KOSMOS
PROBLEMY NAUK BIOLOGICZNYCH

Tom 71 **2022**
Numer 4 **(337)**
Strony **487-496**

Polskie Towarzystwo Przyrodników im. Kopernika

TOMASZ ŚCIĘŻOR, ANNA CZAPLICKA, ANETA KOTRA

Wydział Inżynierii Środowiska i Energetyki
Politechnika Krakowska
Warszawska 24, 31-155 Kraków
e-mail: tsciezor@pk.edu.pl

ZANIECZYSZCZENIE ŚWIETLNE NA OBSZARZE TENCZYŃSKIEGO PARKU KRAJOBRAZOWEGO

WSTĘP

Problem wpływu niewłaściwego nocnego oświetlenia na środowisko naturalne, czyli tzw. zanieczyszczenie światłem (lub zanieczyszczenie świetlne) (ang. light pollution), był wielokrotnie poruszany w literaturze (RICH i LONGCORE 2006; STONE i współaut. 2009, 2015; GASTON i współaut. 2012; LACOEUILHE i współaut. 2014; MARCINKOWSKA i TĘGOWSKA 2015; TAŁANDA 2015; SANDERS i współaut. 2021). W szczególności, rozważano wpływ jasno oświetlonych ośrodków miejskich na ich bliższe bądź dalsze okolice (WALKER 1977). Pochodzące z tych ośrodków światło przy bezchmurnym niebie rozprasza się na różnego rodzaju aerozolach atmosferycznych (ŚCIĘŻOR i CZAPLICKA 2020) lub odbija się od chmur (ŚCIĘŻOR 2020), w obu przypadkach docierając do obszarów teoretycznie wolnych od bezpośredniego wpływu oświetlenia sztucznego na znajdujące się w nich ekosystemy. Tę formę zanieczyszczenia światłem określa się zwykle jako sztuczną poświatę niebieską (ang. sky glow). O ile rezerwaty przyrody w Polsce są zwykle lokalizowane na tyle daleko od silnych źródeł światła naziemnego, że wpływ światła pochodzącego z tej poświaty można uznać za zaniedbywalny (ŚCIĘŻOR 2021), o tyle innego rodzaju obszary chronione, jak np. parki narodowe czy parki krajobrazowe, stanowiące siedlisko cennych przyrodniczo gatunków zwierząt i roślin, często sąsiadują z dużymi miastami, bądź wręcz zawierają w swoim obrębie jasno oświetlone miejscowości. Temat zanieczyszczenia świetlnego tego typu obszarów chronionych, jako dotąd w Polsce niezauważany, wymaga niewątpliwie starannych badań, zwłaszcza w aspekcie znajdujących się w nich rezerwatów przyrody czy obszarów Natura 2000.

W ramach badań prowadzonych przez działającą na Politechnice Krakowskiej Pracownię Monitoringu Zanieczyszczenia Świetlnego, podjęto ten temat, jako przedmiot analizy wybierając, sąsiadujący od zachodu z Krakowem, Tenczyński Park Krajobrazowy (Ryc. 1). Jak dotąd, jedyne dane związane z poziomem zanieczyszczenia świetlnego na tym obszarze można było pozyskać z publikowanych nocnych zdjęć satelitarnych ukazujących radiancję, jak też z modelowych map jasności sztucznej poświaty niebieskiej. Modele te jednak nie uwzględniają szeregu czynników wpływających na tę wielkość, jak np. nierówności terenu czy lokalne zanieczyszczenia atmosfery. Ponadto, informują one jedynie o prawdopodobnej jasności łuny świetlnej nieba bezchmurnego, jako niewiadomą pozostawiając problem jasności nieba zachmurzonego, znacznie istotniejszy w aspekcie wpływu na lokalne ekosystemy (ŚCIĘŻOR 2020). Jedyną metodą weryfikacji opisanych modeli, jak również uzyskania informacji o jasności nieba zachmurzonego, są jej pomiary naziemne.

OBSZAR BADAŃ

Tenczyński Park Krajobrazowy (TPK) zlokalizowany jest w województwie małopolskim pomiędzy Krakowem a Chrzanowem; należy do Zespołu Parków Krajobrazowych województwa małopolskiego. Usytuowany jest częściowo na terenie powiatu krakowskiego (gminy: Kraków, Krzeszowice, Liszki, Wielka Wieś, Zabierzów), a częściowo powiatu chrzanowskiego (gminy:

Słowa kluczowe: łuna świetlna, sztuczna poświata niebieska, Tenczyński Park Krajobrazowy, zanieczyszczenie świetlne



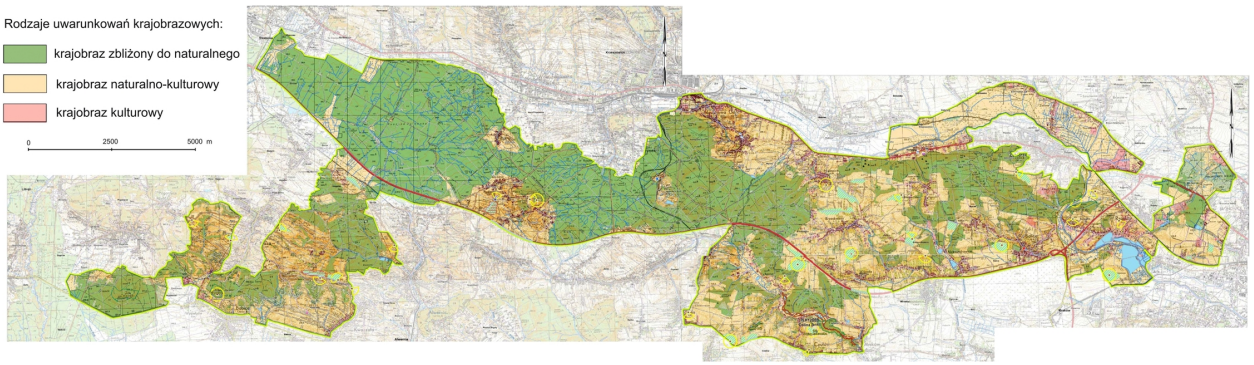
Ryc. 1. Północna część Tenczyńskiego Parku Krajobrazowego (TPK). Widok z Wieży Nawojowej zamku Tenczyn (Fot. T. Ścieżor). W lewym dolnym rogu pokazano położenie TPK w woj. małopolskim (kolorem niebieskim zaznaczono granice administracyjne Krakowa).

Alwernia, Babice, Chrzanów, Trzebinia). Park znajduje się na obszarze Wyżyny Krakowsko-Częstochowskiej, Pasma Garbu Tenczyńskiego i Rowu Krzeszowickiego. Deniwelacja obszaru TPK wynosi 163 m (między 228 m n.p.m. a 391 m n.p.m). Jego powierzchnia to 13658,1 ha. Największą część w obrębie TPK zajmują lasy (47%), następnie grunty orne (33%) oraz łąki i pastwiska (11%) (UCHWAŁA 2017).

