

# Instalacja oświetleniowa kompleksu biurowego jako źródło zanieczyszczenia świetlnego

Lighting installation of an office complex as a source of light pollution

TOMASZ ŚCIEŻOR, ANNA CZAPLIKA

DOI 10.36119/15.2022.6.5

Kompleksy biurowe zajmują coraz większą powierzchnię we współczesnych miastach. Obszary przez nie zajmowane są, jednocześnie, jednymi z najlepiej oświetlonych elementów urbanistycznych. Jest to związane zarówno z oświetleniem wewnętrznym pomieszczeń biurowych, jak też oświetleniem zewnętrznym parkingów lub dojazdów. Ponadto, z tego typu obiektami związane jest zawsze oświetlenie reklamowe. Prowadzone prace remontowe w jednym z tego typu kompleksów w Krakowie pozwoliły na przeprowadzenie unikalnych badań pozwalających stwierdzić, jak różne składowe jego oświetlenia wpływają na poszczególne kategorie zanieczyszczenia świetlnego. Stwierdzono prawidłową konstrukcję wszystkich źródeł światła. W części kompleksu stwierdzono występowanie zjawisk nadmiernego oświetlenia oraz oślnienia, związanego z panelami reklamowymi. Głównym jednak problemem jest odbijanie światła, o zbyt dużym natężeniu, przez jasne nawierzchnie, zwłaszcza traktów pieszych, co wpływa znacząco na jasność tony świetlnej Krakowa.

*Słowa kluczowe: zanieczyszczenie świetlne, sztuczne oświetlenie, kompleksy biurowe, budynki biurowe*

Office complexes occupy more and more space in modern cities. Their areas are, at the same time, one of the best-lit urban elements. It is related both to the internal lighting of office spaces, as well as to the external lighting of parking lots or access roads. Moreover, advertising lighting is always associated with this type of objects. Renovation works carried out in one of such complexes in Kraków (Poland) allowed for the unique research allowing to determine how the various components of its lighting affect the individual categories of light pollution. The correct construction of all light sources was found, but in part of the complex, the phenomena of excessive lighting and glare associated with advertising panels were found. However, the main problem is the reflection of too much light by bright surfaces, especially pedestrian routes, which significantly affects the brightness of the artificial sky glow of Kraków.

*Keywords: light pollution, artificial lighting, office complexes, office buildings*

## Wprowadzenie

Problematyka zanieczyszczenia świetlnego, określanego też jako zanieczyszczenie światłem (ang. *light pollution*) jest coraz częściej opisywana w literaturze zarówno zagranicznej [1, 2, 3], jak również krajowej [4, 5, 6]. Zazwyczaj jednak poruszane są, oddzielnie, aspekty astronomiczne [7] bądź ekologiczne [8] tego zagadnienia. W ramach zanieczyszczenia świetlnego wyróżnia się najczęściej następujące trzy główne szkodliwe zjawiska: oślnienie, określane też jako oślepianie (ang. *glare*), zaświecanie (ang. *trespass*) oraz sztuczną poświatę niebieską, określaną również jako tona świetlną (ang. *sky glow*) [9]. Pierwsze dwa z wymienionych zjawisk, często występujące wspólnie, mają zasięg lokalny. Niewłaściwie

skierowane, zbyt silne światło, oświetlające teren sąsiedni w stosunku do intencjonalnie oświetlanego (zaświecanie), oddziałuje bezpośrednio na zmysł wzroku ludzi i zwierząt, powodując zaburzenia percepcji wzrokowej (oślepianie). Trzecie zjawisko, czyli tona świetlna, polega na rozjaśnieniu nocnego nieba na skutek rozpraszania sztucznego światła w atmosferze, przez co zasięg jej wpływu na środowisko znacznie przekracza rozmiary obszaru emitującego to światło. Właśnie to ostatnie pojęcie jest często utożsamiane z astronomicznym zanieczyszczeniem świetlnym, podczas gdy dwa pierwsze utożsamia się z ekologicznym zanieczyszczeniem świetlnym.

Miasta są najczęściej opisywane jako źródła sztucznej poświaty niebieskiej (tona świetlnej) [10]. Rzadko jednak analizowane

są poszczególne źródła światła sztucznego w obrębie miast i ich wkład do szeroko rozumianego zanieczyszczenia świetlnego, zwłaszcza w aspekcie zjawisk oślnienia czy zaświecania okolicy. Niekiedy efekty te są opisywane w związku z zagrożeniem dla lokalnych ekosystemów [8, 11].

Już pod koniec XX w. zwrócono uwagę na budynki biurowe jako jedno z głównych źródeł zanieczyszczenia świetlnego [12]. Związane jest to zarówno z ich oświetleniem wewnętrznym, często działającym przez całą dobę, jak też z oświetleniem zewnętrznym parkingów, dojazdów lub elementów reklamowych [13]. Następujący w ostatnich latach gwałtowny rozwój kompleksów biurowych pogłębił problem wpływu ich oświetlenia na otoczenie. Analiza zdjęć satelitarnych dowodzi, że w wielu przypadkach kompleksy biurowe

dr hab. Tomasz Ścieżor, <https://orcid.org/0000-0001-6158-6074>, dr hab. inż. Anna Czaplicka, <https://orcid.org/0000-0002-2063-9034> – Pracownia Monitoringu Zanieczyszczenia Świetlnego, Wydział Inżynierii Środowiska i Energetyki, Politechnika Krakowska, Kraków. Adres do korespondencji/ Corresponding author: [tsciezor@pk.edu.pl](mailto:tsciezor@pk.edu.pl)

stanowią najsilniejsze emityery sztucznego światła w nocy [14, 15].

Na przełomie 2021 i 2022 r. rozpoczęto prace remontowe w obrębie jednego z takich kompleksów w Krakowie. W ramach tych prac wyłączane były różne składowe oświetlenia budynków i ich otoczenia. Stworzyło to niepowtarzalną okazję do zbadania, które ze składowych oświetlenia kompleksu biurowego najsilniej wpływają na poziom zanieczyszczenia świetlnego miasta. Badania te wykonano w ramach działań Pracowni Monitoringu Zanieczyszczenia Świetlnego (PMZŚ), działającej w Politechnice Krakowskiej. Dzięki współpracy z administracją kompleksu, możliwe było nie tylko wykonywanie badań w nocy w różnych warunkach oświetleniowych i pogodowych, jak również z dachu jednego z budynków.

## Uwarunkowania przestrzenne i czasowe pomiarów

### Obszar badań

Badany kompleks biurowy (określany dalej jako KR2022/1) zlokalizowany jest w Krakowie przy ulicy Armii Krajowej 16-18. Obejmuje on zespół biurowców Korona Office Complex, złożony z trzech dziesięciopiętrowych budynków *Edison* (E), *Newton* (N) i *Galileo* (G) oraz sześciopiętrowego budynku *Pascal* (P) (rys. 1).



Rys. 1. Kompleks biurowy KR2022/1. Elewacja południowa, wzdłuż ul. Armii Krajowej (fot. T. Ścieżor)

Fig. 1. The office complex KR2022/1. The southern elevation, along Armii Krajowej street (photo: T. Ścieżor)

Całość obszaru objętego badaniami ma nieregularny kształt, zbliżony do lustrzanego odbicia litery L. Jego powierzchnia równa jest 15584 m<sup>2</sup>, z czego biurowce E, N i G zajmują 1230 m<sup>2</sup> (wysokość każdego: 46 m), natomiast biurowiec P – 930 m<sup>2</sup> (wysokość: 24 m). Reprezentacyjną elewację kompleksu wzdłuż ul. Armii Krajowej tworzą, poczynając od zachodu, fasady budynków G, N i E.

