

ANNALES
UNIVERSITATIS MARIAE CURIE-SKŁODOWSKA
LUBLIN – POLONIA

VOL. LXXXI

SECTIO B

2026

ALEKSANDRA KRZEMIENÍ

<https://orcid.org/0009-0006-5637-7335>

Politechnika Krakowska im. Tadeusza Kościuszki

Szkoła Doktorska

Wydział Inżynierii Środowiska i Energetyki

ul. Warszawska 24, 31-155 Kraków, Polska

a.krzemien@doktorant.pk.edu.pl

ANNA CZAPLICKA

<https://orcid.org/0000-0002-2063-9034>

Politechnika Krakowska im. Tadeusza Kościuszki

Wydział Inżynierii Środowiska i Energetyki

ul. Warszawska 24, 31-155 Kraków, Polska

anna.czaplicka@pk.edu.pl

ZOFIA CZAPLICKA

<https://orcid.org/0009-0007-7439-4048>

Politechnika Krakowska im. Tadeusza Kościuszki

Szkoła Doktorska

Wydział Architektury i Urbanistyki

ul. Warszawska 24, 31-155 Kraków, Polska

zofia.czaplicka@doktorant.pk.edu.pl

JAKUB BARTYZEL

<https://orcid.org/0000-0001-8163-2680>

Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie

Wydział Fizyki i Informatyki Stosowanej

al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków, Polska

bartyzel@agh.edu.pl

Zanieczyszczenie świetlne na Podhalu –
od Chochołowa, przez Zakopane, po Głodówkę

Light Pollution in the Podhale Region – from Chochołów, through Zakopane, to Głodówka

Abstract: Light pollution is an increasingly serious environmental issue. The aim of this study was to investigate the influence of cloudiness and snow cover on the brightness of the night sky in the Podhale region. Measurements of the sky surface brightness were carried out between 2021 and 2025 using Sky Quality Meter (SQM-L) devices during six measurement campaigns, encompassing various combinations of atmospheric conditions and ski resort lighting. The results indicate that Zakopane is the main source of light pollution in the region, and that night sky brightness significantly increases in the presence of either clouds or snow cover. The highest brightness values were recorded when both factors occurred simultaneously, confirming their cumulative effect. A considerable increase in brightness was also observed near illuminated ski slopes. The findings are consistent with previous studies conducted in other regions of Europe and emphasize the need for continued monitoring of light pollution in the Podhale area, particularly in the context of seasonal tourism activities.

Keywords: light pollution; cloud cover; snow cover; SQM; Podhale region

Abstrakt: Zanieczyszczenie świetlne stanowi narastający problem środowiskowy. Celem pracy było zbadanie wpływu zachmurzenia oraz pokrywy śnieżnej na poziom zanieczyszczenia światłem nocnego nieba na obszarze Podhala. Pomiar jasności powierzchniowej nieba wykonano w latach 2021–2025 za pomocą mierników Sky Quality Meter (SQM-L) w trakcie sześciu kampanii pomiarowych, obejmujących różne kombinacje warunków atmosferycznych i oświetlenia infrastruktury narciarskiej. Wyniki wskazują, że Zakopane jest głównym źródłem zanieczyszczenia świetlnego w regionie, a poziom jasności nocnego nieba istotnie wzrasta przy występowaniu zachmurzenia lub pokrywy śnieżnej. Największe wartości jasności odnotowano w warunkach jednoczesnego ich występowania, co potwierdza ich kumulatywny wpływ. Znaczący wzrost jasności zaobserwowano również w sąsiedztwie oświetlonych stoków narciarskich. Uzyskane wyniki są zgodne z wcześniejszymi badaniami prowadzonymi w innych regionach Europy i podkreślają potrzebę dalszego monitorowania zanieczyszczenia świetlnego na Podhalu, szczególnie w kontekście sezonowej działalności turystycznej.

Słowa kluczowe: zanieczyszczenie światłem; zachmurzenie; pokrywa śnieżna; SQM; Podhale

WSTĘP

Zanieczyszczenie świetlne stanowi narastający problem środowiskowy o znaczeniu globalnym (Cinzano i in., 2001). Polega ono na zmianie naturalnych poziomów oświetlenia nocą, spowodowanej przez sztuczne źródła światła. Oddziałuje ono na funkcjonowanie ekosystemów (Hölker i in., 2010) oraz na zdrowie człowieka, a także ogranicza możliwość prowadzenia obserwacji astronomicznych (Czaja i in., 2025). W obszarach górskich, gdzie intensywnie rozwinięta infrastruktura turystyczna i komunikacyjna sąsiaduje z terenami chronionymi, problem ten jest szczególnie istotny (Ściężor i in., 2024).

Ogólnie rzecz ujmując, należy wskazać, że na mapach sporządzonych na podstawie danych satelitarnych Podhale, zlokalizowane u podnóża Tatr, odznacza się umiarkowanym stopniem zanieczyszczenia światłem. Jednocześnie trzeba podkreślić, że znacznie wyższym jego poziomem charakteryzują się Zakopane i Nowy Targ (Stare

i NASA, 2024). W rzeczywistości jednak złożona topografia terenu oraz zmienne warunki atmosferyczne mogą modyfikować poziom zanieczyszczenia światłem na tym terenie.

Celem pracy jest wskazanie, jak zmiana warunków pogodowych – obecność lub brak zachmurzenia i/lub pokrywy śnieżnej – wpływa na stopień zanieczyszczenia światłem tego obszaru.

METODY

W ramach badań przeprowadzono sześć kampanii pomiarowych, które odbyły się w latach 2021–2025 na terenie Podhala. W tab. 1 zestawiono je wraz z warunkami, w jakich się odbyły, a także uwzględniono oświetlenie wyciągów narciarskich w regionie. Zachmurzenie, jeśli było obecne, w każdym przypadku obejmowało chmury piętra niskiego. W trakcie żadnej z kampanii nie występowały mgły ani zamglenia, które formują się, gdy wilgotność względna powietrza jest bliska 100%. Jak podaje Ścieżor (2018), wilgotność względna poniżej dziewięćdziesięciu kilku procent nie ma wpływu na jasność nieba podczas nocy bezksiężycowych zarówno przy braku zachmurzenia, jak i przy jego występowaniu.