W Tenczyńskim Parku Krajobrazowym można wyróżnić trzy rodzaje krajobrazów (Ryc. 2). Największą część zajmuje krajobraz zbliżony do naturalnego, stanowiąc około 50% powierzchni TPK. Ingerencja człowieka na tego typu obszarach jest bardzo ograniczona, zachodzą w nich głównie procesy naturalne. Tłem krajobrazowym są tam liczne lasy, drogi leśne, rzeki i grunty niezalesione. Drugim rodzajem jest krajobraz naturalno-kulturowy, stanowiący około 44% powierzchni TPK. Ten rodzaj krajobrazu kształtuje się zarówno w wyniku procesów naturalnych, jak też, w różnym stopniu, świadomych modyfikacji przestrzeni przez człowieka. Tło krajobrazowe tworzą grunty orne, łąki i pastwiska. Trzecim rodzajem jest krajobraz kulturowy, stanowiący około 6% powierzchni TPK. Jest to teren ukształtowany całkowicie przez działalność człowieka. Krajobraz ten stanowią skupiska niskiej zabudowy mieszkaniowej w otoczeniu zieleni oraz zabudowa usługowa i przemysłowa (UCHWAŁA 2017).

Pod względem geomorfologicznym teren TPK i jego otuliny jest zróżnicowany. W jego obrębie występują zręby tektoniczne, liczne ostańce i skały wapienne. Można zaobserwować również formy obniżone, czyli rowy tektoniczne, uskoki i jaskinie. W zachodniej części teren staje się bardziej płaski i monotonny, natomiast wschodnia część jest wyraźnie zróżnicowana pod względem geomorfologicznym. To tutaj występują wcięte dolinki, takie jak Dolina Aleksandrowicka, Dolina Brzoskwinki, Dolina Mnikowska, Pierunkowy Dół i Zimny Dół (BOGUŚ i współaut. 2018).

W obrębie TPK oraz jego otuliny powstały rezerwaty przyrody ożywionej, w których jej ochrona ma pierwszeństwo nad innymi formami działalności. Są to rezerwaty Bukowica, Dolina Mnikowska, Lipowiec, Skała Kmity i Zimny Dół. W rezerwacie Lipowiec chroniony jest 120–160 letni drzewostan, głównie bukowy, o charakterze zbliżonym do naturalnego. W jego obrębie występują rzadkie gatunki roślin. Pozostałe obszary chronione stanowią rezerwaty przyrody nieożywionej, jednak w nich również chronione są rzadkie gatunki roślin. Wśród nich należy wymienić roślinność muraw kserotermicznych i lasy, np. buczynę karpacką czy las dębowo-bukowy. W granicach TPK znajduje się również obszar Natura 2000 PLH 120059 (Dolina Sanki), w którym ochronie podlegają łąki trzęślicowe i ich fauna. Otulina TPK obejmuje, w części, dwa obszary Natura 2000: ochrony ptasiej, zlokalizowany w południowo-zachodniej części otuliny (PLB120005, Dolina Dolnej Skawy) oraz obszar siedliskowy nietoperzy, położony w północno-centralnej części otuliny (PLH120044, Krzeszowice).



Ryc. 2. Uwarunkowania krajobrazowe na obszarze Tenczyńskiego Parku Krajobrazowego (UCHWAŁA 2017).

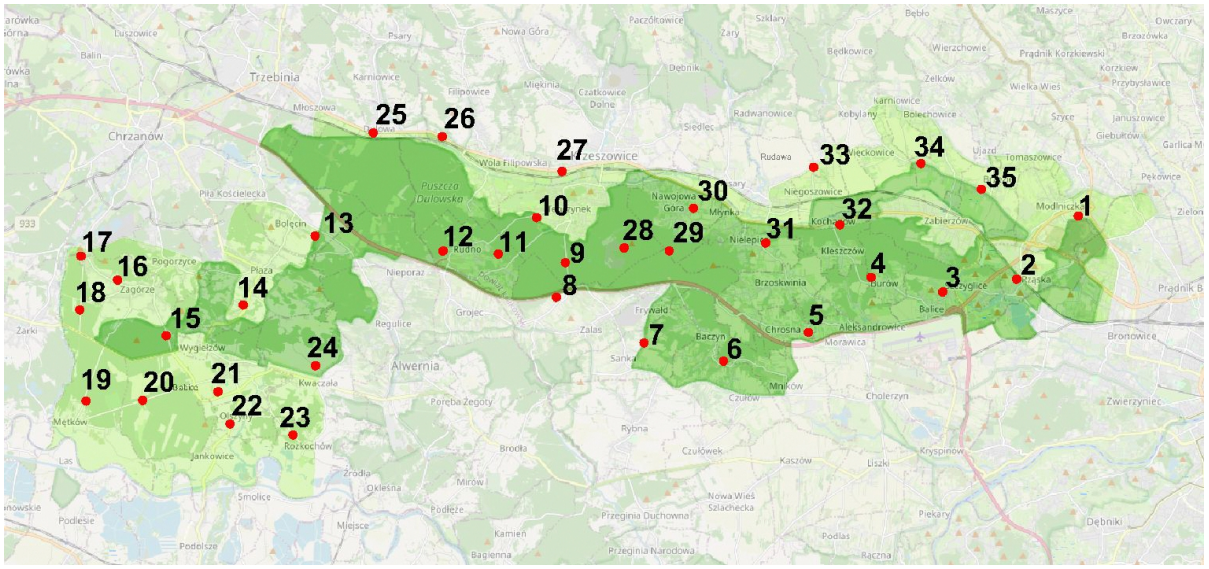
Ponadto, wewnątrz Parku wyznaczono takie prawne formy ochrony przyrody, jak stanowiska dokumentacyjne, użytki ekologiczne oraz ochronę gatunkową flory i fauny.

W TPK i jego otulinie istnieje wiele obszarów siedliskowych zwierząt, a wśród nich gatunków rzadkich i chronionych, w tym również wpisanych na Czerwoną Listę zwierząt ginących i zagrożonych wyginięciem w Polsce. Wiele zwierząt bytujących na terenie parku prowadzi nocny tryb życia, zwłaszcza kilkadziesiąt gatunków ptaków (np. puchacz, sóweczka), kilka gatunków nietoperzy (np. borowiec olbrzymi, nocek rudy) i kilka gatunków płazów (np. kumak nizinny, grzebiuszka ziemna) (Uchwała 2017). Zwierzęta te mogą być szczególnie narażone na oddziaływanie sztucznego oświetlenia w nocy.

Niektóre gatunki roślin również mogą być narażone na negatywny wpływ zanieczyszczenia świetlnego, bowiem pod wpływem sztucznego światła zaburzony zostaje ich cykl wzrostu, kwitnienia i owocowania, przez co nie zwabiają owadów w odpowiednim czasie (Zych i Ryniewicz 2019). Światło ma też wpływ na cykl dobowy roślin. W ciągu dnia zachodzi proces fotosyntezy, który w nocy ustaje, ponieważ roślina odpoczywa. Narażone na światło rośliny ciągle zmuszane są do fotosyntezy, co wpływa niekorzystnie na ich wzrost i owocowanie oraz zmniejsza ich odporność na infekcje (Wojciechowska 2019).

