu pomiarowego nr 1 (ul. Żywiecka) stwierdzono zmniejszenie się natężenia oświetlenia po wymianie opraw oświetleniowych, przy czym o ile przed wymianą podłoże słupa (A) oświetlone było w tym samym stopniu, co chodnik (B), to po wymianie oświetlenia zdecydowanie największe natężenie oświetlenia zmierzono na chodniku. W każdym z pozostałych przypadków nastąpił znaczny wzrost natężenia oświetlenia podłoża, przy czym najlepiej oświetlony jest zwykle środek ulicy (C).

Analiza widmowa

Wykonana analiza widmowa wszystkich opraw oświetleniowych na obszarze Osiedla Żywieckiego pozwoliła stwierdzić, że przed wymianą instalacji oświetleniowej były to wyłącznie świecące na żółto oprawy oświetleniowe HPS, natomiast obecnie, po wymianie oświetlenia, wszystkie oprawy oświetleniowe są wykonane w technologii LED. Temperatura barwowa najbliższa tych opraw wynosi ok. 4500 K, co zgodnie z terminologią przyjętą w normie PN-EN 12464-2 można określić jako barwę pośrednią.

Analiza rozkładu luminancji

Rozkład luminancji określono metodą ekwidensytometryczną dla otoczenia wybranych opraw oświetleniowych przed i po modernizacji oświetlenia (Rys.3).

Podsumowanie

Oświetlenie każdego obszaru, w szczególności ulic osiedlowych, musi spełniać zasady zrównoważonego rozwoju: powinno być zarówno efektywne, jak też spełniać swoją funkcję oświetleniową, w minimalnym stopniu oddziałując na środowisko.

Instalacja oświetleniowa Osiedla Żywieckiego jako źródło zanieczyszczenia świetlnego

Jak już wspomniano we wcześniejszych publikacjach [1, 2, 3], światło generowane przez niewłaściwie dobrane oprawy oświetleniowe pod kątem sposobu dystrybucji światła i/lub ich montaż (w przypadku gdy współczynnik ULOR, określający udział strumienia świetlnego emitowanego w górną półprzestrzeń, jest różny od zera) może wpływać na otoczenie jak tzw. zanieczyszczenie świetlne. Najczęściej wyróżnia się trzy podstawowe kategorie tego zanieczyszczenia [1]:

- oślnienie, zwane również oślepieniem (ang.: glare), polegające na oddziaływaniu zbyt jasnego oświetlenia na zmysł wzroku ludzi i zwierząt, głównie przez niewłaściwie dobrane bądź zamontowane oprawy oświetleniowe;
- zaświecanie (ang. trespass), polegające na oświetlaniu terenu sąsiedniego w stosunku do tego, który miał być oświetlany. Często w kategorii tej wyróżnia się jeszcze podkategorie nadmiernego oświetlenia (ang. over-illumination), nadmiernego skupienia źródeł światła (ang. light cluttering) oraz trwonienia energii świetlnej;
- łunę świetlną (ang. sky glow), powstającą poprzez rozpraszanie światła sztucznego w atmosferze.

W przypadku Osiedla Żywieckiego nie stwierdzono występowania zjawiska oślnienia, zarówno przed, jak po modernizacji oświetlenia. Podobnie, analiza radiancji z tego obszaru nie wykazała zmian jej wielkości z tym związanej. Co więcej, Osiedle Żywieckie wyróżnia się spośród nowszej zabudowy przy ul. Goryczkowej i ul. Jagodowej niskim poziomem radiancji, wnosząc przez to znikomy wpływ do jasności miejskiej łuny świetlnej. Modernizacja oświetlenia wpłynęła natomiast wyraźnie na efekt zaświecania wnętrza mieszkań w przylegających blokach mieszkalnych. W 2023 r., przed modernizacją, światło generowane zwłaszcza przez oprawy oświetleniowe typu EPN, jak również, w mniejszym stopniu, OCP, zamontowane przy wewnętrznych ulicach osiedla (w szczególności ul. Tarninowej) oświetlało całość elewacji naprzeciwle-

głych budynków, zwłaszcza jasno oświetlone były okna parteru i pierwszego piętra (Rys. 3C). Po wymianie opraw oświetleniowych na typu HAP generowane przez nie światło oświetla obecnie jedynie dolną część parterów budynków, i to w stopniu znikomym (Rys.3D). Niewątpliwie, wpływa to korzystnie na jakość snu mieszkańców, co ma z kolei pozytywny wpływ na ich zdrowie [29].