Tab. 1. Zestawienie kampanii pomiarowych oraz informacji, w jakich warunkach się odbyły (opracowanie własne)

Tab. 1. Summary of measurement campaigns and information on the conditions in which they took place (own elaboration)

Numer kampanii / <i>Campaign number</i>	Data / <i>Date</i>	Zachmurzenie / <i>Cloud cover</i>	Pokrywa śnieżna / <i>Snow cover</i>	Oświetlenie wyciągów narciarskich / <i>Illumination from ski lifts</i>
1	15–16.02.2021	brak	obecna	brak
2	10–11.10.2021	brak	brak	brak
3	4–5.12.2021	całkowite	obecna	brak
4	10–11.11.2023	całkowite	brak	włączone
5	9–10.01.2024	brak	obecna	włączone
6	22–23.08.2025	całkowite	brak	brak

Do pomiarów jasności powierzchniowej nocnego nieba wykorzystano dwa mierniki Sky Quality Meter firmy Unihedron w wersji L. W każdym punkcie wykonano w zenicie po trzy pomiary jasności nieba z wykorzystaniem obu mierników. Uzyskane wartości zostały uśrednione, a ich wartości wpisano do bazy. Pomiary wykonywane były w trakcie trwania nocy astronomicznej, przy braku obecności Księżyca na niebie, a także przy jednorodnych warunkach pogodowych, czyli przy pełnym zachmurzeniu lub jego zupełnym braku na całym obszarze badań.

Punkty pomiarowe wyznaczono wzdłuż tras możliwych do przejechania w ciągu jednej nocy w miejscach, gdzie możliwe było bezpieczne zatrzymanie się samochodem oraz prawidłowe wykonanie pomiarów. Ten drugi warunek oznaczał nieprzesłonięte przez drzewa niebo oraz brak bezpośrednio padającego na dane miejsce oświetlenia. Obszar pomiarowy został ograniczony pętlą, której skrajne punkty w osi wschód–zachód znajdują się w Chochołowie i na Głodówce, natomiast w osi północ–południe – w Chochołowie i Kirach. Listę punktów pomiarowych zawarto w tab. 2 oraz zaznaczono ich lokalizacje na mapie (zob. ryc. 1). Należy tutaj zaznaczyć, że nie każda kampania pomiarowa obejmowała wszystkie punkty jednocześnie.

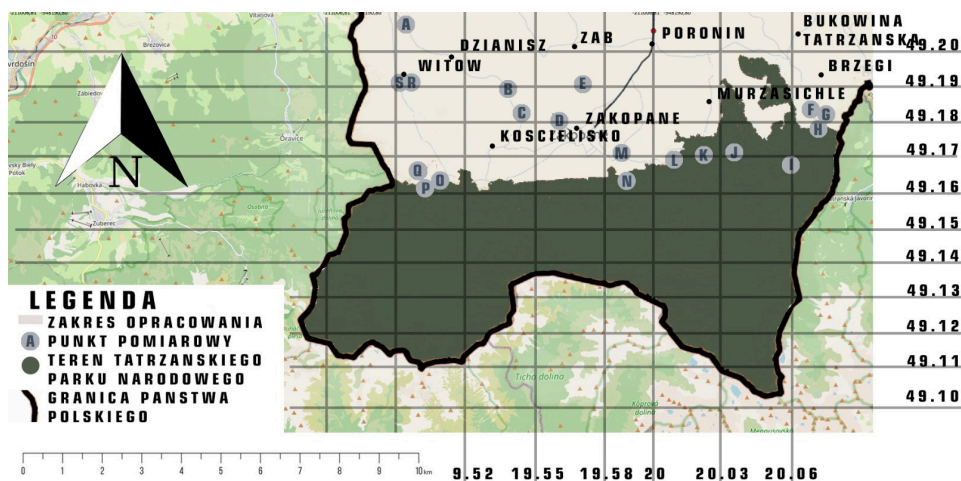
Dodatkowo piąta z kampanii została przeprowadzona tylko na terenie Chochołowa z większym zagęszczeniem punktów pomiarowych – współrzędne tych punktów zostały podane w tab. 3. Ich rozmieszczenie w terenie pokazano na mapie (zob. ryc. 2). Chochołów położony jest w dolinie, gdzie została zlokalizowana część punktów pomiarowych: na podwórzu działki nr 11074 (pkt 20–22), przy drodze DW958 (pkt 23–26) oraz w bezpośrednim sąsiedztwie kościoła parafialnego (pkt 27–28). Pojedyncze punkty pomiarowe (pkt 12–13) wyznaczono przy bocznej drodze położonej w północnej części miejscowości. Pozostałe punkty pomiarowe usytuowano wzdłuż nieoświetlonej drogi biegnącej od kościoła w kierunku wschodnim, prowadzącej na wzniesienie (pkt 1–11), z którego rozciąga się panorama na całą wieś Chochołów. Ponadto po zachodniej stronie miejscowości, nad rzeką, wytyczono sześć punktów pomiarowych (pkt 14–19).

Tab. 2. Zestawienie punktów pomiarowych na terenie Podhala (opracowanie własne)

Tab. 2. Summary of measurement points in the Podhale region (own elaboration)

Lp. / No.	Nazwa lokalizacji / Location name	Szerokość geograficzna / Latitude	Długość geograficzna / Longitude	Kampania pomiarowa / Measurement campaigns
A	Dzianisz Górny	49°18'37.16" N	19°54'19.68" E	1, 2, 6
B	Polana Dzianisz Górny	49°20'52.99" N	19°49'56.58" E	1, 2, 6
C	Słodyczki	49°19'12.42" N	19°53'58.75" E	1, 2, 6
D	Gubałówka	49°18'25.00" N	19°56'04.71" E	1, 2, 6
E	Furmanowa	49°19'20.03" N	19°57'04.61" E	1, 2, 6
F	Bukowina-Głodówka	49°18'35.3" N	20°06'38.4" E	3, 6
G	Głodówka-Bigosówka	49°18'19.1" N	20°06'53.3" E	3, 6
H	Głodówka	49°18'13.91" N	20°06'56.22" E	4, 6
I	Zatoczka przed Cyrhlą	49°17'11.96" N	20°05'48.91" E	4, 6
J	Polana przy Bacówce	49°17'33.70" N	20°03'38.02" E	4, 6
K	Droga do Murzasichla	49°17'19.13" N	20°01'53.15" E	4, 6
L	Cyrhla	49°17'18.22" N	20°00'47.67" E	4, 6
M	Dom Pod Jedłami	49°17'19.12" N	19°58'40.43" E	1, 2, 6
N	Kuźnice	49°16'22.74" N	19°58'52.72" E	4
O	Biały Potok – Zajazd Józef	49°16'47.5" N	19°51'30.2" E	6
P	Wylot Doliny Lejowej	49°16'49.2" N	19°51'11.7" E	3