METODOLOGIA BADAŃ

W obrębie Tenczyńskiego Parku Krajobrazowego i jego otuliny wyznaczono 35 stanowisk pomiarowych (Ryc. 3), między którymi średnia odległość wynosiła 1,5 km. Ze względu na dostępność i uwarunkowania terenowe odległość między sąsiednimi stanowiskami wahała się od 1 do 4 km. Lokalizację punktów pomiarowych dobrano tak, aby wykonane badania obejmowały zróżnicowane środowisko przyrodnicze. Wykonano pomiary w miejscach zamieszkałych, otwartych obszarach niezamieszkałych, jak również na terenach leśnych czy chronionych. Istotny wpływ na wynik badań miały warunki pogodowe, dlatego wykonano objazd wszystkich punktów pomiarowych w czasie jednej bezksiężycowej nocy przy bezchmurnym niebie. Czynność tę powtórzono w inną, również bezksiężycową noc przy pełnym, równomiernym i stałym zachmurzeniu. Do wykonywania pomiarów przystąpiono w marcu 2020 r. W celu uniknięcia efektu zmierzchu, rozpoczynano je dwie godziny po zachodzie słońca. Wzorując się na podobnych, wykonanych wcześniej badaniach (Kolláth 2008), do pomiarów wykorzystano miernik jasności nocnego nieba SQM-L. Okno pomiarowe używanego miernika kierowane było zawsze w stronę zenitu. Miejsce pomiaru nie mogło być przysłonięte przeszkodami, musiało też być oddalone od źródeł światła sztucznego. Wyniki pomiarów miernikami typu SQM-L podawane są, w powszechnie w tym celu stosowanych jednostkach magnitudo na sekundę łuku do kwadratu (mag/arcsec^2). Otrzymane w ten sposób wartoúci określa się jako jasność powierzchniową i oznacza S_a. W każdym punkcie pomiarowym wykonano serię co najmniej trzech pomiarów z dokładnością do 0,01 mag/arcsec^2, po czym odnotowywano ich wartość średnią. W każdym przypadku niepewność pomiarowa tej wartości nie



Ryc. 3. Rozmieszczenie punktów pomiarowych na terenie TPK (barwa ciemnozielona) i jego otuliny (barwa jasnozielona) (na podkładzie mapy zamieszczonej w Uchwała 2017).

przekraczała 0,03 mag/arcsec^2. Należy pamiętać, że skala S_a jest logarytmiczna i odwrotna, tzn. wyższe wartości oznaczają mniejszą jasność powierzchniową nieba. W celu umożliwienia oceny mierzonej wielkości przez osoby niezwiązane z tematyką zanieczyszczenia świetlnego, zgodnie ze specyfikacją producenta miernika SQM-L, możliwe jest skorelowanie skali S_a z liniową i prostą skalą luminancji. W układzie SI jednostkę luminancji jest kandela na metr kwadratowy (cd/m^2) czy (w przypadku niskiej jej wartości) jej jednostka pochodna milikandela na metr kwadratowy (mcd/m^2). Dlatego w niniejszej pracy, niezależnie od mierzonych wartości S_a, podawane są również odpowiadające im wartości luminancji w tych właśnie jednostkach (ŚCIĘŻOR 2018).

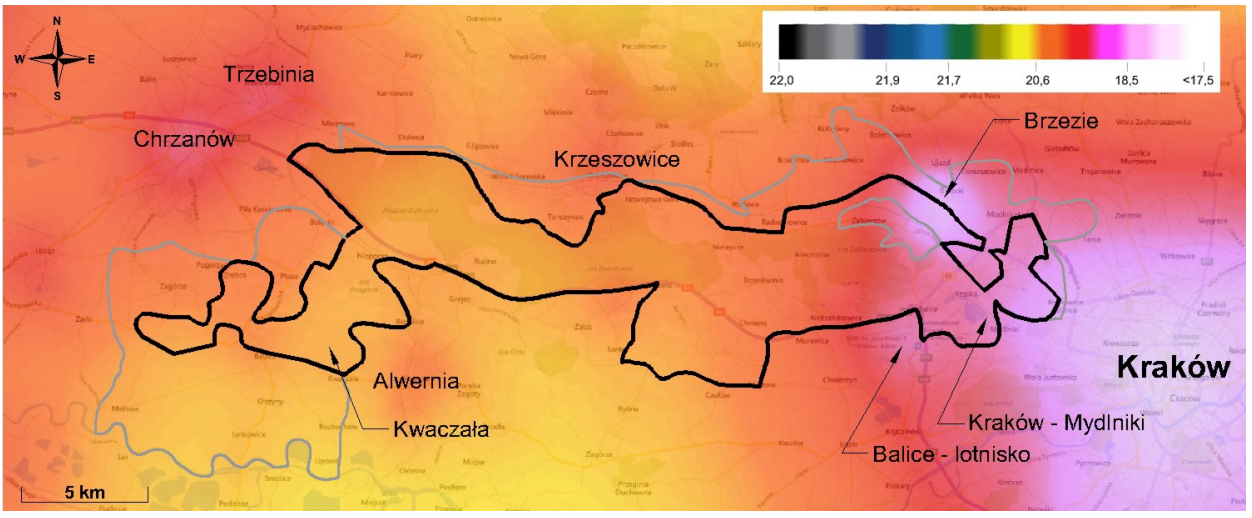
ANALIZA POZIOMU ZANIECZYSZCZENIA ŚWIETLNEGO NA BADANYM OBSZARZE

Mapa modelowa zanieczyszczenia świetlnego

W 2001 r. stworzono pierwszy modelowy atlas sztucznej łuny świetlnej nocnego nieba (CINZANO i współaut. 2001). Do stworzenia tego atlasu wykorzystano nocne zdjęcia satelitarne wysokiej rozdzielczości oraz istniejące modele propagacji światła w atmosferze i jego rozpraszania na aerozolach atmosferycznych. W ten sposób otrzymano model rozkładu jasności powierzchniowej nocnego (bezchmurnego) nieba dla całej kuli ziemskiej. W 2016 r. opublikowano nowszą, uaktualnioną wersję Atlasu (FALCHI i współaut. 2016).

Fragment Atlasu zawierający badany obszar (Ryc. 4) przedstawia modelową jasność nocnego nieba na terenie Tenczyńskiego Parku Krajobrazowego i jego otuliny. Wartości niższe (jaśniejszy odcień) reprezentują większą jasność nocnego nieba, co oznacza, że na tych terenach jest wyższy poziom zanieczyszczenia świetlnego. Analogicznie, wartości wyższe (ciemniejszy odcień) oznaczają mniejszy poziom opisywanego zjawiska. Zgodnie z tą mapą, na badanym obszarze jasność powierzchniowa nocnego nieba waha się między 18,61 a 20,58 mag/arcsec^2, co oznacza zmiany luminancji od 3,92 do 0,64 mcd/m^2. Dla porównania, jasność powierzchniowa bezchmurnego i bezksiężycowego nieba, zmierzona w Polsce na obszarach wolnych od zanieczyszczenia świetlnego (południowo-wschodnie Bieszczady) wynosi 21,9 mag/arcsec^2, co odpowiada luminancji 0,19 mcd/m^2 (ŚCIĘŻOR 2018).