Efektywność oświetlania ulic

Przed modernizacją oświetlenia jedyną poprawnie oświetlaną ulicą na Osiedlu Żywieckim była, przebiegająca jego skrajem, ul. Żywiecka oraz biegnący wzdłuż niej chodnik. Natężenie oświetlenia zmierzone na środku ulicy wynosiło ok. 35 lx. Analizując rozkład luminancji na oświetlanej powierzchni stwierdzono wyraźnie nierównomierne jego oświetlenie – obszary bezpośrednio pod oprawami oświetleniowymi były oświetlone znacznie jaśniej niż sąsiadujące (Rys. 3A). W efekcie, to niejednorodne oświetlenie mogło dekoncentrować kierowców, poruszających się ul. Żywiecką. Po modernizacji oświetlenia natężenie oświetlenia ulicy zmniejszyło się do 15 lx, co nadal należy uznać za w pełni wystarczające. Tym razem, jednak, zarówno chodnik, jak i ulica oświetlone są równomiernie, co jest zgodne z zaleceniami PN-EN 13201:2016.

Odminną sytuację zaobserwowano w przypadku oświetlenia ulic wewnątrzosiedlowych. Przed modernizacją oświetlenia na środku tych ulic zmierzono natężenie oświetlenia równe $4\div 7$ lx (oprawy oświetleniowe EPN) oraz $1\div 4$ lx (oprawy oświetleniowe OCP). Są to wartości niższe od zalecanej przez PN-EN 13201:2016 dla dróg klasy P4 wartości 5 lx, a w niektórych przypadkach nawet zbliżające się do minimalnej dopuszczalnej wartości 1 lx. Po modernizacji oświetlenia w każdym z tych przypadków natężenie oświetlenia środka ulicy mieści się w granicach $14\div 20$ lx, co w pełni spełnia wymienione wymagania. Również chodniki, dla których przed modernizacją oświetlenia zmierzono natężenie oświetlenia w zakresie $0,5\div 4$ lx, obecnie oświetlane są światłem o natężeniu $5\div 10$ lx, co zapewnia poziom wyższy od wymaganej przez PN-EN 13201:2016 dla traktów pieszych (w tym przypadku klasa P6) wartości 2 lx.

Wnioski

Przed modernizacją instalacji oświetleniowej Osiedla Żywieckiego w Krakowie oświetlenie zarówno ulic, jak też chodników było zdecydowanie niewłaściwe. Je-

dynie oświetlenie przebiegającej wzdłuż krawędzi osiedla ul. Żywieckiej można uznać za warunkowo prawidłowe. Oświetlenie wszystkich przestrzeni wewnętrznieosiedlowych należało uznać za nieprawidłowe. Natężenie oświetlenia zarówno ulic, jak też chodników było zdecydowanie zbyt niskie, w szczególności nie zapewniając bezpieczeństwa ich użytkownikom. Światło generowane przez istniejące wtedy oprawy oświetleniowe, w zbyt małym stopniu oświetlając powierzchnie ulic i chodników, wnikało jednocześnie do wnętrza mieszkań w sąsiadujących budynkach. W efekcie, komfort życia mieszkańców osiedla zarówno w czasie użytkowania przestrzeni zewnętrznych (dojazd i parkowanie samochodów, wieczorne wyprowadzanie psów), jak też w czasie odpoczynku nocnego, był w dużym stopniu zaburzony. Modernizacja oświetlenia na Osiedlu Żywieckim w Krakowie zdecydowanie poprawiła komfort życia jego mieszkańców – obecnie przestrzenie zewnętrzne są oświetlane w sposób wystarczający, jak też zmniejszone zostało do minimum zjawisko zanieczyszczenia świetlnego w formie oślnienia czy zaświecania wewnątrz mieszkań. Napotkani w czasie badań mieszkańcy osiedla w większości zwracali uwagę właśnie na poprawę tego oświetlenia, w szczególności podkreślając wzrost poczucia bezpieczeństwa wieczorem i nocą. Zwrócono uwagę, że osiedle sąsiaduje z obszarami leśnymi, z których dzięki zwierzęta (w szczególności dziki) wkraczają w nocy na jego obszar. Obecne oświetlenie zarówno działa odstraszająco na te zwierzęta, jak również pozwala na odpowiednio wczesne dostrzeżenie zagrożenia przez użytkowników przestrzeni zewnętrznych Osiedla Żywieckiego. Należy także zwrócić uwagę na aspekt ekonomiczny modernizacji – używane obecnie oprawy oświetleniowe wykonane w technologii LED są wydajniejsze, przy jednoczesnym zmniejszeniu zapotrzebowania na energię elektryczną. Należy zatem uznać dokonaną modernizację za uzasadnioną i w pełni udaną, co pozwala mieć nadzieję, że akcja ta kontynuowana w pozostałych częściach Krakowa przyniesie ogólną poprawę zarówno w aspekcie bezpieczeństwa, jak też poprawy jakości życia mieszkańców oraz zahamuje wzmaganie się zjawiska zanieczyszczenia świetlnego.