Lp. / No.	Nazwa lokalizacji / Location name	Szerokość geograficzna / Latitude	Długość geograficzna / Longitude	Kampania pomiarowa / Measurement campaigns
Q	Wylot Doliny Chochołowskiej	49°16'57.71" N	19°50'32.40" E	1, 2, 6
R	Wyciąg Witów SKI	49°19'18.8" N	19°49'22.3" E	3
S	Snowpark Witów	49°19'18.5" N	19°49'26.2" E	6



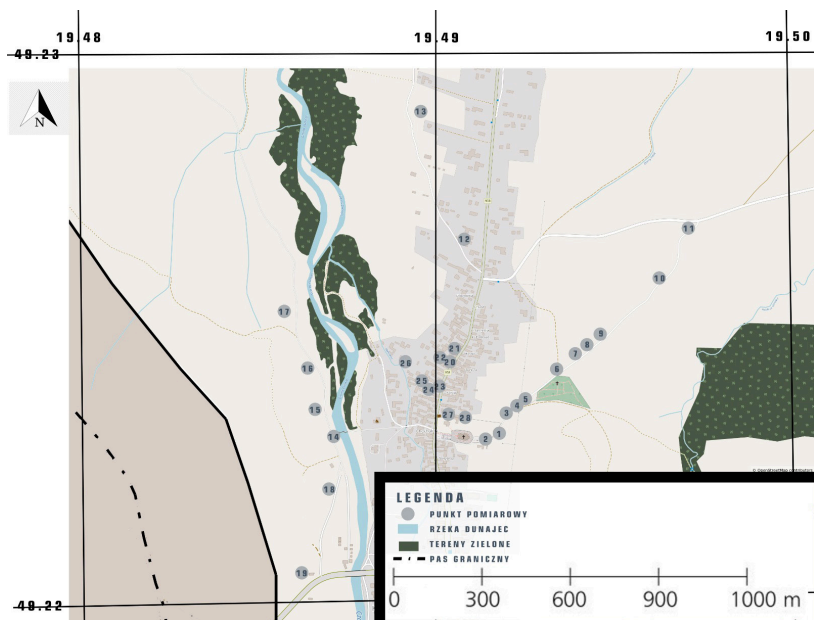
Ryc. 1. Mapa ukazująca położenie punktów pomiarowych na terenie Podhala, podkład mapy: geoportal.gov.pl oraz openstreetmap.org (opracowanie własne)

Fig. 1. Map showing the locations of the measurement points in the Podhale region, map base: geoportal.gov.pl and openstreetmap.org (own elaboration)

Tab. 3. Zestawienie punktów pomiarowych na terenie Chochołowa (opracowanie własne)

Tab. 3. Summary of measurement points in the Chochołów area (own elaboration)

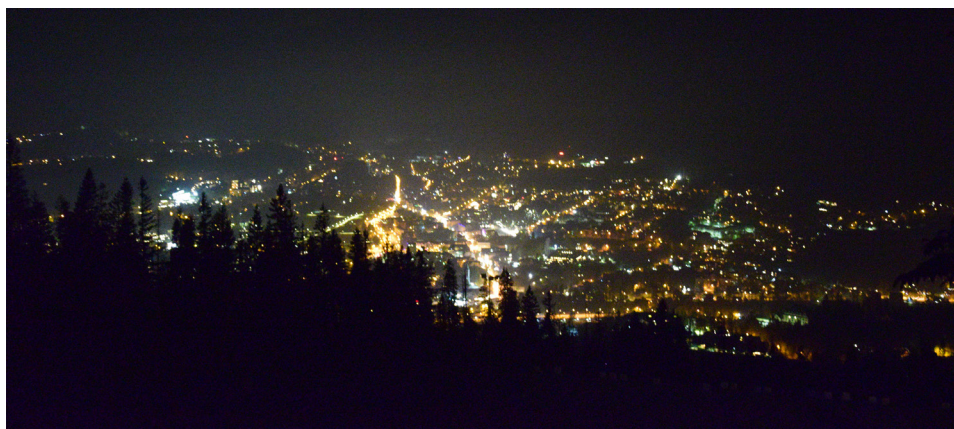
Lp. / No.	Szerokość geograficzna / Latitude	Długość geograficzna / Longitude	Lp. / No.	Szerokość geograficzna / Latitude	Długość geograficzna / Longitude
1	49°22'18.1" N	19°49'10.9" E	15	49°22'20.9" N	19°48'41.1" E
2	49°22'17.1" N	19°49'09.0" E	16	49°22'25.4" N	19°48'39.9" E
3	49°22'20.2" N	19°49'11.9" E	17	49°22'32.0" N	19°48'35.9" E
4	49°22'21.2" N	19°49'14.2" E	18	49°22'12.6" N	19°48'42.9" E
5	49°22'21.7" N	19°49'15.2" E	19	49°22'03.6" N	19°48'38.9" E
6	49°22'25.2" N	19°49'21.0" E	20	49°22'26.3" N	19°49'01.4" E
7	49°22'26.7" N	19°49'24.6" E	21	49°22'26.8" N	19°49'02.6" E
8	49°22'28.0" N	19°49'26.5" E	22	49°22'27.5" N	19°49'00.0" E
9	49°22'29.1" N	19°49'28.7" E	23	49°22'23.5" N	19°48'59.9" E
10	49°22'35.8" N	19°49'39.7" E	24	49°22'23.6" N	19°48'59.0" E
11	49°22'41.8" N	19°49'44.9" E	25	49°22'24.1" N	19°48'57.5" E
12	49°22'39.9" N	19°49'03.7" E	26	49°22'27.1" N	19°48'53.6" E
13	49°22'55.5" N	19°48'54.8" E	27	49°22'20.4" N	19°49'01.4" E
14	49°22'18.6" N	19°48'44.1" E	28	49°22'19.9" N	19°49'02.8" E



Ryc. 2. Mapa ukazująca położenie punktów pomiarowych w Chochołowie, podkład mapy: geoportal.gov.pl oraz openstreetmap.org (opracowanie własne)

Fig. 2. Map showing the locations of the measurement points in Chochołów, map base: geoportal.gov.pl and openstreetmap.org (own elaboration)

Załączono dwie fotografie wykonane w trakcie kampanii pomiarowej nr 2: widok na Zakopane z Gubałówki (zob. ryc. 3) oraz widok spod Domu Pod Jedłami w kierunku centrum Zakopanego (zob. ryc. 4).