Mapa obejmuje również okoliczne tereny, których oświetlenie ma wpływ na jasność nieba na obszarze TPK. Na mapie modelowej można zauważyć obszary blado różowe, przechodzące w czerwień, które w części znajdują się na terenie Parku i jego otuliny lub są w ich bliskiej odległości. Reprezentują one rozjaśnienie nocnego nieba związane z dużymi lub średniej wielkości miastami, które są najsilniejszymi źródłami sztucznego oświetlenia w okolicach Parku. Zasięg tych obszarów pokazuje, na jakie odległości rozchodzi się i rozprasza światło miast. Z prezentowanej mapy wynika, że z najjaśniejszego sąsiedniego miasta, jakim jest Kraków, światło rozchodzi się do odległości nawet ponad 10 km od jego administracyjnych granic, zanim całkowicie zleje się z lokalnym tłem. Innymi sąsiednimi miejscowościami, będącymi źródłem zanieczyszczenia świetlnego, są: Brzezie (przede wszystkim w związku ze znajdującym się w nim bardzo jasno oświetlonym kompleksem szklarni) i Balice (gdzie znajduje się główny port lotniczy Krakowa).



Ryc. 4. Mapa modelowa jasności łuny świetlnej nocnego nieba na terenie Tenczyńskiego Parku Krajobrazowego (linia czarna) i jego otuliny (linia szara). Skala jasności wyrażona jest w jednostkach mag/arcsec^2 (na podkładzie mapy wygenerowanej w STARE 2022).

Satelitarna mapa radiancji

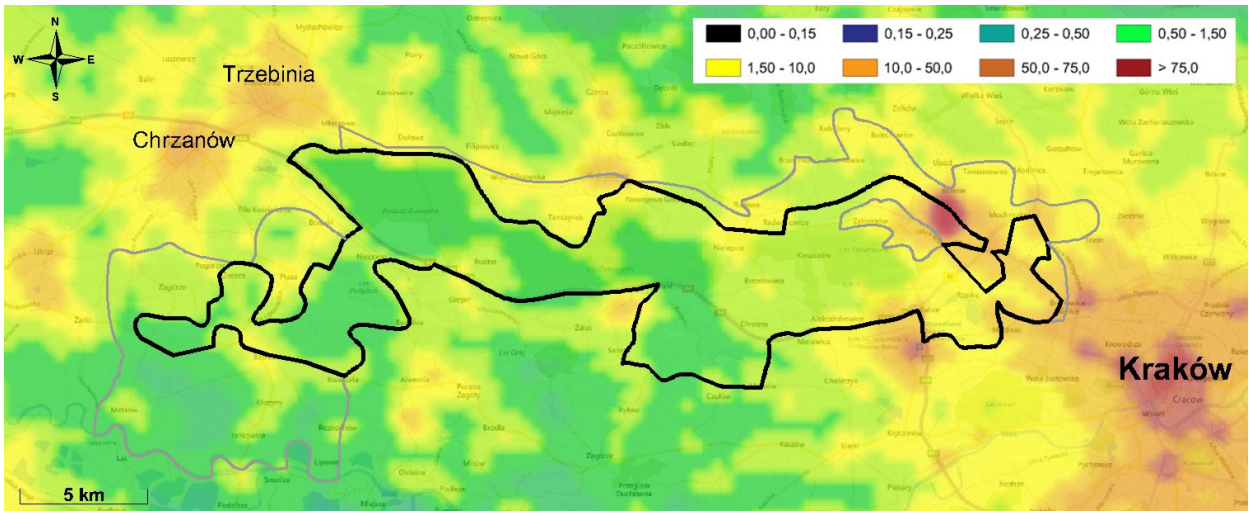
Mapę radiancji opracowano na podstawie zdjęć uzyskanych przy pomocy specjalizowanej kamery VIIRS/DNB umieszczonej na pokładzie satelity Suomi NPP wystrzelonego w 2011 r. (STARE 2022). Rozdzielczość zdjęć umożliwia rozróżnienie obiektów o rozmiarach poniżej 1 km. Mapa VIIRS pokazuje rozkład radiancji, czyli natężenia światła emitowanego w zenit z danego terenu. Nie jest to więc mapa zanieczyszczenia świetlnego (w formie łuny świetlnej), jednak pomaga ona przy identyfikacji jego źródeł. Radiancja z większości obszaru TPK mieści się w przedziale 0,85–5,0·10^{-9} W/cm^2·sr. Na załączonej mapie (Ryc. 5) wartościom tym odpowiada kolor zielony i zielono-żółty. Wartości wyższe, od 5,0·10^{-9} W/cm^2·sr (kolor żółty) do około 50,0·10^{-9} W/cm^2·sr (kolor pomarańczowy), dotyczą większych miejscowości i części Krakowa. Wartość równa 75,0·10^{-9} W/cm^2·sr (kolor czerwony) jest przekroczona na obszarze wcześniej już wspomnianych szklarni w miejscowości Brzezie, gdzie odczytano największy wynik pomiaru radiancji na terenie parku, wynoszący aż około 500,0·10^{-9} W/cm^2·sr.

Satelitarną mapę radiancji porównano z mapą uwarunkowań krajobrazowych, aby sprawdzić jaka jest korelacja między kategorią terenu a emisją światła (Ryc. 6). Krajobraz najbardziej naturalny, czyli tereny zielone, pokrywa się w znacznym stopniu z najmniejszymi wartościami na mapie radiancji. Wyjątkiem są obszary leśne we wschodniej części parku (Ryc. 6 oznaczone niebieskimi prostokątami). W tym przypadku emitowane światło może pochodzić z oświetlenia gęstej sieci dróg w tej części TPK lub być związane ze zwiększoną liczbą obszarów zabudowanych, otaczających mniejsze, niż w części zachodniej, obszary leśne.