Na analizowanym terenie znajdują się cztery parkingi podziemne, do których wjazdy osłonięte są nadbudowami o ścia-

nach bocznych porośniętych pnączami. Trzy nadbudowy wznoszą się między biurowcami G i N (Par1), N i E (Par2) oraz P i G (Par3). Czwarta nadbudowa (Par4) przykrywa wjazd do parkingu przylegającego do południowo-wschodniego narożnika budynku. Wszystkie nadbudowy, poza Par3, przykryte są zielonymi dachami (porośniętymi roślinnością). Niezależnie od parkingów podziemnych, w obrębie kompleksu znajduje się szereg parkingów naziemnych, zlokalizowanych wzdłuż elewacji bocznych budynków P, G i N oraz przy drodze wewnętrznej kompleksu, wzdłuż granicy z działką Nr 730/18.

Wzdłuż południowych, reprezentacyjnych elewacji budynków E, N i G zlokalizowano trakt pieszy w formie szerokiego deptaku. Przy jego zewnętrznej krawędzi, przy granicy kompleksu, usytuowanych jest siedem pergoli rekreacyjnych z ławeczkami w środku, porośniętych roślinnością pnącą oraz, między nimi, trzy pergole szklane zwane *palarniami* (są przeznaczone dla palaczy). Czwarta pergola szklana (*palarnia*) usytuowana jest przy wjeździe na teren posesji od północy, od ul. Lea. Ponadto, wzdłuż elewacji południowych budynków E, N i G, zbudowano między nimi konstrukcje stalowe w formie parawanów z pnącą roślinnością i ławeczkami zwane *mini pergolami*, oddzielające obszary parkingów naziemnych od depta-

jego południowej elewacji, ul. Armii Krajowej, biegnący wzdłuż niej chodnik połączono schodami z opisanym wcześniej deptakiem. Schody te usytuowane są naprzeciw wejść do budynków G, N i E. Wzdłuż wschodnich krawędzi tych schodów umieszczono panele informacyjne. Każdy z paneli składa się z cokołu wznoszącego się do wysokości 1,5 m nad poziomem deptaku oraz części świecącej typu LED o wysokości 2,5 m.

### Zakres czasowy pomiarów

Pomiary wykonywane były w ciągu trzech nocy: 24/25 stycznia, 1/2 lutego oraz 23/24 marca 2022 r. Pierwsze dwie noce, w czasie których część oświetlenia budynków była wyłączona, zostały wybrane pod kątem różnych warunków atmosferycznych (pierwsza: zachmurzenie pełne, druga: zachmurzenie zmienne). W ciągu trzeciej nocy niebo pozostawało bezchmurne, jednak włączone były te składowe oświetlenia kompleksu biurowego, które w trakcie poprzednich pomiarów pozostawały wyłączone (oświetlenie elewacyjne ozdobne i dwa z trzech paneli informacyjnych LED). Otrzymany w ten sposób zestaw danych pomiarowych umożliwił przeprowadzenie analizy całości oświetlenia kompleksu. W czasie wszystkich trzech nocy Księżyc był w fazie zbliżonej do nowiu lub znajdował się głęboko pod horyzontem, przez co jego światło nie wpływało na wyniki pomiarów. Pomiary wykonywano po zapadnięciu nocy, dzięki czemu naturalne zmiany jasności otoczenia w czasie zmierzchu nie wpływały na mierzone wartości.

### Miejsca usytuowania punktów pomiarowych

W obrębie badanego obszaru wytyczono trzy transekty (przekroje) pomiarowe podłużne (N, M, S) i osiem transektów poprzecznych (I-VIII). Wzdłuż transektów usytuowano 79 punktów pomiarowych (rys. 2), w których, przy pomocy luksomierza, mierzono natężenie oświetlenia na powierzchni gruntu.

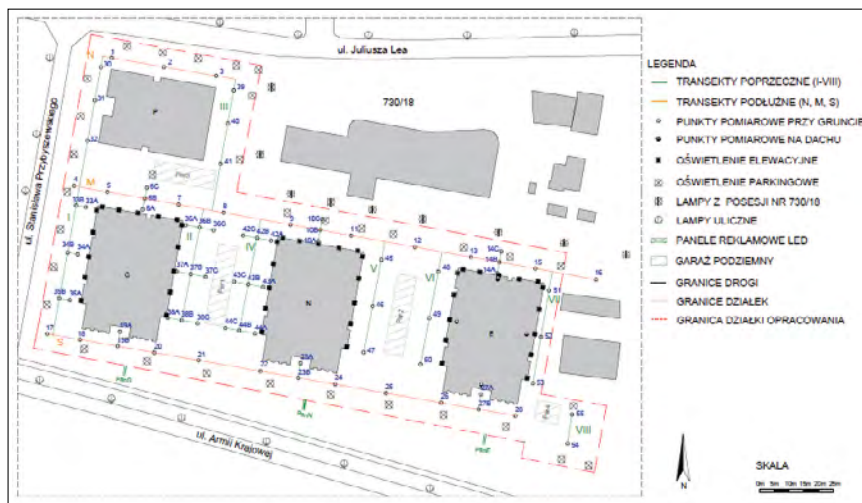
Wykonywano również pomiary wzdłuż szeregu sub-transektów usytuowanych prostopadle do elewacji biurowców (literą A oznaczono punkty pomiarowe znajdujące się przy ścianach budynków).

Pomiary wykonywano zarówno przy włączonym, jak też przy częściowo bądź całkowicie wyłączonym oświetleniu obszaru badań (przez lampy wolno stojące, stropowe przy wejściach, elewacyjne, jak również panele informacyjne LED).

Dodatkowo na dachu biurowca E wyznaczono cztery punkty pomiarowe (po

ku. Dwie podobne mini pergole wznoszą się przy zachodniej elewacji biurowca G oraz przy południowo-zachodnim narożniku biurowca P. Wzdłuż wschodniej elewacji budynku E znajduje się *pergola rowerowa*, z stojakami na rowery, obrośnięta roślinnością. Zarówno nadbudowy wjazdów do parkingów podziemnych, jak pergole, wznoszą się na wysokość 2,95 m nad poziom gruntu.

W związku z tym, że badany obszar położony jest na wysokości ok. 1 m względem poziomu, przebiegającej wzdłuż



**Rys.2.** Mapa obszaru pomiarowego KR2022/1 z zaznaczonymi transektami i punktami pomiarowymi (wykonanie własne autorów)  
**Fig.2.** Map of the KR2022/1 measurement area with marked transects and measurement points

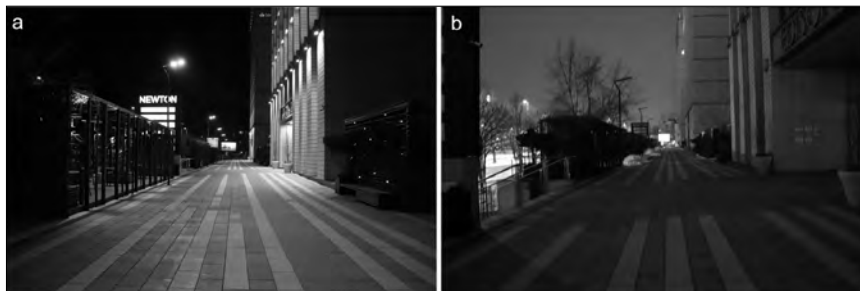
jednym przy każdej krawędzi dachu), w których mierzono zarówno natężenie oświetlenia przez łunę świetlną nocnego nieba (przy pomocy luksomierza), jak też jej jasność powierzchniową (przy pomocy miernika SQM).