Ryc. 3. Widok na Zakopane z Gubałówki, fot. Z. Czaplicka, 10.10.2021

Fig. 3. View of Zakopane from Gubałówka, photo by Z. Czaplicka, 10.10.2021

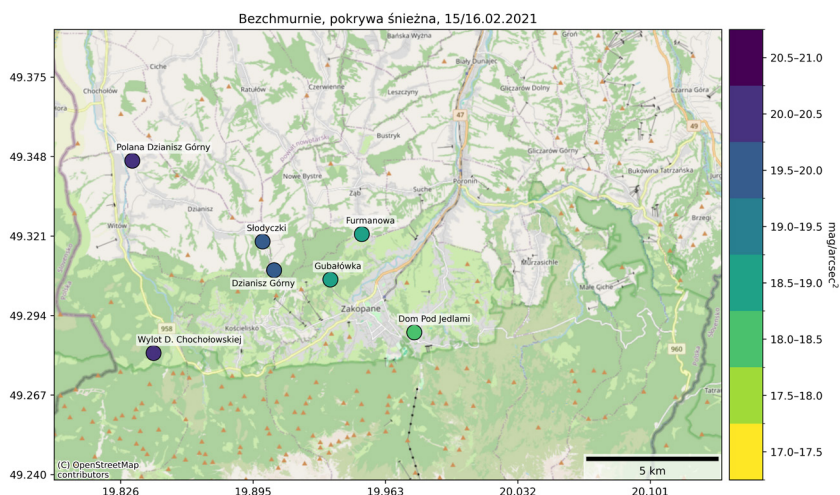


Ryc. 4. Łuna świetlna nad Zakopanem widoczna z okolic Domu Pod Jedlami, fot. Z. Czaplicka, 10.10.2021

Fig. 4. Light glow over Zakopane visible from the vicinity of Dom Pod Jedlami, photo by Z. Czaplicka, 10.10.2021

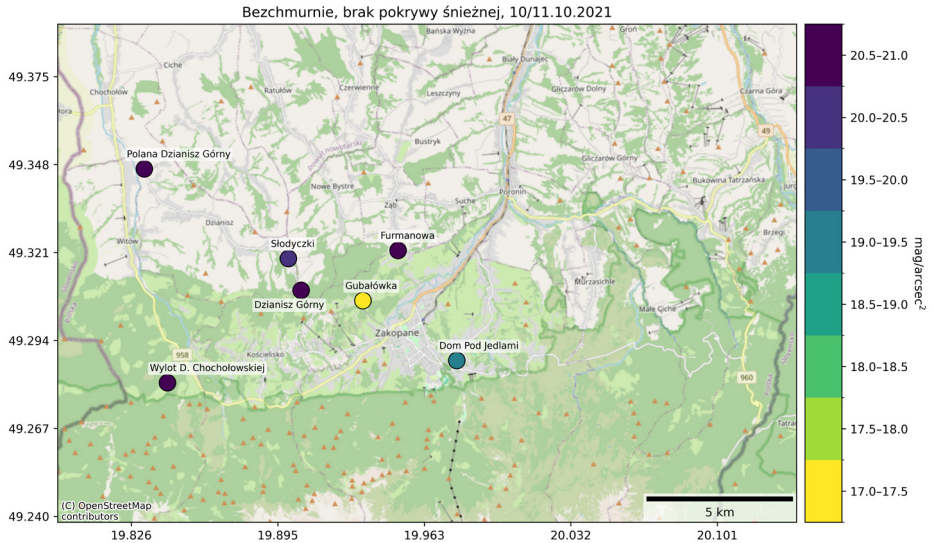
WYNIKI

Wyniki pięciu kampanii pomiarowych na terenie Podhala (kampanie nr 1, 2, 3, 4, 6) przedstawiono w formie map (zob. ryc. 5–9) oraz zestawienia wartości średnich jasności powierzchniowej nieba dla badanych lokalizacji (zob. tab. 4). Skala kolorystyczna na mapach jest jednolita we wszystkich przedstawieniach, co umożliwia porównanie danych pomiędzy różnymi warunkami atmosferycznymi i sezonowymi.



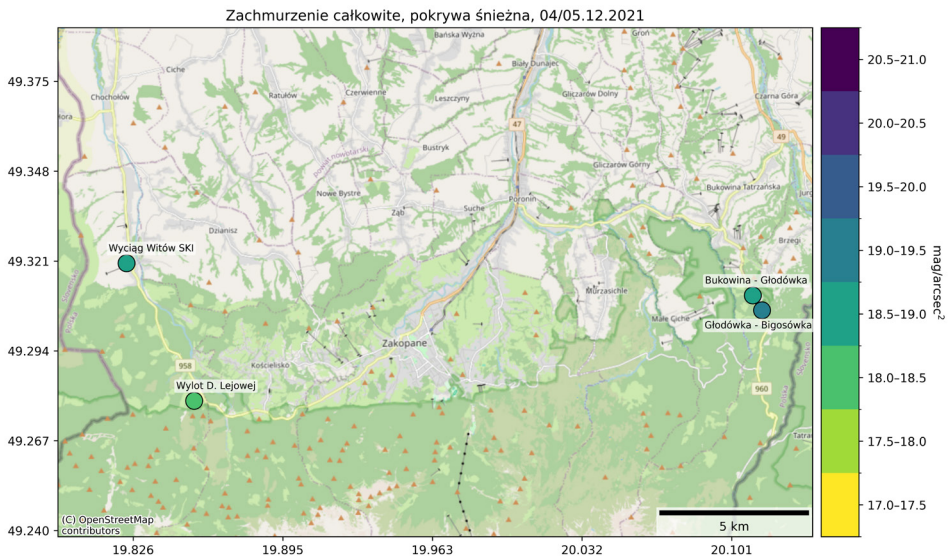
Ryc. 5. Jasność powierzchniowa nocnego nieba w punktach pomiarowych (kampania nr 1) w warunkach bezchmurnego nieba i obecności pokrywy śnieżnej (opracowanie własne)

Fig. 5. Surface brightness of the night sky at measurement points (campaign no. 1) under cloudless conditions with snow cover present (own elaboration)



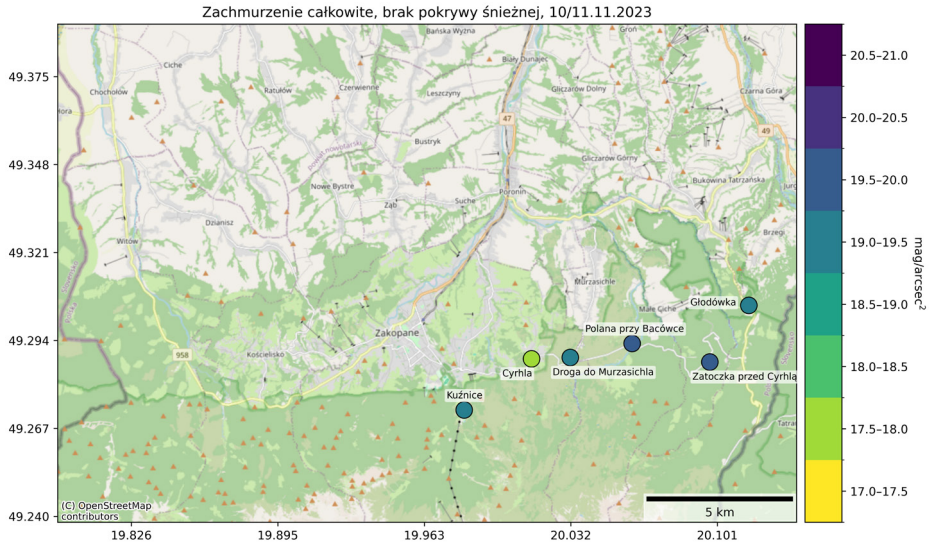
Ryc. 6. Jasność powierzchniowa nocnego nieba w punktach pomiarowych (kampania nr 2) w warunkach bezchmurnego nieba i braku pokrywy śnieżnej (opracowanie własne)