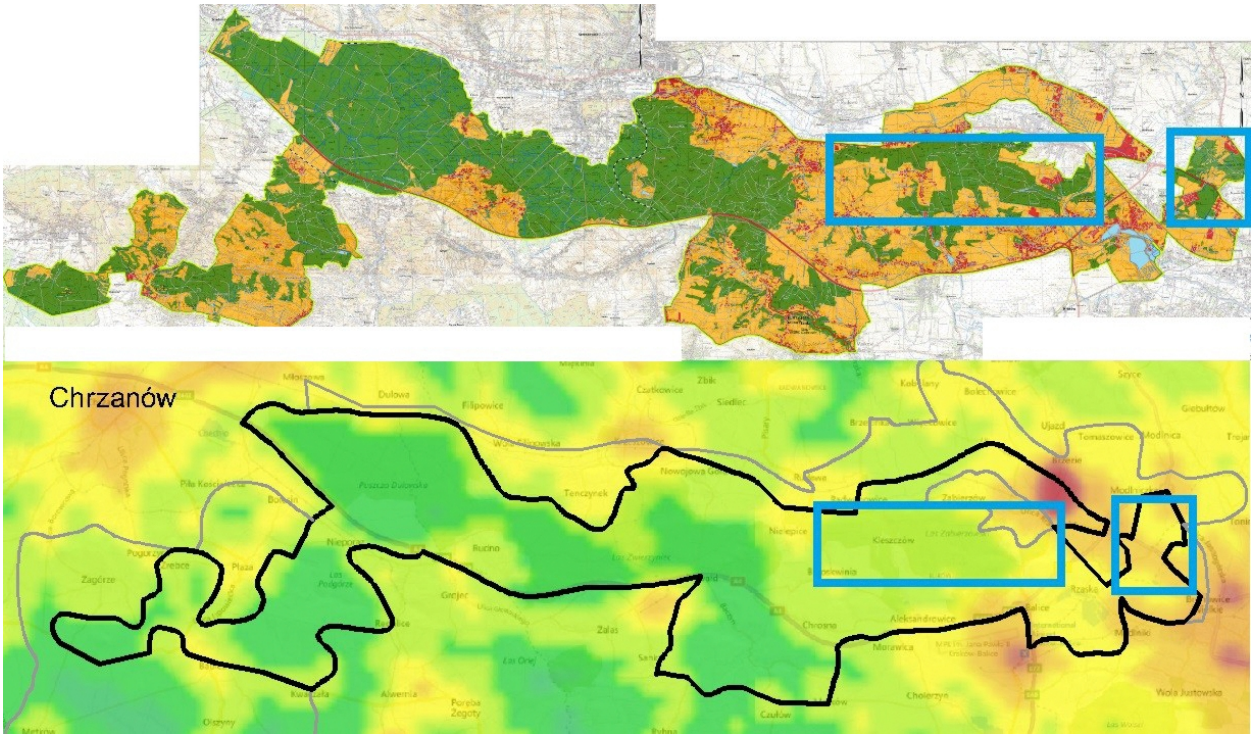
BADANIA WŁASNE

W wyniku przeprowadzonych pomiarów stwierdzono, że na obszarze TPK najwyższą wartość S_a (czyli najniższą luminancję) zmierzono przy niebie bezchmurnym. Wyniosùa ona 21,12 mag/arcsec^2 (0,39 mcd/m^2) w punkcie oddalonym zarówno od sąsiednich źródeł zanieczyszczenia świetlnego, jak też od aglomeracji krakowskiej (Ryc. 3: punkt nr 15). Jest to zgodne z wcześniejszymi badaniami, które wykazały, że w przypadku nieba bezchmurnego dominujące znaczenie w jego rozjaśnieniu mają dalekie, silne źródła światła, a nie te najbliższe, dodatkowo o słabym natężeniu (ŚCIĘŻOR 2018). Najniższa wartość S_a równa 16,03 mag/arcsec^2 (odpowiadajŕca najwyższej luminancji: 41,18 mcd/m^2) została zmierzona przy niebie całkowicie zachmurzonym w punkcie położonym w bliskim sąsiedztwie bardzo jasno oświetlonego zespołu szklarni w Brzeziu (Ryc. 3: punkt nr 35). Jest to również zgodne z ustaleniami, że tego rodzaju niebo bardzo silnie rozprasza światło pochodzące z obszarów najbliższych (ŚCIĘŻOR 2018). Na obszarze całego TPK zmierzone wartości S_a przy niebie bezchmurnym zmieniają się w granicach od 18,96 do 21,12 mag/arcsec^2 (luminancja: 0,39–2,84 mcd/m^2), natomiast przy niebie zachmurzonym od 16,03 do 19,98 mag/arcsec^2 (luminancja: 1,11–42,18 mcd/m^2).

Oznacza to, że w przypadku nieba bezchmurnego luminancja w najsilniej zanieczyszczonych świetlnie obszarach TPK jest ponadsiedmiokrotnie większa od luminancji zmierzonej w obszarach najmniej zanieczyszczo-



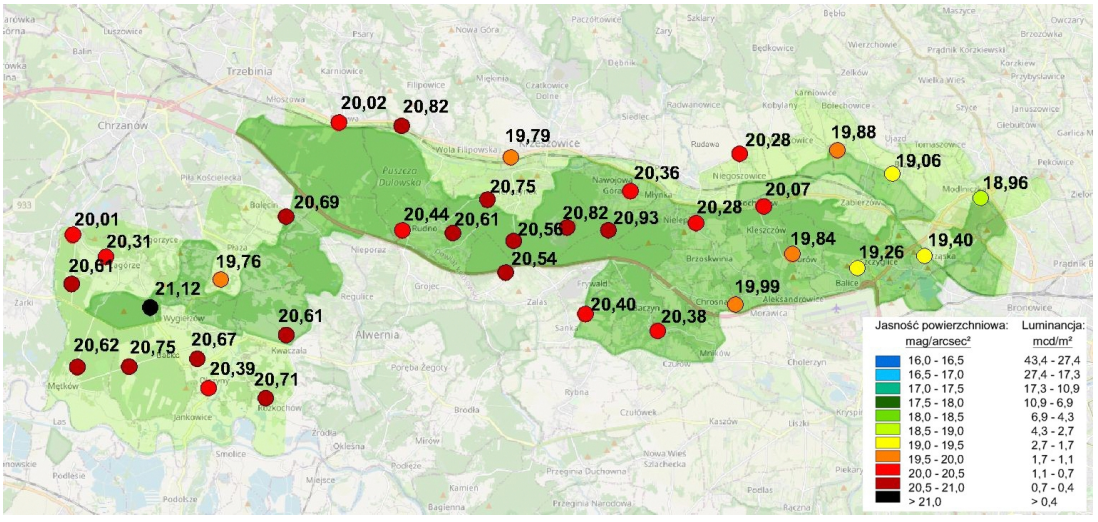
Ryc. 5. Satelitarna mapa radiancji w 2019 r. z obszaru Tenczyńskiego Parku Krajobrazowego (linia czarna) i jego otuliny (linia szara). Skala wyrażona w jednostkach 10^{-9} W/cm^2·sr (na podkładzie mapy wygenerowanej w STARE 2022).