### Oświetlenie badanego kompleksu

#### Specyfikacja oświetlenia

Na analizowanym obszarze wyodrębniono następujące rodzaje oświetlenia (we wszystkich przypadkach typu LED):

- lampy wolno stojące (WST), oświetlające trakty jezdne oraz piesze wzdłuż zewnętrznych granic kompleksu (za wyjątkiem fragmentu granicy wschodniej). Lampy te oświetlają usytuowane przy nich naziemne miejsca parkingowe, wjazdy do parkingów podziemnych oraz chodnik (deptak) przy południowej granicy badanego obszaru (transekt S) (rys.3);
- oświetlenie elewacyjne (ELE), zamontowane na poziomie stropu pierwszej kondygnacji (ok. 5 m nad powierzchnią ziemi) elewacji wschodnich, zachodnich i północnych budynków G, N i E. Lampy te, skierowane ku dołowi, oświetlają podłoże obszarów bezpośrednio z nimi sąsiadujących (w tym naziemne miejsca parkingowe znajdujące się między budynkami G i N oraz N i E);
- oświetlenie elewacyjne ozdobne (ELO), zamontowane wyłącznie na południowych, reprezentacyjnych elewacjach biurowców. Dziesięć lamp, świecących w dół, zamontowano na poziomie stropu drugiej kondygnacji; dziewięć lamp, świecących w górę, na poziomie parapetów pierwszej kondygnacji okien



**Rys.3.** Transekt S, widok w kierunku zachodnim, przy oświetleniu włączonym (a) i wyłączonym (b). W drugim przypadku widoczne jest jedynie oświetlenie sąsiedniej ul. Armii Krajowej oraz (w oddali) tablicę reklamową LED, poza obszarem badań (fot. T. Ścieżor)  
**Fig.3.** Transect S, view towards the west, with the lighting switched on (a) and off (b). In the second case, only the lighting of the adjacent Armii Krajowej street and (in the distance) a LED advertising board, outside the research area (photo: T. Ścieżor)

- oraz dziesięć takich samych, świecących w górę lamp, na poziomie parapetów najwyższej kondygnacji okien;
- oświetlenie stropowe (STR), zamontowane wewnątrz wnęk wejściowych do budynków oraz nadbudów wjazdów do parkingów podziemnych. Oświetlenie to praktycznie nie emituje światła na zewnątrz, toteż nie było przedmiotem badań;
- panele świetlne (PAN), informujące o użytkownikach biurowców, zamontowane naprzeciw wejść do budynków G, N i E, po jednym przed każdym biurowcem. Są to panele dwustronne, widoczne z deptaku (transekt S) oraz z chodnika poniżej;
- oświetlenie reklamowe (REK) w górnej części elewacji bocznych i tylnych wszystkich budynków kompleksu.

Nadbudowy wjazdów do parkingów podziemnych, znajdujące się między budynkami E i N oraz N i G, skutecznie ekranują światła pochodzące od przeciwległych budynków w czym dodatkowo pomagają porastające je pnącza. Dodat-

kowo, nadbudowy te, jak również nadbudowa wjazdu do parkingu podziemnego przy biurowcu E, mają zielone dachy, które ograniczają emisję światła w górę.

Badany obszar jest oświetlany nie tylko przez znajdujące się na nim lampy, lecz również przez lampy znajdujące się na terenach przyległych. W szczególności dotyczy to oświetlenia przez lampy zamontowane wzdłuż sąsiedniej ul. Armii Krajowej. Oświetlenie to nie sięga jednak do wnętrza badanego kompleksu, gdyż skutecznie ekranuje je „ściana” mini-pergoli między parkingami naziemnymi (transekty II, IV, V, VI) a deptakiem przy południowych elewacjach budynków E, N i G (transekt S). Również pergole rekreacyjne, rozmieszczone przy południowej krawędzi tego deptaku, ekranują zarówno część opisywanego oświetlenia ulicznego, jak

też światła emitowanego przez wschodnie płaszczyzny paneli świetlnych (PAN). Ekranowanie to jest niewątpliwie znacznie efektywniejsze w okresie późnej wiosny, lata i wczesnej jesieni, gdy zazielenią się pnącza porastające pergole. Dodatkowo, na południe od budynku E, już poza obszarem badań, rosną drzewa, które również ekranują tego typu światło. Zachodnia granica kompleksu (transekt I) oświetlana jest, z kolei, przez lampy usytuowane po przeciwnej stronie ul. Przybyszewskiego, natomiast granica północna przez lampy usytuowane po przeciwnej stronie ul. Lea. Droga wewnętrzna kompleksu biurowego (transekt M) oświetlana jest dodatkowo przez lampy sodowe (HPS) znajdujące się na sąsiedniej posesji (Nr 730/18), wzdłuż granicy działki.

#### Oświetlenie kompleksu biurowego w czasie badań

W okresie badawczym w kompleksie odbywały się prace remontowe. W efekcie, możliwe było przeprowadzenie pomiarów w różnych sytuacjach oświetleniowych, co

umożliwiło późniejszą analizę wpływu poszczególnych kategorii oświetlenia na zanieczyszczenie świetlne generowane przez badany kompleks biurowy.

Wyróżniono dwie sytuacje, uwarunkowane przebiegiem prac remontowych:

- w nocy 24/25 stycznia oraz 1/2 lutego początkowo włączone było pełne oświetlenie WST (z wyjątkiem trzech lamp w południowo-zachodniej części kompleksu), ELE (z wyjątkiem budynku G), STR (z wyjątkiem nadbudowy parkingu podziemnego Par3) i REK. Około północy również i te oświetlenia były wyłączane (ELO i PAN pozostawały wyłączone przez całą noc), tak więc wyłączone zostawało całe oświetlenie własne badanego kompleksu biurowego;
- w nocy 23/24 marca włączona już była całość wymienionego wcześniej oświetlenia, wyłączony pozostawał jedynie wschodni panel LED (PanE)

## Warunki pogodowe

Pierwsze dwie noce pomiarowe zostały wybrane w ten sposób, aby możliwe było wykonanie pomiarów natężenia oświetlenia powierzchni ziemi zarówno w czasie nocy bezchmurnej, przy minimalnej jasności tony świetlnej, jak też przy pełnym zachmurzeniu, gdzie jasność tony świetlnej Krakowa osiąga wartość maksymalną. W obu przypadkach zmierzono zarówno jasność powierzchniową tej tony, jak też natężenie oświetlenia gruntu.

W czasie drugiej nocy pomiarowej, 1/2 lutego, niebo było pokryte chmurami piętra niskiego. Zachmurzenie zmieniało się nieustannie, chwilami większość nieba pozbawiona była chmur, co pozwalało wykonywać pomiary w warunkach nieba bezchmurnego. W czasie trzeciej nocy pomiarowej (23/24 marca), gdy włączone było pełne oświetlenie badanego kompleksu, niebo było całkowicie bezchmurne, przez co niewielka jasność tony świetlnej praktycznie nie wpływała na mierzone wartości natężenia oświetlenia.