Podziękowania

Autor publikacji dziękuje Krzysztofowi Płazie z Zarządu Dróg Miasta Krakowa za informowanie o planowanych modernizacjach oświetlenia na obszarze miasta.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Ścieżor T., Instalacje oświetleniowe a problem zanieczyszczenia świetlnego. *Instal*, 5 (406), 2019, s. 28-33.
- [2] Ścieżor T., Czaplicka A., Instalacja oświetleniowa kompleksu biurowego jako źródło zanieczyszczenia świetlnego. *Instal*, 6 (441), 2022, s. 35-42. DOI: 10.36119/15.2022.6.5
- [3] Ścieżor T., Czaplicka A., Instalacja oświetleniowa placu parkingowego jako źródło zanieczyszczenia świetlnego. *Instal*, 11 (456), 2023, s. 57-62. DOI: 10.36119/15.2023.11.8
- [4] Ścieżor T. Effect of the low and high clouds on the local and distant light pollution. *Technical Transactions*, 23, 2012, s. 253-260. DOI: 10.4467/2353737XCT.14.065.1842
- [5] Fryc I., Tabaka P., Zanieczyszczenia nocnego nieboskłonu światłem emitowanym przez oprawy oświetlenia zewnętrznego. *Przegląd Elektrotechniczny*, 93 (6), 2017, s. 46-49. DOI: 10.15199/48.2017.06.12
- [6] Zielińska-Dąbkowska K.M., Xavia K., Bobkowska K., Assessment of Citizens' Actions against Light Pollution with Guidelines for Future Initiatives. *Sustainability*, 12, 2020, 4997. DOI: 10.3390/su12124997
- [7] Walker M.F. The Effects of Urban Lighting on the Brightness of the Night Sky. *Publications of the Astronomical Society of the Pacific*, 89, 1977, s. 405-409
- [8] Brons J., Bullough J., Rea M. Outdoor site-lighting performance: A comprehensive and quantitative framework for assessing light pollution. *Light. Res. Technol.*, 40, 2008, s. 201-224. DOI: 10.1177%2F1477153508094059
- [9] Pothukuchi K. City Light or Star Bright: A Review of Urban Light Pollution, Impacts, and Planning Implications. *J. Plan. Lit.*, 088541222098642, 2021. DOI: 10.1177%2F0885412220986421
- [10] Ścieżor T., Lighting of pedestrian and pedestrian-driving routes in a housing estate as a source of light pollution, *Technical Transactions*, No.2022/012, 2022, s.1-17. DOI: 10.37705/TechTrans/e2022012
- [11] LED-y miały olśnić, a jest ciemno, *Dziennik Polski*, 27 maja 2015 [online] <https://dziennikpolski24.pl/ledy-mialy-olsnic-a-jest-ciemno/ar/3877811> (dostęp: 29.05.2024)
- [12] Górczewska M., Uproszczone procedury wyboru klas oświetlenia drogowego zgodnie z nową wersją raportu CEN/TR 13 201-1:2014, *Wiadomości Elektrotechniczne*, LXXXIII 2015, 10, s. 27-30. DOI: 10.15199/74.2015.10.7
- [13] Górczewska M., Oświetlenie LED – nie „wszystko jasne”, XII Konferencja „Oświetlenie drogowe – sposoby zarządzania systemami oświetlenia na terenie kraju”, Jachranka, 19-20 kwietnia 2017 r.; *Energia elektryczna*, 5, 2017.
- [14] Piątkowski P., Oświetlenie zewnętrzne na osiedlach mieszkaniowych – projektowanie i wybór opraw, *Murator. Obiekty mieszkalne, instalacje*, 22.03.2023 [online] <https://obiekty-mieszkalne.muratorplus.pl/instalacje/oswietlenie-zewnetrzne-na-osiedlach-mieszkaniaowych-projektowanie-oswietlenia-zewnetrzego-i-wybor-opraw-aa-eywB-tSu2-VZcZ.html> (dostęp: 29.05.2024)