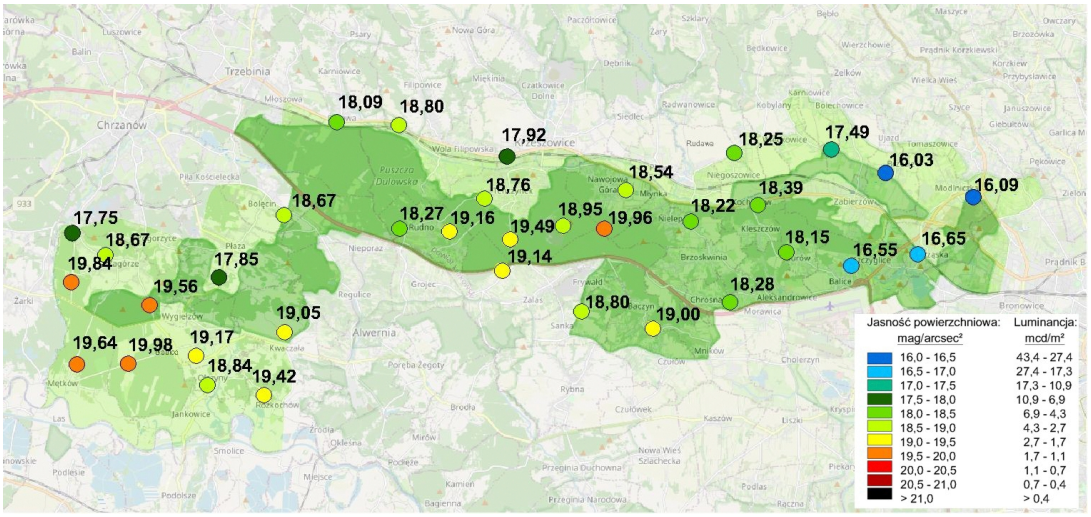
Ryc. 6. Porównanie mapy uwarunkowań krajobrazowych (u góry) i satelitarnej mapy radiancji w 2019 r. (u dołu) z obszaru Tenczyńskiego Parku Krajobrazowego (na podkładzie mapy zamieszczonej w UCHWAŁA 2017 oraz wygenerowanej w STARE 2022).

nych, w przypadku nieba w pełni zachmurzonego stosunek analogicznych luminancji jest równy prawie 40. Na obu mapach można zauważyć tendencje zmniejszania się wartości S_a (co oznacza coraz jaśniejsze niebo) przy przemieszczaniu się w kierunku wschodnim (Ryc. 7, 8).

Naturalnym czynnikiem zwiększającym jasność nieba w obecności zanieczyszczenia świetlnego są chmury, odbijające światła okolicznych miejscowości (ŚCIĘŻOR 2020). Na obszarach wolnych od zanieczyszczenia świetlnego, niebo zachmurzone ma mniejszą jasność powierzchniową od nieba bezchmurnego, co jest związane z ekranowaniem naturalnych źródeł światła (gwiazdy, planety, Księżyc) przez chmury. Pomiary wykonane na obszarze TPK przy całkowicie zachmurzonym niebie (Ryc. 8)



Ryc. 7. Pomiary jasności powierzchniowej nocnego, bezchmurnego nieba na terenie Tenczyńskiego Parku Krajobrazowego (ciemno zielony) i jego otuliny (jasno zielony) (na podkładzie mapy zamieszczonej w BOGUŚ i współaut. 2018).



Ryc. 8. Pomiary jasności nocnego, całkowicie zachmurzonego nieba na terenie Tenczyńskiego Parku Krajobrazowego (ciemno zielony) i jego otuliny (jasno zielony) (na podkładzie mapy zamieszczonej w Bogus i współaut. 2018).

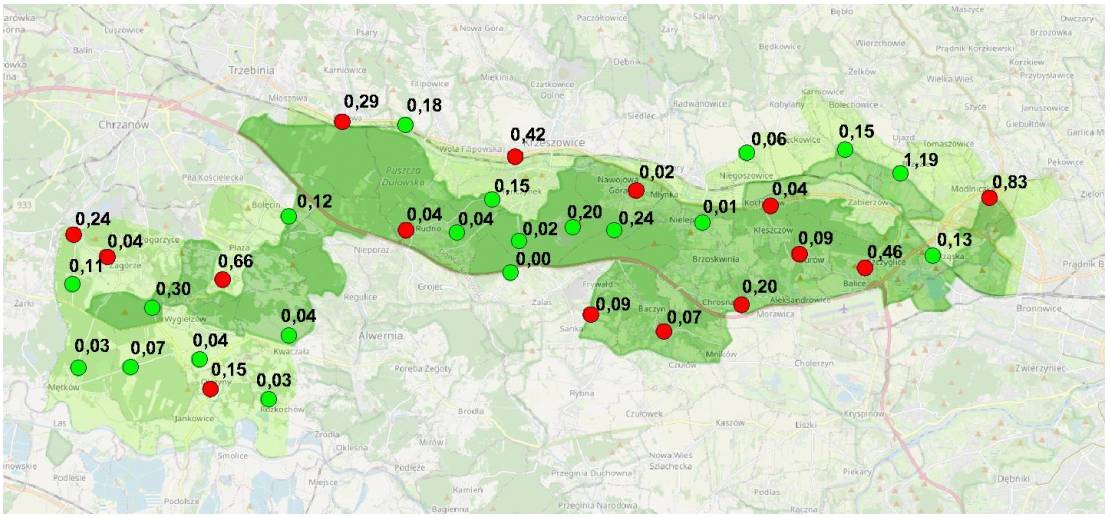
wykazały, że w tych warunkach występują niższe wartości S_a (oznaczające większą luminancję), niż w przypadku nieba bezchmurnego. Oznacza to, że na badanym terenie nie występują miejsca wolne od zanieczyszczenia świetlnego. Potwierdza to wcześniejszą analizę wykonaną dla obszaru całej Małopolski (Ściężor 2021).

Otrzymane wartości jasności powierzchniowej nieba bezchmurnego są zbliżone do wartości wynikających z mapy modelowej, która była wykonywana przy takim właśnie założeniu (należy jednak pamiętać, że stan atmosfery mógł być odmienny od zakładanego, również mogły nastąpić zmiany w oświetleniu obszaru od czasu pobrania danych, koniecznych do stworzenia modelu, a wykonanymi pomiarami). W związku z logarytmicznym charakterem S_a nie jest możliwa analiza różnic między jej różnymi wartościami. Po przeliczeniu jej na wielkość luminancji można stwierdzić, że średnia różnica między modelem a pomiarami wynosi w tym przypadku 0,19 mcd/m^2, przy czym w większości przypadków nie przekracza 0,30 mcd/m^2 (w punkcie pomiarowych nr 6 występuje pełna zgodność z modelem). Wyjątkiem jest punkt nr 35, w którym różnica ta wynosi aż 1,19 mcd/m^2. Punkt ten nie jest przypadkowy, ponieważ leży on we wcześniej wspomnianej miejscowości Brzezie, w której znajdują się bardzo jasno oświetlone szklarnie. Również na mapie modelowej w rejonie punktu nr 35 wartość luminancji jest największa, nawet wyższa niż odnotowana w trakcie pomiarów (Ryc. 9). Analogicznie, także przy zachmurzonym niebie różnica wartości między luminancją modelową i zmierzoną w tym punkcie jest największa. Zapewne różnice te należy wiązać ze zmianami w oświetleniu zespołu szklarni, w szczególności wyłączaniu i włączaniu jej komponentów.