Fig. 6. Surface brightness of the night sky at measurement points (campaign no. 2) under cloudless conditions without snow cover (own elaboration)



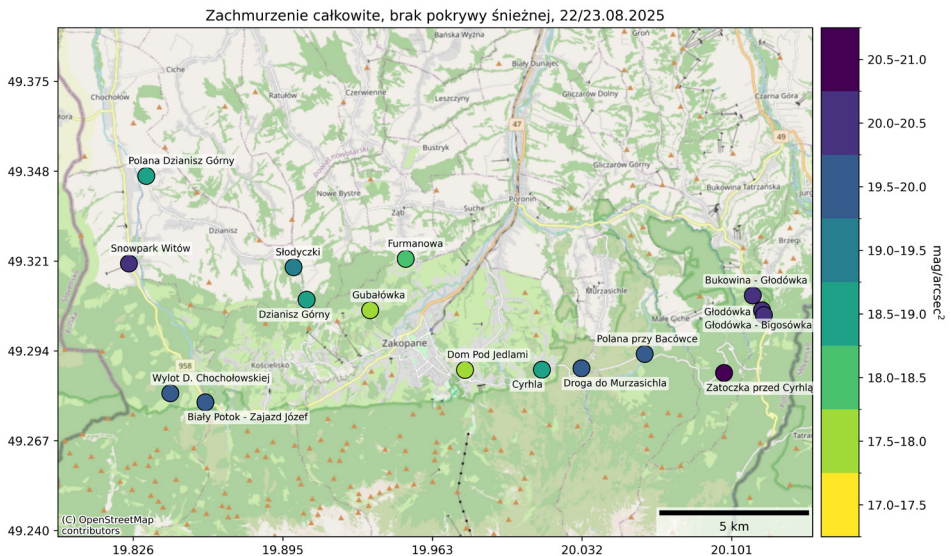
Ryc. 7. Jasność powierzchniowa nocnego nieba w punktach pomiarowych (kampania nr 3) w warunkach całkowitego zachmurzenia i obecności pokrywy śnieżnej (opracowanie własne)

Fig. 7. Surface brightness of the night sky at measurement points (campaign no. 3) under complete cloud cover with snow cover present (own elaboration)



Ryc. 8. Jasność powierzchniowa nocnego nieba w punktach pomiarowych (kampania nr 4) w warunkach całkowitego zachmurzenia i braku pokrywy śnieżnej (opracowanie własne)

Fig. 8. Surface brightness of the night sky at measurement points (campaign no. 4) under complete cloud cover without snow cover (own elaboration)



Ryc. 9. Jasność powierzchniowa nocnego nieba w punktach pomiarowych (kampania nr 6) w warunkach całkowitego zachmurzenia i braku pokrywy śnieżnej (opracowanie własne)

Fig. 9. Surface brightness of the night sky at measurement points (campaign no. 6) under complete cloud cover without snow cover (own elaboration)

Tab. 4. Zestawienie średnich wartości jasności powierzchniowej nieba w punktach pomiarowych na terenie Podhala uzyskanych w poszczególnych kampaniach (opracowanie własne)

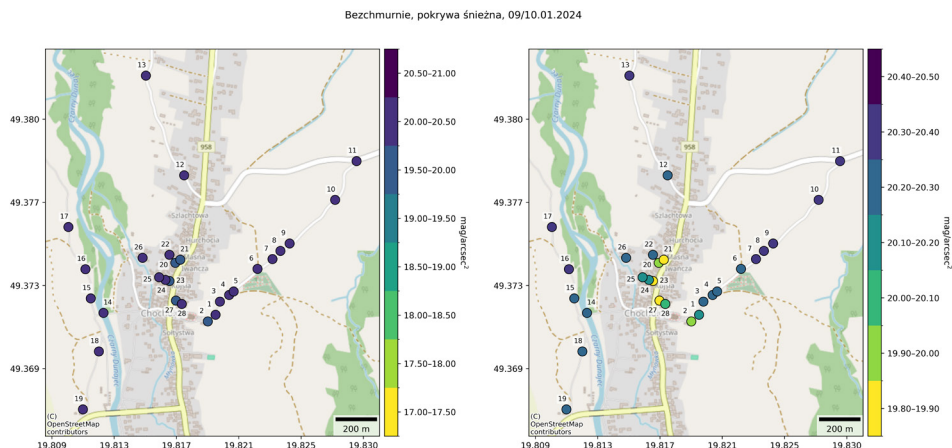
Tab. 4. Summary of average night sky surface brightness values at measurement points in the Podhale region obtained during individual campaigns (own elaboration)

Lp. / No.	Nazwa lokalizacji / Location name	Średnia jasność powierzchniowa nieba [mag/arcsec ²] zmierzona w kampanii / Average night sky surface brightness [mag/arcsec ²] measured during the campaign				
		1	2	3	4	6
A	Dzianisz Górny	19,94 ± 0,03	21,34 ± 0,02	–	–	18,55 ± 0,11
B	Polana Dzianisz Górny	20,23 ± 0,12	20,59 ± 0,06	–	–	18,94 ± 0,20
C	Słodyczki	19,74 ± 0,17	20,42 ± 0,12	–	–	19,16 ± 0,13
D	Gubałówka	18,62 ± 0,09	17,15 ± 0,04	–	–	17,70 ± 0,15
E	Furmanowa	18,81 ± 0,25	20,58 ± 0,00	–	–	18,22 ± 0,03
F	Bukowina-Głodówka	–	–	18,83 ± 0,08	–	20,12 ± 0,10
G	Głodówka- -Biłgosówka	–	–	19,25 ± 0,12	–	20,29 ± 0,14
H	Głodówka	–	–	–	19,40 ± 0,07	20,27 ± 0,12
I	Zatoczka przed Cyrhłą	–	–	–	19,60 ± 0,12	20,68 ± 0,12
J	Polana przy Bacówce	–	–	–	19,63 ± 0,02	19,60 ± 0,13
K	Droga do Murzasichla	–	–	–	19,43 ± 0,02	19,60 ± 0,02
L	Cyrhla	–	–	–	17,76 ± 0,03	18,60 ± 0,07
M	Dom Pod Jedłami	18,44 ± 0,07	19,24 ± 0,00	–	–	17,78 ± 0,15
N	Kuźnice	–	–	–	19,03 ± 0,03	–
O	Biały Potok – Zajazd Józef	–	–	–	–	19,69 ± 0,19
P	Wylot Doliny Lejowej	–	–	18,41 ± 0,03	–	–
Q	Wylot Doliny Chochołowskiej	20,12 ± 0,00	20,65 ± 0,04	–	–	19,76 ± 0,20
R	Wyciąg Witów SKI	–	–	18,55 ± 0,09	–	–
S	Snowpark Witów	–	–	–	–	20,31 ± 0,13