## Aparatura pomiarowa

Pomiary jasności powierzchniowej nocnego nieba wykonano za pomocą ręcznych fotometrów Sky Quality Meter (SQM-L) firmy Unihedron, dedykowanych do tego celu badań. Mierzona wartość wysświetlana jest w powszechnie stosowanych w tej dziedzinie jednostkach jasności powierzchniowej ( $S_a$ ), magnitudo na sekundę kątową do kwadratu ( $\text{mag}/\text{arcsec}^2$ ). Skala ta jest skalą logarytmiczną

i odwrotną, tzn. większa zmierzona wartość oznacza mniejszą jasność powierzchniową nieba. Specyfikacja mierników, podana przez producenta, umożliwia powiązanie tej skali z luminancją, której jednostką w układzie SI jest kandela na metr kwadratowy ( $\text{cd}/\text{m}^2$ ), czy też na jej jednostką pochodną, częściej używaną przy pomiarach jasności powierzchniowej nocnego nieba,  $\text{mcd}/\text{m}^2$ . W pracy podane są zarówno mierzone wartości  $S_a$ , jak też odpowiadające im wartości luminancji.

Do pomiarów natężenia oświetlenia powierzchni ziemi (L) wykorzystywany był panel sterujący Sonopan P-200 wyposażony w wysokoczułą głowicę fotometryczną L-200, o dokładności pomiaru 0,001 lx.

Do wykonania fotografii użyto aparatu Canon 800D z obiektywem standardowym, pracującym w trybie RAW + jpg.

Rodzaje źródeł światła (LED, HPS) określano na podstawie analizy widm otrzymanych przy użyciu przyrządu Amiego prostego widzenia.

## Metodologia pomiarów

### Określenie radiancji

Do analizy wielkości emisji świetlnej (radiancji) z badanego obszaru wykorzystano zdjęcia uzyskane przy pomocy specjalizowanej kamery VIIRS/DNB umieszczonej na pokładzie satelity Suomi NPP [16]. Rozdzielczość tych zdjęć wynosi 500 m, co umożliwia szczegółową analizę rozkładu radiancji, czyli natężenia światła emitowanego w zenit z danego terenu, z tą właśnie dokładnością. Z aktualnej mapy radiancji (rys.4) [17] wynika, że miasto Kraków zalicza się do najsilniejszych emiterów światła skierowanego w zenit, stając się źródłem zanieczyszczenia świetlnego w formie sztucznej poświaty niebieskiej. Jak widać, badany obszar (oznaczony jako KR2022/1) znajduje się w części Krakowa, dla której odnotowano maksymalną wartość radiancji, co auto-

matycznie skutkuje wysokim poziomem zanieczyszczenia świetlnego w formie sztucznej tony świetlnej.

W ramach prowadzonych badań, korzystając z analogicznych map radiancji z lat 2012-2021, określono jej wartość w każdym roku dla badanego obszaru.

### Pomiary zenitalnej jasności powierzchniowej nocnego nieba

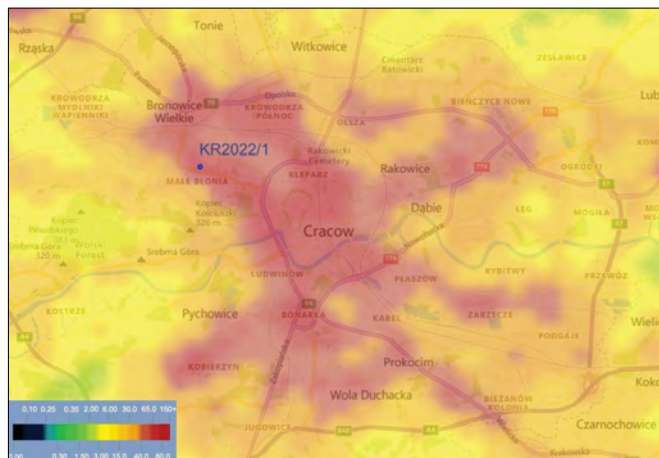
W ramach prowadzonych badań wykonano pomiary jasności powierzchniowej nocnego nieba przy oknach pomiarowych mierników SQM-L skierowanych w zenit. Pomiary powtarzano każdorazowo do momentu uzyskania stabilności wyniku z dokładnością do 0,03  $\text{mag}/\text{arcsec}^2$  przy trzech kolejnych odczytach. W celu uniknięcia bezpośredniego wpływu okolicznych źródeł światła na mierzoną wielkość, pomiary te wykonano z dachu budynku E.

### Pomiary natężenia oświetlenia

Pomiary natężenia oświetlenia wykonano na poziomie gruntu, przy głowicy fotometrycznej luksomierza skierowanej w zenit. Pomiary wykonywano w określonych odstępach wzdłuż kolejnych transektów (rys.2). Wykonano również pomiary z dachu budynku E pozwoliły na określenie wkładu miejskiej tony świetlnej do oświetlenia powierzchni ziemi. Z tego samego miejsca zmierzono natężenie oświetlenia od reklamy świetlnej znajdującej się w górnej części budynku N.

Pomiary wykonywano przy w pełni włączonym oświetleniu badanego obszaru, jak też: przy oświetleniu całkowicie wyłączonym, oświetleniu włączonym częściowo (pierwsze dwie noce pomiarowe) lub pełnym oświetleniu (trzecia noc pomiarowa). W każdym przypadku dodatkowymi źródłami oświetlenia pozostawało oświetlenie komunalne okolicznych ulic, czyli ul. Armii Krajowej, ul. Przybyszewskiego, ul. Lea, jak też sąsiedniej posesji nr 730/18.

**Rys.4.** Radiancja zmierzona satelitem w 2021 r. dla Krakowa, z zaznaczonym położeniem obszaru badań (KR2022/1). Podana skala wyrażona jest w jednostkach  $10^{-9} \text{ W}/\text{cm}^2 \cdot \text{sr}$  [17]  
**Fig.4.** Radiancie measured by satellite in 2021 for Krakow, with the location of the research area marked (KR2022/1). The scale given is expressed in units of  $10^{-9} \text{ W}/\text{cm}^2 \cdot \text{sr}$  [17]



W celu zbadania możliwości wystąpienia zjawiska oślnienia (oślepienia) przechodniów przez silne źródła światła, jakimi są informacyjne panele świetlne (PanO i PanN), wykonano również pomiary natężenia oświetlenia w płaszczyźnie równoległej do tych paneli, w punktach rozmieszczonych wzdłuż transektu S (deptaku). W celu uniknięcia wpływu okolicznych źródeł światła na wynik pomiaru, w tym przypadku na głowicę luksonierza nałożono odpowiednią osłonę kierunkową.

### Fotografie stożków świetlnych lamp oraz rozkładu oświetlenia powierzchni gruntu

W celu określenia prawidłowości montażu lamp WST, wykonano fotografie stożków świetlnych tych lamp na obszarze transektów S i M. Z poziomu dachu budynku E wykonano również fotografie całego obszaru KR2022/1 przy w pełni włączonym oświetleniu. Przeprowadzono analizę densytometryczną wszystkich wykonanych fotografii.

