



## Spójna strategia oświetleniowa przestrzeni miejskiej jako narzędzie ograniczenia zanieczyszczenia światłem

Jolanta Kwiatkowska-Malina<sup>1</sup>, Hubert Horynek<sup>2</sup>

### STRESZCZENIE:

W artykule w szczególności sposób zwrócono uwagę na rolę oświetlenia wnętrza urbanistycznego, które z jednej strony stanowi zasadniczy element kreujący przestrzeń miejską, a z drugiej strony jest istotnym źródłem zanieczyszczenia światłem. Jednym z czynników generujących zanieczyszczenie światłem jest zastosowanie oświetlania o zbyt wysokim natężeniu, czyli zbyt silnego. Na potrzeby niniejszego opracowania za emiterzy zanieczyszczenia światłem uznano jedynie instalacje oświetlenia ulicznego. Występowaniu zjawiska zanieczyszczenia światłem sprzyjają unormowania prawne dotyczące między innymi oświetlenia dróg. W pracy wskazano, że spójna strategia oświetleniowa przestrzeni miejskiej obejmująca między innymi dobór takich parametrów, jak: typ źródeł światła, w tym temperatura barwowa i natężenie emitowanego światła, oprawa, lokalizacja instalacji oświetleniowej, może ograniczać zanieczyszczenie światłem.

### SŁOWA KLUCZOWE:

zanieczyszczenie światłem; iluminacja; strategia oświetleniowa

## 1. Wprowadzenie

Rozwój cywilizacyjny wymusił m.in. zwiększenie aktywności społeczeństwa po zmroku, co przyczyniło się do wzrostu wykorzystania źródeł światła sztucznego. Początkowo oświetlenie służyło zapewnieniu bezpieczeństwa po zmroku oraz umożliwiało sprawne poruszanie się w mieście. Na przełomie XVI i XVII wieku w niektórych miastach wprowadzono oświetlenie publiczne w miejscach strategicznych dla nawigacji wewnątrz miasta. W drugiej połowie XIX wieku zaczęto używać żarówki z włóknem węglowym. W latach 30. XX wieku powstała przełomowa niskoprężna lampa rtęciowa, tzw. świetlówka. Do oświetlania ulic w latach 70. XX wieku zaczęto wykorzystywać wysokoprężne lampy sodowe. Obecnie powszechnym źródłem światła są diody LED charakteryzujące się szeroką gamą dostępnych barw światła, stosunkowo wysoką sprawnością świetlną i bardzo niskim poborem mocy [1]. Ponadto w przestrzeni miejskiej światło stanowi zasadniczy element kreujący i uwidaczniający piękno architektury, podkreśla jej walory estetyczne i pozwala odczuwać nieograniczoną przestrzeń [2]. Na terenach zurbanizowanych istotną rolę pełni iluminacja obiektów, reklama świetlna, dekoracja tymczasowa oraz interpretacja przestrzeni światłem. Podstawową funkcją oświetlenia zewnętrznego nadal jest zapewnienie bezpieczeństwa wnętrza przestrzeni publicznych, ułatwienie nawigacji i poruszania się.

Od początku stosowania oświetlenia zewnętrznego dążono do osiągnięcia możliwie najlepszych warunków oświetleniowych przy ponoszeniu jak najniższych kosztów, czyli do osiągnięcia możliwie wysokiej sprawności świetlnej. Rozwój techniki oświetleniowej doprowadził do powstania lamp dających coraz więcej światła, co spowodowało, że plamy światła od pojedyn-

<sup>1</sup> Politechnika Warszawska, Wydział Geodezji i Kartografii, pl. Politechniki 1, 00-661 Warszawa, e-mail: jolanta.kwiatkowska@pw.edu.pl, orcid id: 0000-0002-7013-670X

<sup>2</sup> student, e-mail: hubert.horynek@pw.edu.pl

czych urządzeń połączyły się, tworząc rozległe „morze światła”. Nagromadzenie źródeł światła w miastach prowadzi do powstania „łuny miejskiej”, zwanej także „smogiem świetlnym” [3]. Rozświetlone niebo może występować ponad obszarami niezamieszkałymi [4]. Mimo że większość mieszkańców Europy i USA dotyka problem zanieczyszczenia światłem, jest to dotychczas najmniej znana forma zanieczyszczenia środowiska [5, 6]. Najbardziej rozpowszechnionym oświetleniem zewnętrznym jest oświetlenie uliczne.