Stwierdzono, że średnia różnica między wszystkimi wartościami luminancji zmierzonymi przy zachmurzonym niebie, a wartościami odczytanymi z mapy modelowej (wykonanej dla nieba bezchmurnego) wynosi 6,37 mcd/m^2, co potwierdza silny wpływ zachmurzenia na jasność nocnego nieba. Można też zauważyć, że zmierzone jasności łuny świetlnej są wyższe od modelowych najczęściej w punktach, znajdujących się w pobliżu tych miejscowości, w których w okresie między stworzeniem modelu a wykonaniem pomiarów zwiększyła się znacząco liczba źródeł światła (np. Chrzanów, Trzebinia, Krzeszowice, Balice, Morawica) (Ściężor 2021).

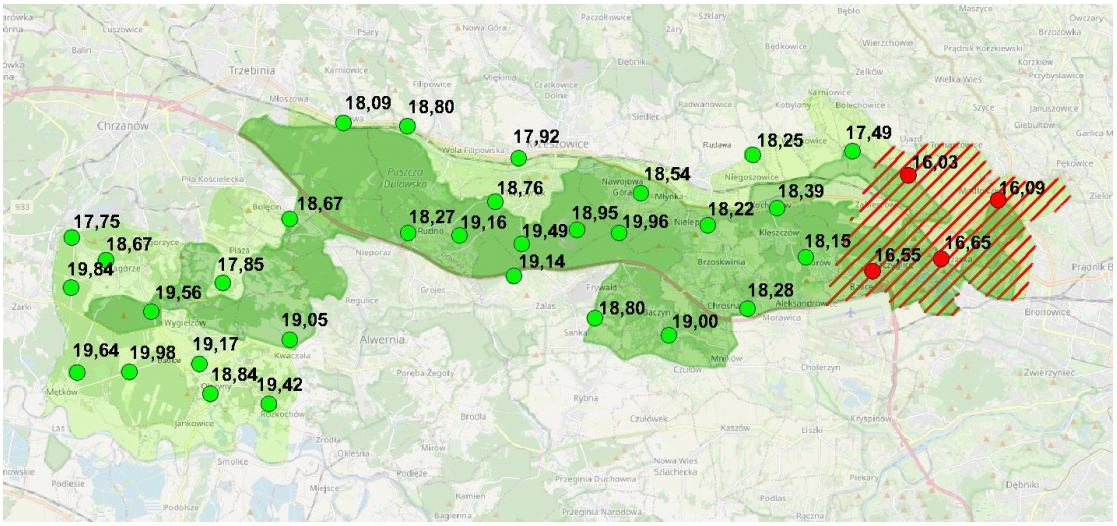
PODSUMOWANIE I WNIOSKI

Aby ocenić, jaka może być progowa wartość jasności sztucznej łuny niebieskiej, która byłaby zauważalna przez lokalne ekosystemy, określono, jakie jest natężenie oświetlenia przez nią powierzchni ziemi. Możliwe wtedy staje się jego porównanie z natężeniem oświetlenia przez jedyne naturalne nocne źródło światła, jakim jest Księżyc. Światło Księżyca wpływa na żerowanie zwierząt, reprodukcję i inne aspekty ich życia (Gliwicz 1986, Rios-Jara 2005, Ściężor i współaut. 2010). Zachowanie zwierząt jest ściśle związane z fazami Księżyca, a zwłaszcza z okresem pełni. Z tego powodu wartości natężenia oświetlenia, które przekraczają lub są równe wartości występującej w obecności Księżyca w pełni, uznano za ekologicznie szkodliwe. Natężenie takiego naturalnego maksymalnego nocnego oświetlenia jest równe



Ryc. 9. Porównanie wartości różnic luminancji [mcd/m^2] zmierzonych przy bezchmurnym niebie z wartościami wynikającymi z analizy mapy modelowej zanieczyszczenia świetlnego. Punkty w kolorze zielonym oznaczają luminancję niższą od przewidzianej przez model, punkty w kolorze czerwonym – luminancję wyższą od modelowej (na podkładzie mapy zamieszczonej w BOGUŚ i współaut. 2018).

0,1 lx (ŚCIĘŻOR i współaut. 2010). We wcześniejszych badaniach ustalono, że w przypadku, gdy źródłem światła jest wyłącznie nocne, bezksiężycowe niebo, poziom ten jest osiągany przy wartości S_a równej 17 mag/arcsec^2 (co odpowiada luminancji równej 17 mcd/m^2) (ŚCIĘŻOR i współaut. 2010). Na terenie Tenczyńskiego Parku Krajobrazowego w przypadku czterech z trzydziestu pięciu pomiarów wartości S_a były niższe, niż 17 mag/arcsec^2 (czyli luminancja przekroczyůa 17 mcd/m^2), co oznacza, że w tych rejonach w ciągu roku występuje dodatkowa liczba pozornych nocy księżycowych (Ryc. 10). Na tej podstawie oszacowano, że około 16% obszaru TPK znajduje się pod silnym negatywnym wpływem łuny świetlnej pochodzącej z sąsiednich miejscowości, co niewątpliwie wpływa na lokalne ekosystemy. Uwzględniając fakt, że pomiary dotyczyły jedynie okolic zenitu, ekologiczny wpływ widocznych nad horyzontem wysp świetlnych okolicznych miast ma niewątpliwie znacznie większy zasięg. W przyszłości planowana jest kontynuacja opisywanych badań, poszerzona o bezpośrednie pomiary luksometryczne natężenia oświetlenia powierzchni ziemi.



Ryc. 10. Rozkład oświetlenia powierzchni ziemi w TPK i jego otulinie przy całkowicie zachmurzonym niebie. W punktach oznaczonych kolorem czerwonym jasność powierzchniowa nieba (S_a) była niższa od 17 mag/arcsec^2 (czyli luminancja wyższa od 17 mcd/m^2). Kreskowaniem oznaczono obszar, gdzie natężenie oświetlenia gruntu przez sztuczne światło odbite od zachmurzonego nieba przekracza wartości notowane w obecności Księżyca w pełni (na podkładzie mapy zamieszczonej w BOGUŚ i współaut. 2018).

Streszczenie

Celem pracy jest scharakteryzowanie i ocena poziomu zanieczyszczenia świetlnego na terenie Tenczyńskiego Parku Krajobrazowego, znajdującego się w pobliżu dużych ośrodków miejskich. W obrębie parku żyje około 160 gatunków zwierząt chronionych. Wiele z nich zagrożonych jest wyginięciem, a zanieczyszczenie świetlne może być jednym z czynników przyczyniających się do tego procesu. Niektóre gatunki roślin mogą być również narażone na negatywny wpływ zanieczyszczenia świetlnego, poprzez zaburzenie ich cyklu wzrostu i kwitnienia, przez co nie zwabiają owadów w odpowiednim czasie.