### Pomiary

#### Radiancja

Odczytana z danych satelitarnych wartość średniej radiancji dla obszaru KR2022/1 w 2021 r. wyniosła  $118,87 \cdot 10^{-9} \text{ W/cm}^2 \cdot \text{sr}$ . W latach 2012-2020 radiancja z tego obszaru zmieniła się w granicach  $55,09 \div 88,20 \text{ W/cm}^2 \cdot \text{sr}$ , co oznacza, że w 2021 r. nastąpił wzrost o średnio 67% w stosunku do wartości z lat poprzednich. Można przypuszczać, że jest to związane z rozbudową jasno oświetlonych kompleksów biurowych w tym rejonie.

#### Pomiary jasności powierzchniowej nieba

Pomiary jasności powierzchniowej nieba całkowicie zachmurzonego niskimi chmurami, wykonane z dachu budynku E, dały wartość  $S_a$  równą  $14,7 \text{ mag/arcsec}^2$ , co odpowiada luminancji  $143,6 \text{ mcd/m}^2$ . Analogiczne pomiary jasności nieba bezchmurnego dały wartość  $S_a$  równą  $18,3 \text{ mag/arcsec}^2$ , co odpowiada luminancji  $5,21 \text{ mcd/m}^2$ .

#### Pomiary natężenia oświetlenia

Wykonany na dachu budynku E pomiar natężenia oświetlenia wykazał wartość  $0,82 \text{ lx}$  przy niebie całkowicie zachmurzonym niskimi chmurami (noc 24/25.01) oraz  $0,07 \text{ lx}$  przy niebie zachmurzonym częściowo (noc 1/2.02). Wartości te nie zależały od tego, czy oświetlenie badanego obszaru było włączone, czy nie, toteż nie powtarzano go

w czasie trzeciej nocy pomiarowej (23/24.03).

Zmierzono natężenie oświetlenia powierzchni ziemi wzdłuż opisanych wcześniej transektów (tabela 1) (rys.5).

**Tabela 1. Natężenie oświetlenia powierzchni ziemi w kompleksie KR2022/1 w różnych warunkach oświetleniowych (znakiem X zaznaczono włączone lampy)**

**Table 1. The illuminance of the ground in the KR2022/1 complex under different lighting conditions (the X mark indicates the lamps turned on)**

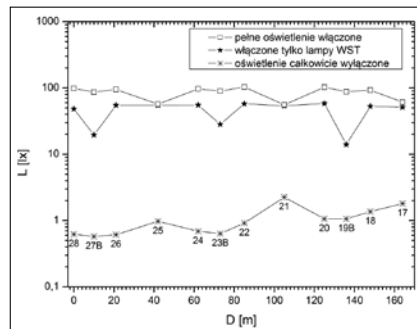
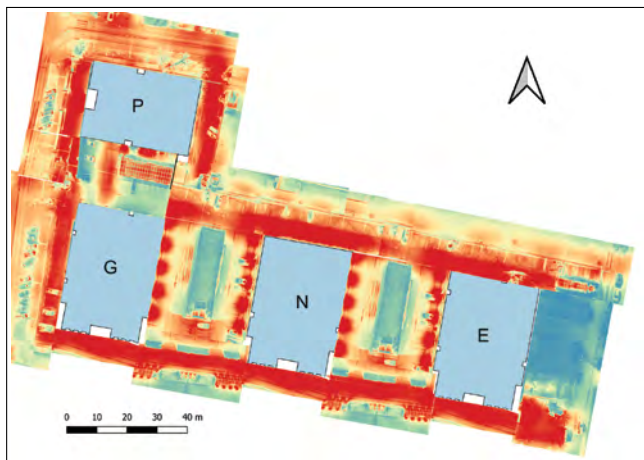
Transekt	Lampy				Natężenie oświetlenia [lx]
	WST	ELE	ELO	STR	
S (deptak)	—	—	—	—	$0,6 \div 1,1$
	X	—	—	—	$20^* \div 50^{**}$
	X	X	X	X	$20^* \div 100^{***}$
M	—	—	—	—	$4 \div 8^{****}$
	X	X	—	—	50
M (subtransekt)	X	X	—	—	$17 \div 32$ (A) $63 \div 116$ (C)
	—	—	—	—	$2 \div 3$
N	X	—	—	—	$50 \div 70$
	—	—	—	—	$2 \div 3$
I	X	—	—	—	50
	—	—	—	—	$0,2 \div 0,5$
VIII	X	—	—	X	31
	—	—	—	—	$0,5 \div 1,0$
II, IV, V, VI	—	—	—	—	$40$ (B) $\div 80$ (A)
	—	X	—	—	

- \* – w połowie odległości między lampami
- \*\* – bezpośrednio pod lampami
- \*\*\* – przed wejściami do budynków
- \*\*\*\* – oświetlenie przez lampy z sąsiedniej posesji (w części zachodniej transektu, gdzie tych lamp nie ma:  $0,5 \text{ lx}$ )

Na rys.6 pokazano zmiany natężenia oświetlenia pochodzącego od paneli informacyjnych LED (w płaszczyźnie równoległej do tych paneli), w zależności od odległości od przejścia.

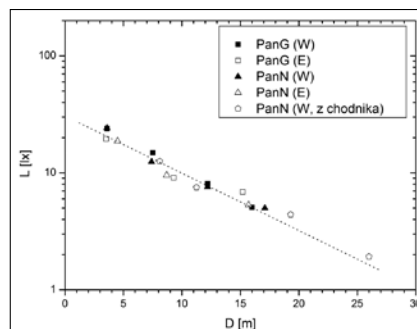
Dodatkowo, zmierzono również natężenie oświetlenia reklamowego (REK), znajdującego się w górnej części elewacji bocznej budynku N. Pomiary kierunkowe, wykonane w płaszczyźnie równoległej do tej elewacji, z poziomu dachu sąsiedniego budynku E, z odległości 40 m, wykazały oświetlenie o natężeniu  $0,55 \text{ lx}$ .

**Rys.7. Ekwidensytometria obszaru badanego kompleksu biurowego. Barwa czerwona oznacza najsilniejszą emisję światła z powierzchni ziemi, barwa zielona i niebieska – najsłabszą emisję**  
**Fig.7. Equidensitometry of the studied office complex. The red color means the strongest light emission from the earth's surface, the green and blue color – the weakest emission**



**Rys.5. Zmiany natężenia oświetlenia powierzchni ziemi wzdłuż transektu S (deptaku). Odległość D rośnie w kierunku zachodnim. Numery punktów pomiarowych odpowiadają numerom zaznaczonym na planie obszaru KR2022/1 (rys.2)**

**Fig.5. Changes in the illuminance of the ground along the S transect (promenade). The distance D increases to the west. The numbers of measurement points correspond to the numbers marked on the KR2022/1 map (fig.2)**



**Rys.6. Zmiany natężenia oświetlenia w płaszczyźnie widzenia przechodnia, w miarę oddalania się od paneli informacyjnych LED (z poziomu deptaku, jak również z poziomu chodnika wzdłuż ul. Armii Krajowej)**

**Fig.6. Changes in the illuminance of a pedestrian moving away from the LED information panels (from the promenade level, as well as from the sidewalk along Armii Krajowej street)**

#### Fotografie

Wykonano szereg zdjęć, zarówno z powierzchni ziemi, jak też z poziomu dachu budynku E, których celem było przeprowadzenia analizy fotometrycznej (ekwidensytometrii) oświetlenia badanego obszaru (rys.7).