Według Ustawy z dnia 27 kwietnia 2001 r. Prawo ochrony środowiska [7], światło można uznać za zanieczyszczenie, jeżeli wpływa ujemnie na stan ludzkiego zdrowia lub kondycję środowiska naturalnego, pogarsza walory estetyczne środowiska lub koliduje z innymi sposobami korzystania ze środowiska. Zanieczyszczenie światłem (ang. light pollution) jest to zaburzenie nocnego środowiska naturalnego światłem emitowanym przez sztuczne oświetlenie zewnętrzne [8, 9]. Zanieczyszczenie światłem jest efektem nieodpowiednio dobranych cech przestrzennych, ilościowych lub spektralnych źródeł światła. Wprowadzanie światła do środowiska, które w sposób naturalny powinno pozostać oświetlone przez Księżyc, zaburza rytm życia organizmów żywych [10]. Nagromadzenie źródeł światła bez uporządkowania, zaburzające hierarchię widocznych obiektów, wpływa ujemnie na walory estetyczne danego wnętrza urbanistycznego.

Skutki i zasięg zanieczyszczenia światłem wymuszają podjęcie działań prowadzących do zmniejszenia jego poziomu [11]. Dlatego należy poszukiwać racjonalnych rozwiązań, które zapewnią dobrze oświetlone ulice jednocześnie minimalizujące negatywne skutki używania sztucznego światła.

Celem pracy była analiza oświetlenia fragmentu Osi Stanisławowskiej w Warszawie i wskazanie możliwości zmniejszenia zanieczyszczenia światłem poprzez dobór parametrów strategii oświetleniowej analizowanego obszaru.

## **2. Metodyka badawcza**

Teren opracowania obejmuje fragment Osi Stanisławowskiej, tj. odcinek od ulicy Krzywickiego na zachodzie do ulicy Czerniakowskiej na wschodzie. Na potrzeby przygotowania strategii oświetleniowej i wskazania możliwości poprawy warunków oświetleniowych terenu opracowania jako emiterzy zanieczyszczenia światłem uznano jedynie instalacje oświetlenia ulicznego. Ze względu na charakter zabudowy obszaru opracowania, który cechuje wysoka intensywność i usytuowanie budynków w taki sposób, że wyznaczają ciągłe pierzeje ulic, obliczono natężenie światła na elewacjach budynków zwróconych bezpośrednio w stronę ulicy. W wyniku inwentaryzacji urbanistycznej określono przeznaczenie/funkcje i wysokość budynków. W analizach wzięto pod uwagę wyłącznie budynki mieszkalne jako szczególnie narażone na intruzję światła do wnętrza lokali. Charakterystykę fotometryczną latarni obejmującą rodzaje i moc opraw oświetleniowych oparto na danych udostępnionych przez Zarząd Dróg Miejskich m. st. Warszawy.

## **3. Wyniki badań**

### *3.1. Inwentaryzacja urbanistyczna i oświetlenia ulicznego*

W ramach inwentaryzacji urbanistycznej określono lokalizację, układ, funkcje, historię oraz ewentualną ochronę konserwatorską wnętrz urbanistycznych i budynków w granicach opracowania.

Oś Stanisławowska w Warszawie jest to wieloprzestrzenne założenie urbanistyczne rozciągające się od Kanału Piaseczyńskiego na wschodzie do kościoła pw. św. Wawrzyńca na zachodzie. Już w drugiej połowie XIX wieku założenie stanisławowskie straciło swoją kompozycyjną spójność. Powódź doprowadziła do powstania w rejonie ujścia Kanału Piaseczyńskiego do Wisły rozległej łachy, która odcięła zbiornik od rzeki.

Przebieg Osi Stanisławowskiej pokrywa się z ciągiem ulic: Nowowiejskiej i alei Wyzwolenia oraz z przebiegiem Kanału Piaseczyńskiego. Granice terenu opracowania obejmują także struktury urbanistyczne w bezpośrednim sąsiedztwie: sprzężony z Osią system placów z koncen-

trycznie rozchodzącymi się ulicami, Teren Centralny Politechniki Warszawskiej, fragment Marszałkowskiej Dzielnicy Mieszaniowej, osiedle Latawiec, park Agrykola.