- [15] Trawiński A., Klasy oświetlenia opraw oświetleniowych, *PERFAND LED* [online] <https://perfandled.pl/klasy-oswietlenia-opraw-oswietleniowych/> (dostęp: 29.05.2024)
- [16] Du J., Zhang X., King D., An Investigation into the Risk of Night Light Pollution in a Glazed Office Building: The Effect of Shading Solutions. *Building and Environment*, 145, 2018. DOI: 10.1016/j.buildenv.2018.09.029
- [17] Helbich M., Browning M.H.E.M., Huss A., Outdoor light at night, air pollution and depressive symptoms: A cross-sectional study in the Netherlands. *Sci. Total Environ.*, 744, 2020, 140914. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2020.140914
- [18] Karagöz Z., EKREN N., Light Pollution and Smart Outdoor Lighting. *Balkan journal of electrical & computer engineering*, 9, 2, 2021, s. 191-200. DOI: 10.17694/bajcee.874343
- [19] Remande C., Light Pollution: How High-Performance Luminaires Can Reduce It. *Preserving the Astronomical Sky*, IA U Symposium, Vol. 196, 2001, s. 49-59. DOI: 10.1017/S007418090016382X
- [20] Włodarczyk M., Krakowskie Osiedla Modernizmu lat 1945-1990. Wybrane przykłady, *Stowarzyszenie Architektów Polskich SARP*, 2014, s.108-111 [online] <http://www.sarp.krakow.pl/sd/om/> (dostęp: 29.05.2024)
- [21] Elvidge C.D., Baugh K.E., Zhizhin M., Hsu F.-C., Why VIIRS data are superior to DMSP for mapping nighttime lights. *Proc. Asia-Pac. Adv. Netw.*, 35, 2013, s. 62. DOI: 10.7125/APAN.35.7
- [22] Wolfe R.E., Lin G., Nishihama M., Tewari K.P., Tilton J.C., Isaacman A.R., Suomi NPP VIIRS prelaunch and on-orbit geometric calibration and characterization. *J. Geophys. Res. Atmos.*, 118, 2013, s. 11508-11521. DOI: 10.1002/jgrd.50873
- [23] Zamorano J., Miguel A.S. De, Pascual S., Castaño J.G., Ramirez P., Challupner P., ISS nocturnal images as a scientific tool against Light Pollution, 2011, s. 1–20. DOI:10.5281/zenodo.46753
- [24] Sánchez de Miguel A., Kyba C.C.M., Aubé M., Zamorano J., Cardiel N., Tapia C., Bennie J., Gaston K.J. Colour remote sensing of the impact of artificial light at night (I): The potential of the International Space Station and other DSLR-based platforms. *Remote Sens. Environ* 224, 2019, s. 92-103. DOI:10.1016/j.rse.2019.01.035.
- [25] Gateway to Astronaut Photography of Earth [online] <https://eol.jsc.nasa.gov/> (dostęp: 19.04.2021)
- [26] Zamorano J., Tutorial: to identify the spectra of common street lamps, Madrid 2019 [online] https://guaix.ucm.es/wp-content/uploads/2020/01/StreetSpectra_manual.pdf (dostęp: 29.05.2024)
- [27] Lau E., Krug W., *Equidensitometry*, Focal Press, London, 1968
- [28] Brown N., Image processing for overnight lighting quantification in buildings. January 2010, Conference: IEECB 2010, Frankfurt, 2010, Improving energy efficiency in commercial buildings, Frankfurt, Germany [online] https://www.researchgate.net/publication/263071005_Image_processing_for_overnight_lighting_quantification_in_buildings (dostęp: 29.05.2024)
- [29] Skwarło-Sofińska K., Śkażenie światłem: co dziś wiemy o jego wpływie na funkcjonowanie organizmu człowieka? *Kosmos* 64(4), 2015, s. 633–642.