Objaśnienie: podane niepewności odpowiadają niepewności standardowej $k = 1$, oszacowanej jako połowa różnicy wskazań dwóch instrumentów pomiarowych.

Note: the reported uncertainties represent standard uncertainty $k = 1$, estimated as half of the difference between readings from the two measuring instruments.

Wyniki kampanii pomiarowej obejmującej wyłącznie teren Chochołowa (kampania nr 5) przedstawiono w formie map (zob. ryc. 10) oraz zestawiono je w tab. 5.



Objaśnienie: na mapie po lewej stronie użyto identycznej skali kolorów jak na przedstawionych wcześniej mapach; na mapie po prawej stronie kolory zostały dopasowane do tego konkretnego przypadku.

Note: the map on the left uses the same colour scale as the previously presented maps; the map on the right uses colours adjusted specifically for this case.

Ryc. 10. Jasność powierzchniowa nocnego nieba w punktach pomiarowych (kampania nr 5) w warunkach bezchmurnego nieba i obecności pokrywy śnieżnej na tle mapy Chochółowa (opracowanie własne)

Fig. 10. Surface brightness of the night sky at measurement points (campaign no. 5) under cloudless conditions with snow cover, shown against the background map of Chochółów (own elaboration)

Tab. 5. Zestawienie średnich wartości jasności powierzchniowej nieba w punktach pomiarowych na terenie Chochółowa (opracowanie własne)

Tab. 5. Summary of average surface brightness values at measurement points in the Chochółów area (own elaboration)

Lp. / No.	S [mag/arcsec ²]	Lp. / No.	S [mag/arcsec ²]	Lp. / No.	S [mag/arcsec ²]	Lp. / No.	S [mag/arcsec ²]
1	20,11 ± 0,05	8	20,31 ± 0,08	15	20,28 ± 0,05	22	20,28 ± 0,06
2	19,98 ± 0,04	9	20,32 ± 0,04	16	20,32 ± 0,10	23	19,87 ± 0,01
3	20,28 ± 0,05	10	20,39 ± 0,05	17	20,32 ± 0,06	24	20,14 ± 0,04
4	20,23 ± 0,06	11	20,34 ± 0,10	18	20,28 ± 0,06	25	20,18 ± 0,00
5	20,25 ± 0,02	12	20,25 ± 0,08	19	20,20 ± 0,07	26	20,25 ± 0,07
6	20,29 ± 0,09	13	20,30 ± 0,10	20	19,92 ± 0,03	27	19,89 ± 0,03
7	20,32 ± 0,08	14	20,23 ± 0,08	21	19,88 ± 0,05	28	20,06 ± 0,04

Objaśnienie: S – średnie wartości jasności powierzchniowej nieba; liczba porządkowa odpowiada tym samym lokalizacjom, co w tab. 2; podane niepewności odpowiadają niepewności standardowej $k = 1$, oszacowanej jako połowa różnicy wskazań dwóch instrumentów pomiarowych.

Note: S – average surface brightness values; number corresponds to the same locations as in Tab. 2; the reported uncertainties represent standard uncertainty $k = 1$, estimated as half of the difference between readings from the two measuring instruments.

DYSKUSJA

Uzyskane wyniki wskazują, że Zakopane jest głównym źródłem zanieczyszczenia świetlnego na badanym obszarze. W warunkach pogodnych i bez pokrywy śnieżnej (kampania nr 2) jasność nieba nad miastem była istotnie wyższa niż w sąsiednich miejscowościach, w tym na granicy z Zębem (punkt Furmanowa) czy Nowem Bystrem (punkt Słodyczki). Szczególnie intensywnie zanieczyszczoną światłem lokalizację stanowiła Gubałówka, na której zmierzona jasność powierzchniowa nieba była o około $3,3 \text{ mag/arcsec}^2$ większa niż we wspomnianych punktach zmierzonych na granicy Zakopanego.

Przy pełnym zachmurzeniu w postaci chmur piętra niskiego i braku pokrywy śnieżnej (kampania nr 6) zaobserwowano rozprzestrzenianie się na dalsze obszary zanieczyszczenia świetlnego pochodzącego z Zakopanego. W kierunku Dzianisza (Słodyczki) zarejestrowano wzrost jasności o prawie $1,3 \text{ mag/arcsec}^2$ w porównaniu z warunkami bezchmurnymi, a jeszcze silniejszy efekt – wzrost jasności o niemal $2,4 \text{ mag/arcsec}^2$ – wystąpił w okolicy Furmanowej. Zaobserwowano także wzrost jasności o niecały 1 mag/arcsec^2 w punkcie na wylocie Doliny Chochołowskiej, co również można wiązać z wpływem Zakopanego oraz pobliskiego Kościeliska. Należy tutaj zaznaczyć, że punkt Dzianisz Górny także charakteryzował się znacznym wzrostem jasności, ale w tym przypadku wynika to najpewniej z pojawienia się nowych latarni ulicznych w jego bliskiej okolicy. Różnica jasności nieba między Gubałówką a przygranicznymi obszarami Zakopanego wynosiła w tej kampanii około $1,5 \text{ mag/arcsec}^2$ dla punktu Słodyczki oraz około $0,5 \text{ mag/arcsec}^2$ dla punktu Furmanowa, zatem niebo było w tych miejscach bardziej zbliżone jasnością do wartości zmierzonej na terenie samej Gubałówki niż w przypadku braku zachmurzenia.