Północną pierzeję ulicy Nowowiejskiej stanowią budynki mieszkalne, gmachy Wojskowego Sądu Okręgowego, obiekty Agencji Mienia Wojskowego i Naczelnej Prokuratury Wojskowej. Historyzujące budynki wojskowe kontrastują z modernistycznymi budynkami mieszkalnymi z elewacjami obłożonymi szarą cegłą. Ulica Nowowiejska i teren dawnych tzw. „baraków Jerozolimskich” wpisane są do rejestru zabytków.

W Śródmieściu Południowym wyróżniono trzy podstawowe funkcjonalno-kompozycyjne typy zabudowy: (i) wolno stojące gmachy obiektów użyteczności publicznej, ambasady, siedziby ministerstw, (ii) socrealistyczna zabudowa ulicy Marszałkowskiej i okolic placu Konstytucji nawiązujące do stylistyki renesansu, (iii) zabudowa z przełomu XIX i XX wieku, tj. kamienice z lokalami usługowymi na parterach tworzące z reguły zwarte pierzeje ulic, wyróżniające się bogatymi w detal elewacjami. Poza tym wyróżnić można również występujące w mniejszej skali nowoczesne obiekty komercyjne, stanowiące rodzaj plomb wypełniających luki w zabudowie oraz zabudowę osiedla Latawiec, posiadającą zarówno cechy architektury socrealistycznej, jak i przedwojennej. Większość wolno stojących budynków użyteczności publicznej, znajdujących się między innymi w obrębie przylegającego do placu Politechniki Terenu Centralnego PW objęta jest ochroną konserwatorską. Ulice zbiegające się na placu Politechniki są wąskie, jednokierunkowe o przekrojach charakterystycznych dla przedwojennej zabudowy Śródmieścia Południowego. Ich pierzeje tworzą kamienice mieszkalne, których partery zajęte są przez różnego rodzaju zakłady usług. Zdecydowana większość budynków tworzących pierzeje ulic Noakowskiego, Lwowskiej, Śniadeckich i Polnej wpisana jest do ewidencji lub do rejestru zabytków.

Plac Zbawiciela jest najbardziej zróżnicowaną pod względem architektonicznym strukturą w granicach opracowania. Na placu niekwestionowaną dominantą jest kościół pw. Najświętszego Zbawiciela wyróżniający się białą elewacją i pokrytymi patyną kopułami wieńczącymi wieże. Na placu przecinają się trzy różne ciągi komunikacyjne. Układ stref przeznaczonych dla poszczególnych użytkowników ruchu rozmywa kompozycyjne sprzężenie placu z Osią Stanisławowską.

Osiedle Latawiec ograniczone jest ulicami Marszałkowską i Mokotowską, przechodzącymi przez plac Zbawiciela, oraz ulicą Koszykową i aleją Armii Ludowej zbiegającymi się w rejonie placu Na Rozdrożu. Obiekty znajdujące się bezpośrednio przy alei Wyzwolenia mają bardzo czytelny podział elewacji z dużymi oknami na parterach. Przestrzeń alei Wyzwolenia pełni funkcje techniczną i rekreacyjną. Osiedle wpisane jest do Gminnej Ewidencji Zabytków, natomiast większość budynków przy ulicy Mokotowskiej wpisano do Wojewódzkiego Rejestru Zabytków. Plac Na Rozdrożu jest węzłem komunikacyjnym, przy którym zlokalizowany jest park Ujazdowski i park Agrykola. Bezpośrednio do placu dochodzą Aleje Ujazdowskie.

Na wschód, w kierunku Wisły, znajduje się park Agrykola z Kanałem Piaseczyńskimi i rozległym ogrodem położonym poniżej skarpy. Spośród obiektów znajdujących się w granicach opracowania najbardziej rozpoznawalny jest Zamek Ujazdowski.

Zasadniczym elementem analizy, której wyniki stanowiły podstawę do wskazania możliwości ograniczenia zanieczyszczenia światłem rejonu Osi Stanisławowskiej i obszarów przyległych, była inwentaryzacja oświetlenia ulicznego.