Dodatkowo, dzięki lekkiemu zamgleniu atmosfery w nocy 24/25.01 możliwe było wykonanie zdjęć, pokazujących stożki świetlne lamp WST.

## Podsumowanie

### *Jasność powierzchniowa nieba*

Wyznaczona dla stanowiska KR2022/1 jasność powierzchniowa nocnego, całkowicie zachmurzonego nieba ( $S_a$ ) mieści się w zakresie luminancji typowych dla centrum dużego miasta [18]. Jednocześnie około czterokrotnie przekracza ona jasność nieba rozjaśnionego światłem Księżyca w pełni. Niebo o tej jasności powierzchniowej powinno dawać oświetlenie powierzchni ziemi o natężeniu ok. 0,5 lx [19]. Jest to, z kolei, wielkość ponad dwukrotnie przekraczająca oświetlenie powierzchni ziemi przez Księżyc w pełni, w szerokościach geograficznych Polski [20].

Analogiczny pomiar wykonany dla nieba bezchmurnego wykazał wartość  $S_a$  równą 18,3 mag/arcsec<sup>2</sup> (luminancja 5,21 mcd/m<sup>2</sup>). Oznacza to, że na badanym obszarze luminancja nieba zachmurzonego jest prawie 30 razy większa niż ta sama wielkość dla nieba bezchmurnego. Co więcej, zmierzona jasność powierzchniowa jest blisko dwukrotnie wyższa niż przewidywana dla obszaru badań w modelu opublikowanym w 2015 r. (3,81 mcd/m<sup>2</sup>) [17].

### *Natężenie oświetlenia powierzchni ziemi*

Najwięcej rodzajów lamp występuje wzdłuż reprezentacyjnej, południowej elewacji kompleksu KR2022/1. Przy całkowicie wyłączonym oświetleniu jedynym źródłem oświetlenia biegnącego wzdłuż niej deptaku (transekt S) są lampy uliczne oświetlające ul. Armii Krajowej, jedną z głównych arterii komunikacyjnych Krakowa. Zmiany natężenia oświetlenia wzdłuż transektu związane są ze skośnym położeniem tej elewacji (a więc i deptaku) w stosunku do ulicy. Zmierzone w tych warunkach wartości (0,6÷1,1 lx) są zbliżone do natężenia oświetlenia dachu budynku E przy całkowicie zachmurzonym niebie. Można w takim razie założyć, że naturalny, maksymalny poziom oświetlenia gruntu przez tynę świetlną Krakowa wynosi ok. 0,6 lx. Stosunkowo niskie mierzone wartości, pomimo bliskości jasno oświetlonej ul. Armii Krajowej, związane są z częściowym ekranowaniem oświetlenia ulicznego przez drzewa oraz opisane wcześniej pergole, znajdujące się między deptakiem i ulicą. Porównanie z natężeniami oświetlenia zmierzonymi na odcinkach, gdzie

ekranowanie to nie występuje, pozwala stwierdzić, że obiekty ekranujące (drzewa, pergole) zmniejszają natężenie oświetlenia deptaku o 0,1÷0,5 lx. Po włączeniu lamp WST, zwłaszcza w połączeniu z lampami ELE i ELO, oświetlenie powierzchni deptaku znacząco rośnie, osiągając natężenie nawet 100 lx (tabela 1).

Droga wewnętrzna kompleksu (transekt M) jest oświetlana zarówno przez lampy WST i ELE, jak też, do odległości ok. 110 m (licząc od wschodu) przez lampy sodowe (HPS), znajdujące się na sąsiedniej posesji (nr 730/18). W efekcie, przy wyłączonym oświetleniu kompleksu KS2022/1, lampy te są jedynym źródłem oświetlenia jego wschodniej części. Natężenie oświetlenia tej drogi (jak też znajdujących się przy jej północnej krawędzi parkingów naziemnych) wynosi wtedy 4÷8 lx. W zachodniej części tego transektu, oświetlanej jedynie przez światło uliczne rozproszone na ścianach budynków, natężenie oświetlenia wynosi jedynie 0,5 lx. Po włączeniu oświetlenia kompleksu, najjaśniej jest bezpośrednio poniżej lamp elewacyjnych, gdzie natężenie oświetlenia przekracza 100 lx, na przeciwnych stanowiskach parkingowych, po drugiej stronie drogi, osiągając ok. 30 lx (tabela 1).

W przypadku transektu N, biegnącego wzdłuż północnej krawędzi obszaru KR2022/1, jedynym źródłem światła przy wyłączonych lampach WST są lampy uliczne przy ul. Lea, dając oświetlenie o natężeniu ok. 3 lx. Po włączeniu lamp WST wartość ta wzrasta do ok. 70 lx (tabela 1).

Stanowiska parkingowe rozmieszczone wzdłuż zachodniej granicy kompleksu KR2022/1 (transekt I) oświetlane są zarówno przez lampy uliczne przy ul. Przybyszewskiego, jak też przez lokalne lampy WST. Gdy lampy WST są wyłączone, natężenie oświetlenia jest praktycznie stałe wzdłuż transektu i wynosi ok. 3 lx. Po włączeniu lamp wzrasta ono do ok. 50 lx (tabela 1).

Natężenie oświetlenia przy głównym, północnym wjeździe na teren kompleksu (od ul. Lea) wynosi ok. 30 lx, przy czym oprócz lokalnych lamp WST wjazd ten (i znajdujące się wzdłuż niego miejsca parkingowe) oświetlany jest światłem lamp sodowych (HPS) z sąsiedniej posesji (ok. 3 lx).

Przy wjeździe do parkingu podziemnego od wschodu (od strony ul. Kołowej) widoczny jest efekt oświetlenia stropowego samego wjazdu. Natężenie oświetlenia powierzchni ziemi wzrasta przed nim od zaledwie ok. 0,5 lx przy wyłączonym oświetleniu do 31 lx przy pełnym oświetleniu (WST oraz STR).

Naziemne miejsca parkingowe (między budynkami G i N oraz N i E) oświetlane są wyłącznie przez oświetlenie elewacyjne (ELE), jedynie od północy do części z nich sięga światło lamp WST oświetlających transekt M. Przy wyłączonych lampach (WST i ELE) natężenie oświetlenia tych obszarów jest bardzo niskie i wynosi najwyżej 1 lx, gdyż pergole ozdobne między budynkami skutecznie ekranują światło przychodzące od południa, z ul. Armii Krajowej. Przy włączonym oświetleniu ELE natężenie oświetlenia bezpośrednio pod elewacjami budynków wynosi ok. 80 lx, natomiast drogi dojazdowe do tych miejsc (biegnące równoległe do elewacji budynku w odległości 4÷10 m) są oświetlane światłem o natężeniu ok. 40 lx.

W żadnym przypadku nie stwierdzono różnic w natężeniach oświetlenia powierzchni ziemi zmierzonych przy różnym stopniu zachmurzenia.

### *Panele informacyjne*

Dodatkowym źródłem światła, tym razem oświetlającym nie tylko powierzchnię ziemi, lecz również przechodniów, spacerujących po deptaku (transekt S) czy sąsiednim chodniku, są świetlne panele informacyjne (PAN). Stwierdzono, że w miarę oddalania się od nich natężenie oświetlenia w płaszczyźnie twarzy przechodniów zmniejsza się od ok. 25 lx (w odległości 3 m) do ok. 2 lx w odległości 25 m.