W analogicznych warunkach zachmurzenia piętra niskiego i braku pokrywy śnieżnej, ale przy jednocześnie włączonym oświetleniu stoków narciarskich związanym z ich nocnym naśnieżaniem (kampania nr 4), zaobserwowano dalszy wzrost jasności nieba w punktach zlokalizowanych w sąsiedztwie infrastruktury narciarskiej. W punktach Cyrhla i Głodówka wzrosła ona o nieco ponad $0,8 \text{ mag/arcsec}^2$, a w Zatoczce przed Cyrhlą nawet o ponad 1 mag/arcsec^2 w porównaniu z kampanią nr 6. Do wzrostu jasności nieba w tej pierwszej lokalizacji mogło się przyczynić oświetlenie licznych stoków narciarskich położonych na zachód i północny zachód od niej, z kolei w przypadku dwóch pozostałych – oświetlenie stoków zlokalizowanych w okolicy Bukowiny Tatrzańskiej i Jurgowa na północ i północny wschód. W zlokalizowanych pomiędzy nimi punktach, jakimi są Droga do Murzasichla oraz Polana przy Bacówce, jasność nieba pozostała zbliżona w przypadku obu kampanii. Co ciekawe, jednorazowe pomiary w punkcie Kuźnice w kampanii nr 4 charakteryzowały się niższą o około $1,3 \text{ mag/arcsec}^2$ jasnością

powierzchniową nieba niż również położony w granicach Zakopanego punkt Dom Pod Jedłami z kampanii nr 6, która była przeprowadzona w podobnych warunkach pogodowych. Wyjaśnieniem może być tutaj ukształtowanie terenu – Kuźnice, położone w Dolinie Bystrej, od reszty Zakopanego oddzielają zbocza Krokwi i Nosala, które w połączeniu z obecnością niskiego zachmurzenia mogą powodować odcięcie tego obszaru od łuny znad reszty Zakopanego.

Rezultaty te są spójne z wynikami wcześniejszych badań, w których wykazano związek pomiędzy występowaniem zachmurzenia a wzrostem jasności powierzchniowej nocnego nieba na terenach zanieczyszczonych światłem zarówno w obszarach górskich (Posch i in., 2018; Ścieżor i in., 2012) i podgórskich (Ścieżor, 2020, 2023; Ścieżor i in., 2022), jak i w obszarach nizinnych (Karpińska i Kunz, 2023; Kołomański i in., 2022). Szczególnie warto odnotować tutaj pracę Jechowa i in. (2017), ponieważ jej autorzy zbadali wpływ częściowego zachmurzenia na zasięg miejskiej łuny świetlnej – wartości jasności nieba w zenicie odnotowane w odległości ponad 20 km od miasta w obecności chmur były wyższe niż wartości jasności nieba zmierzone w odległości 2 km w warunkach bezchmurnych.

W przypadku braku zachmurzenia, ale przy jednoczesnej obecności pokrywy śnieżnej (kampania nr 1), również zarejestrowano rozprzestrzenianie się zanieczyszczenia świetlnego na dalsze obszary. Interesującym zjawiskiem w tej kampanii była wyjątkowo niska jasność samej Gubałówki (szczególnie w porównaniu do kampanii nr 2), co można wiązać z brakiem funkcjonowania obiektów turystycznych i wyłączonym oświetleniem z uwagi na panujące w tym czasie obostrzenia związane z pandemią COVID-19. Jasność powierzchniowa nieba w kierunku Dzianisza (punkt Słodyczki) była o około $0,7 \text{ mag/arcsec}^2$ wyższa niż jasność powierzchniowa nieba w tym samym punkcie w warunkach braku pokrywy śnieżnej i zachmurzenia (kampania nr 2), natomiast w punkcie Furmanowa wartość ta była o niemal $1,8 \text{ mag/arcsec}^2$ wyższa. W obu punktach jasność powierzchniowa nieba zmalała o około $0,6 \text{ mag/arcsec}^2$ względem obecności zachmurzenia i braku śniegu (kampania nr 6). Różnica jasności nieba między Gubałówką a tymi punktami wynosiła w tej kampanii prawie $1,5 \text{ mag/arcsec}^2$ dla Słodyczek i nieco ponad $0,5 \text{ mag/arcsec}^2$ dla Furmanowej, co wskazuje na to, że w przypadku braku zachmurzenia i jednoczesnej obecności pokrywy śnieżnej jasność powierzchniowa nieba w tych punktach była jeszcze bardziej zbliżona do jasności powierzchniowej nieba nad Gubałówką niż w warunkach odwrotnych (zachmurzenie całkowite i brak pokrywy śnieżnej). Wynika z tego, że silniejszy wpływ na rozprzestrzenianie się łuny świetlnej miał tutaj sam śnieg niż samo zachmurzenie.

Na terenie Chochołowa pomiary wykonano jedynie w trakcie jednej nocy (w warunkach pokrywy śnieżnej i pogodnego nieba), co ogranicza możliwość wyciągnięcia szerszych wniosków, ale już te pojedyncze dane wskazują na potrzebę

dalszego monitoringu w tym rejonie, gdyż różnice przestrzenne w obrębie samej miejscowości były zauważalne.

W warunkach obecności zarówno zachmurzenia, jak i pokrywy śnieżnej wykonano pomiary w ramach kampanii nr 3. W tym przypadku obejmowały one jednak tylko skrajne punkty badanego obszaru i nie uwzględniały okolicy Zakopanego, a w szczególności samej Gubałówki, co uniemożliwia porównanie względnych wartości w tym rejonie, tak jak zostało to zrobione w wyżej opisanych przypadkach. Biorąc pod uwagę wartości bezwzględne, uzyskane w tych warunkach wartości jasności powierzchniowej nocnego nieba są najwyższe w porównaniu do wartości zmierzonych w zbliżonych lokalizacjach w pozostałych kampaniach. W okolicy wylotu Doliny Chochołowskiej i wylotu Doliny Lejowej była ona o około 2,2 mag/arcsec² wyższa niż w warunkach bezchmurnych i bezśnieżnych, o nieco ponad 1,3 mag/arcsec² wyższa niż w warunkach samego zachmurzenia i o około 1,7 mag/arcsec² wyższa niż w warunkach obecności samej pokrywy śnieżnej. W okolicy Bukowiny-Głodówki i Głodówki-Bigosówki wartość ta była kolejno o około 1,3 mag/arcsec² i o około 1 mag/arcsec² wyższa niż w warunkach samego zachmurzenia, a w okolicy wyciągu Witów SKI była o nieco ponad 1,7 mag/arcsec² wyższa. Wyniki te wskazują, że efekt wzrostu jasności powierzchniowej nocnego nieba związany z obecnością zachmurzenia i pokrywy śnieżnej kumuluje się w przypadku obecności obu tych czynników jednocześnie.