W granicach opracowania występuje ponad dwadzieścia różnych rodzajów opraw oświetleniowych. Oś Stanisławowska nie ma spójnego systemu oświetlenia ulicznego. Jedynie poszczególne place i niektóre odcinki ulic mają spójne systemy oświetlenia z jednym typem opraw i źródłem światła. W oświetleniu ulicznym najczęściej występują wysokociśnieniowe sodowe źródła światła, chociaż najczęściej występującą oprawą jest ONYX z metalohalogenkowym źródłem światła.

Na szczególną uwagę zasługują lampy, które zamontowane są po kilka sztuk na wysokich słupach ustawionych na środku placów: Politechniki, Zbawiciela, a także w rejonie placu Na Rozdrożu. Dzięki temu całe wnętrze jest równomiernie oświetlone, co umożliwia osobne zaakcentowanie światłem elewacji budynków i podcieni.

Na analizowanym terenie znajdują się oprawy oświetleniowe, których nie udało się zidentyfikować, oraz takie, których identyfikację pominięto ze względu na ich lokalizację we wnętrzach

kwartałów mieszkalnych oraz w obrębie terenów o jednolitej funkcji, np. Teren Centralny PW. W granicach terenu opracowania znajduje się pięć obiektów z indywidualnym systemem iluminacji. Obiekty wyróżnione są w przestrzeni iluminacją sylwetującą (zalewową) lub akcentującą (punktową) oraz okresowo stosuje się iluminację rzutowania (mapping).

### *3.2. Analiza zanieczyszczenia światłem*

W Polsce nie ma aktów prawnych umożliwiających jednoznaczne stwierdzenie występowania zanieczyszczenia światłem. Obecnie badania w tym zakresie dotyczą sztucznego rozświetlenia nocnego nieba, które utrudnia lub w skrajnych przypadkach wręcz uniemożliwia obserwacje astronomiczne. Oświetlenie wnętrz urbanistycznych postrzegane z perspektywy mieszkańca rozpatrywane jest zazwyczaj w aspekcie jakościowym. W projektach oświetlenia zewnętrznego zwraca się uwagę na zdolność oddawania barw, prowadzenie wzroku, eksponowanie obiektów. W sposób ilościowy wyrażane są jedynie ustalenia normatywne dotyczące oświetlenia ulic, gdzie nie podaje się wartości maksymalnych dla natężenia światła i poziomu rozświetlenia powierzchni jezdni. Takie ujęcie problemu pozostawia możliwość realizacji instalacji o parametrach (mocy) o wiele wyższych niż wymagane w danej sytuacji oświetleniowej.

Analizie poddano budynki mieszkalne zlokalizowane bezpośrednio przy ulicach i placach. Na potrzeby opracowania przyjęto, że zanieczyszczenie światłem ma miejsce, jeżeli na elewację budynku mieszkalnego pada światło o maksymalnym natężeniu ( $E_{max}$ ) wyższym niż 25 lx. Przyjęto, że zanieczyszczenie światłem spowodowane jest konstrukcją opraw oświetleniowych umożliwiających wypromieniowanie światła na boki i w górę oraz nieodpowiednio dobraną mocą zasilającą źródła światła, przekładającą się na natężenie światła przez nie emitowanego, w stosunku do potrzeb oświetleniowych wnętrza urbanistycznego. Zgodnie z normą PN-EN 12464-2:2014-05 [12], wartość graniczna 25 lx jest właściwa dla strefy o wysokiej jasności (centra miast i strefy komercyjne).

Na podstawie wyników analizy budynków uwzględniającej natężenie światła z systemu oświetlenia ulicznego padającego na elewacje stwierdzono, że zanieczyszczenie światłem dotyczy około 50% budynków.

### *3.3. Możliwości ograniczenia zanieczyszczenia światłem*

Zabiegi projektowe wskazujące możliwości ograniczenia zanieczyszczenia światłem koncentrowały się na dobraniu opraw charakteryzujących się odpowiednim rozsyłem światła o odpowiednim natężeniu. Zaproponowano źródła światła, których sumaryczny pobór mocy nie przewyższa sumarycznego poboru mocy instalacji obecnie funkcjonujących. Stosując źródła światła o niskim poborze mocy, spełniające jednocześnie wymogi oświetleniowe dla poszczególnych ulic, minimalizuje się zanieczyszczenie światłem pojmowane też w sposób pośredni, np. emisja zanieczyszczeń przy produkcji energii elektrycznej ze źródeł konwencjonalnych.