W ramach pracy wykonano pomiary jasności powierzchniowej łuny świetlnej nocnego nieba na analizowanym obszarze, zarówno przy bezchmurnym jak też przy całkowicie zachmurzonym niebie. Dokonano analizy wykonanych pomiarów i porównano wyniki z mapą modelową. Określono potencjalny wpływ zanieczyszczenia świetlnego na zwierzęta występujące w Parku i jego otulinie.

Stwierdzono, że we wschodniej części badanego obszaru jasność łuny świetlnej pochodzącej od sąsiedniego Krakowa znacząco przekracza poziom naturalny, co niewątpliwie może mieć wpływ na lokalne ekosystemy nocne.

LITERATURA

Boguś A., Dmytrowski P., Kołodziej M., 2018. *Tenczyński Park Krajobrazowy – Przewodnik*. Zespół Parków Krajobrazowych, Kraków.

Cinzano P., Falchi F., Elvidge C. D., 2001. *The first World Atlas of the artificial night sky brightness*. Mon. Not. R. Astron. Soc. 328, 689-707.

Falchi F., Cinzano P., Duriscoe D., Kyba C. C. M., Elvidge C. D., Baugh K., Portnov B., Rybnikova N. A., Furgoni R. I., 2016. *The New World Atlas of Artificial Night Sky Brightness*. Sci. Adv. 2, doi:10.1126/sciadv.1600377.

Gaston K. J., Davies T. W., Bennie J., Hopkins J., 2012. *Reducing the ecological consequences of night-time light pollution: options and developments*. J. Appl. Ecol. 49, 1256-1266.

Gliwicz M. Z., 1986. *A lunar cycle in zooplankton*. Ecology 67, 883-897.

Kolláth Z., 2008. *The effects of artificial lights at the Zselic Landscape Protection Area*. Przegląd Elektrotechniczny 84, 76-79.

Lacoeuilhe A., Machon N., Julien J.-F., Le Bocq A., Kerbiriou C., 2014. *The influence of low intensities of light pollution on bat communities in a semi-natural context*. PLoS One 9, doi:10.1371/journal.pone.0103042.

Marcinkowska S., Tęgowska E., 2015. *Oddziaływanie światła o różnym spektrum na bezkręgowce zmierzchu i pełnego dnia*. Kosmos 64, 589-597.

Rich C., Longcore T., 2006. *Ecological Consequences of Artificial Night Lighting*. Island Press.

Rios-Jara E., 2005. *Effects of lunar cycle and substratum preference on zooplankton emergence in a tropical, shallow-water embayment*. Caribb. J. Sci. 41, 108-123.

Sanders D., Frago E., Kehoe R., Patterson C., Gaston K. J., 2021. *A meta-analysis of biological impacts of artificial light at night*. Nat. Ecol. Evol. 5, 74-81.

Ściężor T., 2018. *Naturalne i antropogeniczne czynniki łuny świetlnej nocnego nieba*. Monografie Politechniki Krakowskiej, Kraków.

Ściężor T., 2020. *The impact of clouds on the brightness of the night sky*. J. Quant. Spectrosc. Radiat. Transf. 247, doi:10.1016/j.jqsrt.2020.106962.

Ściężor T., 2021. *Effect of street lighting on the urban and rural night-time radiance and the brightness of the night sky*. Remote Sensing 13, 9 Spec. Iss., 1-41.

Ściężor T., Czaplicka A., 2020. *The impact of atmospheric aerosol particles on the brightness of the night sky*. J. Quant. Spectrosc. Radiat. Transf. 254, doi:10.1016/j.jqsrt.2020.107168.

Ściężor T., Kaszowski W., Kubala M., Dworak T. Z., 2010. *Zanieczyszczenie świetlne nocnego nieba w obszarze aglomeracji krakowskiej. Analiza pomiarów sztucznej poświaty niebieskiej*. Monografia 388, Politechnika Krakowska, Kraków, 52.

Stare J., 2022. *VIIRS Maps*. Earth Observation Group, NOAA National Geophysical Data Center (online), https://www.lightpollutionmap.info (dostęp 5 kwietnia 2022).

Stone E. L., Jones G., Harris S., 2009. *Street lighting disturbs commuting bats*. Curr. Biol. 19, 1123-1127.

Stone E. L., Jones G., Harris S., 2015. *Impacts of artificial lighting on bats: a review of challenges and solutions*. Mammal. Biol. 80, 213-219.

Tałanda J., 2015. *Ekologiczne zanieczyszczenie światłem, czyli kiedy sztuczne światło w nocy zaburza naturalny cykl światła i ciemności w ekosystemie*. Kosmos 64, 611-616.

Uchwała, 2017. *Uchwała nr XXXVIII/575/17 sejmiku województwa Małopolskiego z dnia 3 lipca 2017 roku w sprawie ustanowienia planu ochrony dla Tenczyńskiego Parku Krajobrazowego uwzględniającego zakres planu zadań ochronnych dla obszaru Natura 2000 Dolina Sanki PLH 120059*. Dziennik urzędowy województwa małopolskiego, Kraków.

Walker M. F., 1977. *The effects of urban lighting on the brightness of the night sky*. Publications of the Astronomical Society of the Pacific 89, 405-409.

Wojciechowska R., 2019. *Czy oświetlenie nocne może zaburzać funkcjonowanie roślin?* [W:] *Zanieczyszczenie światłem. Źródła, obserwacje, skutki*. Kotarba A. Z. (red.). Centrum Badań Kosmicznych PAN, Warszawa, 39-54.

Zych M., Ryniewicz J., 2019. *Nocna zmiana: w jaki sposób zanieczyszczenie światłem wpływa na mutualistyczne relacje roślin i ich zapylaczy?* [W:] *Zanieczyszczenie światłem. Źródła, obserwacje, skutki*. Kotarba A. Z. (red.). Centrum Badań Kosmicznych PAN, Warszawa, 55-68.

KOSMOS Vol. 71, 4, 487-496, 2022

TOMASZ ŚCIĘŻOR, ANNA CZAPLICKA, ANETA KOTRA

Faculty of Environmental Engineering and Energy, Cracow University of Technology, 24 Warszawska Str., 31-155 Kraków, e-mail: tsciezor@pk.edu.pl

LIGHT POLLUTION IN THE AREA OF THE TENCZYN LANDSCAPE PARK

Summary

The aim of the study is to characterize and assess the level of light pollution in the Tenczyn Landscape Park, located in the vicinity of Kraków. About 160 species of protected animals live within the park. Many of them are threatened with extinction, and light pollution may be one factor contributing to this process. Some plant species may also be adversely affected by light pollution by disrupting their growth and flowering cycle, and thus failing to attract insects in a timely manner. The measurements of the surface brightness of the night sky in the studied area were done, both under cloudless and overcast sky. Their results were analysed and compared with the model map. The potential impact of light pollution on animals in the Park and its buffer zone was determined. It was found that in the eastern part of the studied area, the brightness of the sky glow emerging from neighbouring Krakow significantly exceeds the natural level, which undoubtedly may affects the local night ecosystems.

Keywords: artificial sky glow, light pollution, sky glow, Tenczyn Landscape Park