### *Rozkład natężenia oświetlenia obszaru KR2022/1*

Analiza ekwidensytometryczna kompleksu KR2022/1 wskazała na jego nierównomierne oświetlenie (rys.7). Najjaśniej oświetlony jest deptak wzdłuż jego elewacji południowej, gdzie oprócz lamp WST, ELE i ELO widoczne są też oświetlenia pergol. Jasno oświetlony jest też obszar transektu M (droga wewnętrzna), przy czym widoczne są słabiej oświetlone obszary przy wjazdach do parkingów naziemnych. Podobnie, jasno oświetlony jest obszar wjazdu od północy, od ul. Lea (transekt III), natomiast wyraźnie słabo oświetlony jest obszar wjazdu od ul. Przybyszewskiego (zachodnia część transektu M), gdzie widoczny jest efekt ekranowania przez nadbudowę wjazdu do parkingu podziemnego Par3. Naziemne miejsca parkingowe między budynkami oświetlone są punktowo przez lampy elewacyjne (ELE). Wyraźnie niedoświetlony jest natomiast obszar transektu N, biegnącego wzdłuż północnej elewacji budynku P. Przyczyną są rosnące tam drzewa, które ekranują światło lamp WST.

### Snopy świetlne lamp

Stwierdzono, że lampy WST emitują światło w stożku o rozwartości od 30° do 70° poniżej płaszczyzny horyzontu, przez co oświetlają jedynie przyległe podłoże. Nie są przez nie oświetlone zarówno elewacje budynków, jak też okoliczne obszary zielone.

Lampy ELE emitują światło w dół, w płaszczyźnie elewacji. Rozwartość połowiczna stożka świetlnego jest równa ok. 30°, dzięki czemu podłoże oświetlane jest do odległości 2,5 m od ściany budynku.

Lampy ELO emitują światło w górę, w płaszczyźnie elewacji. Są one jednak zamontowane głęboko we wnętrzu wnęk okiennych, przez co ich światło tylko w niewielkim stopniu rozprasza się w otoczeniu. Dodatkowo, na poziomie parapetów wszystkich wyższych kondygnacji umieszczone są, częściowo przepuszczające światło, ekrany, które powodują, że już na poziomie szóstej kondygnacji budynków efekt oświetlenia przez ELO nie jest widoczny. Na najwyższej kondygnacji budynków w linii tych lamp zamontowano ekrany nieprzeźroczyste, minimalizujące emisję światła tych lamp w niebo.

Lampy STR zamontowane są głęboko wewnątrz wnęk wejściowych do budynków (również wjazdów do garaży podziemnych), przez co oświetlają tylko bezpośrednio ich otoczenie, do odległości 2 m od elewacji budynków.

### Wnioski

Obszar KR2022/1 znajduje się w obrębie silnego źródła zanieczyszczenia świetlnego, jakim jest miasto Kraków. Można dodatkowo stwierdzić, że na analizowanym terenie istnieją silne emitory zanieczyszczenia świetlnego, lokalnie wzmacniające łunę świetlną miasta.

Żadna ze zidentyfikowanych lamp nie emituje światła powyżej linii horyzontu, przez co nie wnosi bezpośredniego wkładu do łuny świetlnej nocnego nieba. Jest ono wystarczające do zapewnienia bezpieczeństwa, jednocześnie nie będąc nadmiernym. Zastosowane lampy elewacyjne kierują światło wyłącznie w dół, w kierunku podłoża, również nie wnosząc swojego wkładu do jakiegokolwiek formy zanieczyszczenia świetlnego, jednocześnie w pełni spełniając swoje zadanie oświetlenia obszarów parkingów naziemnych. Ozdobne oświetlenie elewacyjne, wprawdzie świecące w górę, jest skonstruowane w ten sposób, że również ono nie emituje światła w niebo.

Również oświetlenie reklamowe, umieszczone w górnych partiach bocznych elewacji budynków, nie przekracza

dopuszczalnych wielkości, nie wywołując efektu olśnienia, zachowując przy tym pełną czytelność.

We wszystkich stosowanych na badanym obszarze lampach zastosowano technologię LED o temperaturze barwy ok. 3500 K. Lampy te oświetlają jedynie podłoże, praktycznie nie emitując światła w pozostałych kierunkach i nie zaburząc naturalnego odczuwania światła przez człowieka. W efekcie, już w odległości kilku metrów od nich, oświetlenie powierzchni ziemi pochodzi wyłącznie od nieba, rozjaśnionego łuną miejską oraz, w pobliżu ul. Armii Krajowej, ul. Przybyszewskiego i ul. Lea, od ich oświetlenia komunalnego, jak też, w przypadku obszarów wewnętrznych, od oświetlenia sąsiedniej posesji.

Należy uznać za bardzo poprawne stropowe oświetlenie wejść do budynków, umieszczone głęboko we wnękach wejściowych, jak również wjazdów do parkingów podziemnych. Oświetlenie to w minimalnym stopniu wydostaje się na zewnątrz, jednak nawet w tym przypadku nie przekracza płaszczyzny horyzontu.

Analizując natężenie oświetlenia powierzchni na badanym obszarze można posługiwać się niektórymi zapisami dotyczącymi oświetlenia chodników oraz traktów pieszych zawartych w ustawie z dnia 21 marca 1985 r. o drogach publicznych (Dz. U. z 2015 r. poz. 460) i ustawie z dnia 20 czerwca 1997 r. – Prawo o ruchu drogowym (Dz. U. z 2012 r. poz. 1137 z późn. zm.) oraz w Rozporządzeniu Ministra Transportu i Gospodarki Morskiej z dnia 30 maja 2000 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać drogowe obiekty inżynierskie i ich usytuowanie (Dz. U. z roku 2000, nr 63, poz. 735; z 2010 r. nr 65, poz. 408 oraz z 2012 r. poz. 608), Rozporządzeniu Ministra Transportu i Gospodarki Morskiej z 2 marca 1999 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać drogi publiczne i ich usytuowanie (Dz. U. z 1999 r. nr 43, poz. 430), a także w Polskich Normach dotyczących oświetlenia wnętrz oraz oświetlenia drogowego. Konkretnie wymagania dotyczące natężenia oświetlenia dla określonych klas znajdują się w normie PN-EN 13201-2:2007. Dla klas S, zawierających wymagania dla oświetlenia chodników, ścieżek rowerowych, dróg osiedlowych, parkingów i dziedzińców szkolnych podano minimalne wartości średniego natężenia oświetlenia w płaszczyźnie poziomej od 2 do 15 lx, przy czym wartości te, ze względu na równomierność oświetlenia, nie mogą być przekraczane więcej niż 1,5 krotnie (czyli do 22,2 lx). Normatywną wartość minimalnego natężenia oświetlenia podłoża określo-

no, w zależności od konkretnej klasy, w granicach od 0,6 do 5 lx. Na badanym obszarze powyższe warunki nie wszędzie są spełnione, w szczególności dotyczy to transektu S. Wyjątkowo duża radiancja z obszaru KR2022/1 świadczy o tym, że daje on niewątpliwie silny wkład do łuny świetlnej nocnego nieba. Należy to wiązać z jasnym podłożem, o wysokiej sprawności odbijającej (albedo) użytych materiałów. Wydaje się, że szczególnie duże znaczenie mają jasne pasy, zapewne o przeznaczeniu ozdobnym, rozmieszczone w podłożu deptaka (transekt S) przy południowej elewacji kompleksu. Deptak ten jest bardzo jasno oświetlony, zarówno przez lampy wolno stojące, jak też lampy elewacyjne i panele informacyjne. Możliwe, że światło tych lamp odbite od jasnej powierzchni deptaka jest głównym źródłem zanieczyszczenia świetlnego w formie łuny świetlnej w tym rejonie Krakowa. Uwaga ta dotyczy też, chociaż w mniejszym stopniu, pozostałych części badanego obszaru (w szczególności drogi wewnętrznej – transektu M), wybrukowanych jasną kostką.