Oś Stanisławowska jest niewidoczna z perspektywy użytkowników przestrzeni publicznych podczas dnia z powodu braku spójnej architektury. W celu przywrócenia optycznej jedności Osi skategoryzowano przestrzenie urbanistyczne, a następnie wyróżniono odpowiednio dobraną barwą i natężeniem światła oraz konkretnymi rozwiązaniami oświetleniowymi. W projekcie iluminacji obiektów natężenie oświetlenia dobrano w sposób ograniczający występowanie zjawisk zanieczyszczenia światłem: (i) ucieczka światła do obszarów niebędących celem oświetlenia, (ii) emisja światła o natężeniu wyższym niż wymagane, (iii) olśnienie spowodowane źródłami światła źle osłoniętymi, źle skierowanymi lub zbyt jasnymi, (iv) chaos świetlny, (v) sztuczne rozświetlenie nocnego nieba.

Zastosowanie odpowiedniej temperatury barwowej emitowanej przez oprawy wprowadziło rytm zaznaczający kolejne elementy Osi Stanisławowskiej i struktur jej towarzyszących. Obiekty kluczowe dla identyfikacji Osi oświetlono światłem o temperaturze barwowej ok. 5000 K. W przypadku skrzyżowań, placów i skwerów za najistotniejszą uznano konieczność zaakcentowania miejsca będącego ważną przestrzenią publiczną o charakterze zarówno technicznym,

jak i społecznym. W przypadku pokrywających się z przebiegiem Osi ulic najważniejsza jest rytmiczność oświetlenia pozwalająca na prowadzenie wzroku użytkownika.

Barwę światła oświetlającego ulice rozchodzące się z współtworzących Oś Stanisławowską placów miejskich wybrano w taki sposób, aby odróżnić je od podstawowych komponentów założenia. Wszystkie postanowiono oświetlić tym samym światłem o temperaturze barwowej ok. 4000 K, a więc nieco cieplejszym aniżeli place i ulice znajdujące się bezpośrednio na przebiegu Osi. Różnorodność stylów architektonicznych utrudnia wybór oprawy oświetleniowej, która powinna pasować do stworzonej w XXI wieku iluminacji struktury urbanistycznej zaplanowanej w XVIII wieku.

Budynki objęte ochroną konserwatorską z elewacją z materiałów o ciepłych barwach oświetlono światłem ciepłym. Zaś te z elewacją o barwie chłodnej oświetlono światłem o wysokiej temperaturze barwowej. W budynkach mieszkalnych oświetla się tylko wybrane partie, aby zminimalizować ryzyko intruzji światła sztucznego do mieszkań. Budynki usługowe z dużym udziałem przeziernego szkła na elewacji iluminuje się od wewnątrz. Pozostałe budynki usługowe oświetlono metodą sylwetującą (zalewową). Obiekty o pionowym rozrzeźbieniu bryły oświetlono, stosując zasadę zwiększania natężenie światła i temperatury barwowej wraz z wysokością obiektu. Najniższe partie oświetlone są światłem zbliżonym do światła dziennego, a wyższe partie budynku są oświetlane światłem o barwie chłodniejszej w celu wyeksponowania właściwości materiału, z którego są wykonane.

#### 4. Podsumowanie

Obecnie ponad połowa populacji ludzi na świecie żyje w miastach, gdzie coraz większe znaczenie ma zanieczyszczenie światłem. Racjonalna iluminacja wnętrza urbanistycznego przy jednoczesnym ograniczeniu zanieczyszczenia światłem jest możliwa. Główne zasady takiego racjonalnego oświetlania powinny obejmować: wykorzystywanie źródeł światła o jasności nie większej niż jest potrzebna do bezpiecznego korzystania z ciągów komunikacyjnych, dobór poziomu oświetlenia odpowiednio do typu miejsca i natężenia ruchu. Należy oświetlać równomiernie, wyłączać oświetlenie lub zmniejszać jego jasność, gdy jest to możliwe, stosować obudowy lamp kierujące światło tylko w dół i tylko na obszar, który jest celem oświetlania, używać lamp o odpowiednim widmie emisji (unikając takich, które emitują szczególnie szkodliwe dla ludzkiego zdrowia fale długości 460 nm).