Wpływ pokrywy śnieżnej na jasność powierzchniową nocnego nieba również został już wcześniej wykazany, m.in. przez Kollátha (2010) oraz Puschniga i in. (2023), natomiast Jechow i Hölker (2019) oraz Kołomański i in. (2022) wskazali na kumulatywny efekt pokrywy śnieżnej i zachmurzenia na wzmocnienie łuny świetlnej, a tym samym na jeszcze większy wzrost jasności powierzchniowej nocnego nieba niż w przypadku występowania tylko jednego z tych czynników, co też jest zgodne z rezultatami naszych badań.

WNIOSKI

Podsumowując, zarówno zachmurzenie, jak i pokrywa śnieżna istotnie zwiększają jasność nocnego nieba, a ich efekt kumuluje się przy jednoczesnym występowaniu obu czynników. Uzyskane wyniki wskazują, że Zakopane jest głównym źródłem zanieczyszczenia świetlnego na badanym obszarze. Gubałówka charakteryzuje się dużą zmiennością emisji świetlnej, silnie zależną od działalności turystycznej. Efekt wzrostu jasności wywołany przez chmury i śnieg jest zgodny z obserwacjami prowadzonymi w innych regionach.

Ograniczeniem badań była niewielka liczba pomiarów w niektórych lokalizacjach, szczególnie w Chochołowie. Konieczne jest prowadzenie dalszych, regularnych obserwacji w różnych warunkach pogodowych i sezonowych oraz pogłębionych badań nad wpływem topografii i lokalnych źródeł światła na rozprzestrzenianie się zanieczyszczenia świetlnego. Szczególną uwagę należy poświęcić zmiennym źródłom emisji, takim jak oświetlenie infrastruktury narciarskiej.

PODZIĘKOWANIA

Autorzy niniejszego artykułu dziękują Pawłowi Winszykowi za możliwość prowadzenia pomiaru w obrębie jego działki i za pomoc w trakcie objazdów po punktach pomiarowych.

BIBLIOGRAFIA

- Cinzano, P., Falchi, F., Elvidge, C.D. (2001). The First World Atlas of the Artificial Night Sky Brightness. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 328(3), 689–707. DOI: <https://doi.org/10.1046/j.1365-8711.2001.04882.x>
- Czaja, M., Iwanicki, G., Kołomański, S., Kołton, A., Kotarba, A.Z., Kunz, M., Nawalkowski, P., Skorb, K., Skwarło-Sońta, K., Szlachetko, K., Ściężor, T., Tabaka, P., Żużewicz, K. (2025). *Zanieczyszczenie światłem. Identyfikacja i przeciwdziałanie. Poradnik multidyscyplinarny*. LPTT.
- Hölker, F., Wolter, C., Perkin, E.K., Tockner, K. (2010). Light Pollution as a Biodiversity Threat. *Trends in Ecology and Evolution*, 25(12), 681–682. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tree.2010.09.007>
- Jechow, A., Hölker, F. (2019). Snowglow – the Amplification of Skyglow by Snow and Clouds Can Exceed Full Moon Illuminance in Suburban Areas. *Journal of Imaging*, 5(8), 69. DOI: <https://doi.org/10.3390/jimaging5080069>
- Jechow, A., Kolláth, Z., Ribas, S.J., Spoelstra, H., Hölker, F., Kyba, C.C. (2017). Imaging and Mapping the Impact of Clouds on Skyglow with All-Sky Photometry. *Scientific Reports*, 7(1), 6741. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-017-06998-z>
- Karpińska, D., Kunz, M. (2023). Relationship Between the Surface Brightness of the Night Sky and Meteorological Conditions. *Journal of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer*, 306, 108621. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jqsrt.2023.108621>
- Kolláth, Z. (2010). Measuring and Modelling Light Pollution at the Zselic Starry Sky Park. *Journal of Physics: Conference Series*, 218(1), 012001. DOI: <https://doi.org/10.1088/1742-6596/218/1/012001>
- Kołomański, S., Mikołajczyk, P.J., Kotysz, K., Łojko, P. (2022). Jakość nocnego nieba w obserwatoriach astronomicznych na podstawie monitoringu prowadzonego przez sieć ALPS. W: P. Tabaka (red.), *Sztuczne światło nocą. Między zagrożeniem a rozwojem* (s. 201–219). Wydawnictwo Politechniki Łódzkiej. DOI: <https://doi.org/10.34658/9788366741461>
- Posch, T., Binder, F., Puschnig, J. (2018). Systematic Measurements of the Night Sky Brightness at 26 Locations in Eastern Austria. *Journal of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer*, 211, 144–165. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jqsrt.2018.03.010>

- Puschnig, J., Wallner, S., Schwope, A., Näslund, M. (2023). Long-Term Trends of Light Pollution Assessed from SQM Measurements and an Empirical Atmospheric Model. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 518(3), 4449–4465. DOI: <https://doi.org/10.1093/mnras/stac3003>
- Stare, J., NASA (2024). *Light Pollution Map: Black Marble Nighttime Lights Product*. Online: <https://www.lightpollutionmap.info> (dostęp: 8.09.2025).
- Ścieżor, T. (2018). *Naturalne i antropogeniczne czynniki luno świetlnej nocnego nieba*. Wydawnictwo PK.
- Ścieżor, T. (2020). The Impact of Clouds on the Brightness of the Night Sky. *Journal of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer*, 247, 106962. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jqsrt.2020.106962>
- Ścieżor, T. (2023). Zanieczyszczenie świetlne na obszarze Parku Krajobrazowego Beskidu Małego. W: M. Kunz (red.), *Zanieczyszczenie światłem nocnego nieba – w stronę interdyscyplinarnego poznania, monitoringu i przeciwdziałania* (s. 151–169). Wydawnictwo Naukowe UMK.
- Ścieżor, T., Kubala, M., Kaszowski, W. (2012). Light Pollution of the Mountain Areas in Poland. *Archives of Environmental Protection*, 38(4), 59–69. DOI: <https://doi.org/10.2478/v10265-012-0042-4>
- Ścieżor, T., Czaplicka, A., Kotra, A. (2022). Zanieczyszczenie świetlne na obszarze Tenczyńskiego Parku Krajobrazowego. *Kosmos*, 71(4), 487–496. DOI: https://doi.org/10.36921/kos.2022_2866
- Ścieżor, T., Czaplicka, A., Czaplicka, Z. (2024). Light Pollution in the Tatra National Park. *Archives of Environmental Protection*, 50(4), 22–30. DOI: <https://doi.org/10.24425/aep.2024.152892>

PUBLICATION INFO		
SUBMITTED: 2025.11.18	ACCEPTED: 2026.04.14	PUBLISHED ONLINE: 2026.05.05