Panele informacyjne LED, stojące przy krawędzi deptaka, naprzeciw wejść do budynków E, N i G, są źródłem zanieczyszczenia świetlnego w formie olśnienia (osłepiania). Mając zapewne na celu informowanie przejeżdżających obok kierowców o instytucjach, mieszczących się w budynkach kompleksu, stanowią zagrożenie dla pieszych poruszających się wzdłuż deptaka. W szczególności, przy natężeniu oświetlenia przekraczającym w ich pobliżu 20 lx, osłepiają one osoby użytkujące przylegające do nich schody.

Z pozostałych form zanieczyszczenia świetlnego, nie stwierdzono zjawiska zaświecania okolicy ani nadmiernego grupowania źródeł światła.

### Zalecenia

Jako najważniejsze zalecenie, w szczególności przy projektowaniu tego typu kompleksów biurowych, powinno się wymienić zastosowanie do nawierzchni traktów pieszych i jezdnych materiałów słabiej odbijających światło (o niskim albedo). W opisywanym przypadku gotowego kompleksu biurowego, nie jest to już jednak raczej możliwe. Można ewentualnie rozważyć zmniejszenie mocy LED w lampach wolno stojących, co dodatkowo przyniesie korzyści ekonomiczne.

Wśród możliwych do wykonania czynności, mających na celu poprawę oświetlenia kompleksu, zalecić można przycięcie gałęzi drzew (tzw. *przeświecenie roślinności*) rosnących wzdłuż transektu N (przy

ul. Lea) i częściowo przy północnej części transektu I (wzdłuż ul. Przybyszewskiego), gdyż nawet w warunkach zimowych (gdy drzewa te pozbawione są liści) w pewnym stopniu ekranują one światło lamp parkingowych oświetlających ten obszar. W lecie, w obecności liści na tych drzewach, lampy te nie będą spełniać swojej funkcji – ich światło w całości „zginie” w listawiu. Niestety, zjawisko to jest bardzo często obserwowane w tego typu kompleksach. Jednocześnie, usunięcie tego problemu należy do najłatwiejszych i najmniej kosztownych rozwiązań, poprawiających jakość oświetlenia.

Wydaje się, że możliwe jest również zmniejszenie jasności paneli informacyjnych LED. Będą one wtedy zarówno lepiej spełniać swoją funkcję (staną się czytelniejsze), a ich oślepiająco jasne światło przestanie zagrażać przechodniom, w szczególności korzystającym z sąsiadującymi z nimi schodami.

## Podziękowania

Autorzy dziękują Panu Miłozowski Tokarzowi za wszechstronną pomoc w realizacji prezentowanych badań.

## BIBLIOGRAFIA

[1] Khorram A, Yusefi M, Keykha S. Light Pollution, a World Problem. *Health Scope*. 2014;3(4):e24065. doi: 10.17795/jhealth-

scope-24065. doi: 10.17795/jhealthscope-24065

[2] Dominoni D.M., Nelson R.J. Artificial light at night as an environmental pollutant: An integrative approach across taxa, biological functions, and scientific disciplines. *J. Exp. Zool. A Ecol. Integr. Physiol.* 2018;329, pp.387–393. doi: <https://doi.org/10.1002/jez.2241>

[3] Russart K.L.G., Nelson R.J. Light at night as an environmental endocrine disruptor. *Physiol. Behav.* 2018;190:82–89. doi: 10.1016/j.physbeh.2017.08.029. doi: 10.1016/j.physbeh.2017.08.029

[4] Ścieżor T, Light pollution as an environmental hazard. *Technical Transactions*, 116, 8, 2019, pp.129-142. doi: 10.4467/2353737XCT.19.084.10863

[5] Kotarba A.Z. (red.), *Zanieczyszczenie światłem: źródła, obserwacje, skutki*. Warszawa 2019.

[6] Sala K., *Zanieczyszczenie świetlne. Zagrożenia i sposoby jego ograniczania*. *Rocznik Administracji Publicznej*, 6, 2020, ss.254-266. doi: 10.4467/24497800RAP.20.014.12908

[7] Garstang R.H., *Night-Sky Brightness at Observatories and Sites*. *Publications of the Astronomical Society of the Pacific*, vol. 101, no. 3, 1989, pp. 306-329.

[8] Longcore T., Rich C., *Ecological light pollution*, *Frontiers in Ecology and the Environment*, vol. 2, no. 4, 2004, pp. 191-198.

[9] Ścieżor T., *Instalacje oświetleniowe a problem zanieczyszczenia świetlnego*. *Instal*, 5 (406), 2019, s.28-33.

[10] Walker M.F., *The Effects of Urban Lighting on the Brightness of the Night Sky*, *Publications of the Astronomical Society of the Pacific*, vol. 89, 1977, pp. 405–409.

[11] Cabrera-Cruz S.A., Smolinsky J.A., Buler J.J. Light pollution is greatest within migration passage areas for nocturnally-migrating birds

around the world. *Sci Rep* 8, 2018, p.3261. doi: 10.1038/s41598-018-21577-6

[12] Parkins K. L., Elbin S. B., Barnes E. Light, glass, and bird-building collisions in an urban park. *Northeast. Nat.*, 2015, 22, pp.84–94. doi: 10.1656/045.022.0113

[13] Sielachowska M., Zajkowski M. *Assessment of Light Pollution in Parking Lots Using a Measuring System with a Drone*. *Preprints*, 2021, 2021120403. doi: 10.20944/preprints202112.0403.v1.

[14] Ngarambe J., Kim G. *Sustainable Lighting Policies: The Contribution of Advertisement and Decorative Lighting to Local Light Pollution in Seoul, South Korea*. *Sustainability*, 2018, 10, 1007; doi:10.3390/su10041007

[15] 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*, 2018, 145. doi: 10.1016/j.buildenv.2018.09.029

[16] Ścieżor T. *Effect of street lighting on the urban and rural night-time radiance and the brightness of the night sky*. *Remote Sensing*, 13, 9, Spec. Iss., 2021, pp. 1-41. doi: 10.3390/rs13091654

[17] VIIRS/DMSP Earth Observation Group, NOAA National Geophysical Data Center [online] <https://www.lightpollutionmap.info> (dostęp: 25.04.2022).

[18] Ścieżor T. *Naturalne i antropogeniczne czynniki łuny świetlnej nocnego nieba*. *Monografia Politechniki Krakowskiej*, 2018, s.177.

[19] Ścieżor T., Kubala M., Kaszowski W., Dworak T.Z. *Zanieczyszczenie świetlne nocnego nieba w obszarze aglomeracji krakowskiej*. *Analiza pomiarów sztucznej poświaty niebieskiej*. *Monografia 388, Politechnika Krakowska, Kraków 2010*, s. 52-56.

[20] Beck S.D. (Ed.), *Insect Photoperiodism*. Academic Press, 1980, p.9.