Czynniki określające ergonomię oświetlenia dotyczą równomierności luminacji powierzchni i ograniczenia niekorzystnych skutków stosowania oświetlenia ulicznego, takich jak olśnienie lub intruzja światła do obszarów, które nie powinny być oświetlane. Projektując luminację przestrzeni miejskiej, należy pogodzić wymagania oświetleniowe warunkujące podstawowe czynniki wpływające na bezpieczeństwo na drodze: poziom luminacji powierzchni drogi, równomierność luminacji, ograniczenie olśnienia i prowadzenie wzroku przez instalację z zabiegami ograniczającymi występowanie zjawiska zanieczyszczenia światłem.

#### Literatura

- [1] Bartnicka M., Źródła światła – nowe możliwości, nowe zagrożenia, Zeszyty Naukowe Politechniki Białostockiej Architektura 2007, 20, 15-24.
- [2] Chęć-Małyszek A., The concept of light and color as a key element of experiencing 'feeling architecture', Budownictwo i Architektura 2019, 18(1), 11-21, DOI: 10.24358/Bud-Arch\_19\_181\_02.
- [3] Dick R., Applied scotobiology in luminaire design, Lighting Research and Technology 2013, 46(1), 50-66, DOI: 10.1177/1477153513505758.
- [4] Falchi F., Cinzano P., Elvidge C.D., Keith D.M., Haim A., Limiting the impact of light pollution on human health, environment and stellar visibility, Journal of Environmental Management 2011, 92(10), 2714-2722, DOI: 10.1016/j.jenvman.2011.06.02.
- [5] Cinzano P., Falchi F., Elvidge C.D., The first world atlas of the artificial night sky brightness, Monthly Notices of the Royal Astronomical Society 2001, (328), 689-707.

- [6] Falchi F., Furgonia R., Gallaway T.A., Rybnikova N.A., Portnov B.A., Baugh K., Cinzano P., Elvidge C.D., Light pollution in USA and Europe: The good, the bad and the ugly, *Journal of Environmental Management* 2019, 248, 109227, DOI: 10.1016/j.jenvman.2019.06.128.
- [7] Ustawa z dnia 27 kwietnia 2001 r. Prawo ochrony środowiska, Dz.U. 2001, Nr 62, poz. 627 tj.
- [8] Riegel K.W., Light pollution, *Science* 1973, 179, 4080, 1285-1291, DOI: 10.1126/science.179.4080.1285.
- [9] Cinzano P., Falchi F., Elvidge C.D., Baugh K.E., The artificial night sky brightness mapped from DMSP satellite Operational Linescan System measurements, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 2000, (318), 641-657.
- [10] Rich C., Longcore T., Ecological light pollution, *Frontiers in Ecology and the Environment* 2004, 2(4), 191-198, DOI: 10.1890/1540-9295(2004)002[0191:ELP]2.0.CO;2.
- [11] Naterer A., Žižek A., Lavrič M., The quality of integrated urban strategies in light of the Europe 2020 strategy: The case of Slovenia, *Cities* 2018, 72, 369-378, DOI: 10.1016/j.cities.2017.09.016.
- [12] PN-EN 12464-2:2014-05. 2014 Światło i oświetlenie. Oświetlenie miejsc pracy – Część 2: Miejsca pracy na zewnątrz.

## **A coherent lighting strategy for urban spaces as a tool to mitigate light pollution**

### **ABSTRACT:**

This article focuses, in particular, on the role of urban interior lighting, which on the one hand is a crucial element for creating urban space and on the other hand is a significant source of light pollution. One of the factors generating light pollution is the use of lighting with too high an intensity. For the purposes of the study, only street light installations were considered as light polluting emitters. The occurrence of light pollution is facilitated by legal regulations, including road lighting. The paper shows that the selection of parameters such as: type of light sources, colour temperature, intensity of emitted light, luminaire and location of lighting installation can mitigate light pollution.

### **KEYWORDS:**

light pollution; illumination; light strategy