

TOMASZ ŚCIEŻOR, MAREK KUBALA*

WPŁYW CHMUR NISKICH I WYSOKICH
NA BLISKIE I DALEKIE ZANIECZYSZCZENIE ŚWIETLNEEFFECT OF THE LOW AND HIGH CLOUDS
ON THE LOCAL AND DISTANT LIGHT POLLUTION

Streszczenie

W związku ze stwierdzonymi w trakcie wcześniejszych badań zależnościami jasności sztucznej poświaty niebieskiej od wielkości zachmurzenia podjęto próbę szczegółowego zbadania tych zależności w obrębie krakowskiej wyspy świetlnej. W tym celu wykorzystano pomiary wykonane na jednym z osiedli krakowskich w warunkach bezchmurnego i całkowicie zachmurzonego nieba. Wykorzystano także pomiary wykonane w czasie awarii zasilania w dniu 25 sierpnia 2011. Pomiary te pozwoliły na separację zanieczyszczenia świetlnego na bliskie i dalekie oraz na ocenę ich udziału w całkowitym zanieczyszczeniu świetlnym wewnątrz miejskiej wyspy świetlnej. Wykorzystano również posiadane całoroczne serie pomiarów wykonanych wcześniej na tym samym osiedlu krakowskim, jak również w jednej z wsi podkrakowskich, w celu określenia wpływu rodzaju chmur na wielkość zanieczyszczenia świetlnego dalekiego.

Słowa kluczowe: zanieczyszczenie świetlne, sztuczna poświata niebieska, wyspa świetlna

Abstract

According to the brightness dependences on the cloudiness, identified in our previous studies of the artificial sky glow, we attempted a detailed examination of these relationships within the light-island of Cracow. For this purpose we use the measurements made in one of the Cracow residential estate in conditions of a cloudless and overcast sky. We have also used the unique measurements made during a power failure on 25 August 2011. These measurements allowed us to separate the local and distant light pollution. This enabled the assessment of the contribution of these two types of light pollution into the total light pollution of the urban light-island. We also used our earlier year-round measurement series made in the same estate in Cracow as well as one of the neighboring villages, in order to determine the effect of the cloud genera on the distant light pollution.

Keywords: light pollution, artificial sky glow, light-island

* Dr Tomasz Ścieżor, dr Marek Kubala, Instytut Zaopatrzenia w Wodę i Ochrony Środowiska, Wydział Inżynierii Środowiska, Politechnika Krakowska.

Oznaczenia

S_a – jasność powierzchniowa obiektu na sferze niebieskiej [mag/arcsec²]

1. Wstęp

Jednym ze słabiej zbadanych źródeł zanieczyszczenia środowiska jest oświetlenie powierzchni ziemi przez sztuczne światło, rozproszone w atmosferze. Jest to tzw. sztuczna poświata niebieska, traktowana jako jeden z rodzajów zanieczyszczenia świetlnego. O ile w przypadku bezpośredniego oświetlania terenu negatywny wpływ tego zjawiska jest znany i zbadany [4, 5], o tyle w przypadku sztucznej poświaty niebieskiej wiele pytań pozostaje bez odpowiedzi. Co więcej, znanych jest wiele metod ograniczania szkodliwego wpływu bezpośredniego oświetlenia na środowisko [8], jednak w przypadku sztucznej poświaty niebieskiej mamy do czynienia z zupełnie inną sytuacją. W tym przypadku pierwotnym źródłem światła są często oddalone od badanych obszarów ośrodki miejskie.

Wykonane wcześniej badania pozwoliły stwierdzić silny wpływ warunków atmosferycznych na jasność sztucznej poświaty niebieskiej [3, 7]. Stwierdzono, że nawet obszary nie sąsiadujące bezpośrednio z ośrodkami miejskimi nie zachowują pierwotnych, naturalnych ciemności. Źródłem światła jest w tym przypadku głównie tzw. zanieczyszczenie świetlne dalekie, związane przede wszystkim z odbitym od chmur światłem pochodzącym z dużych ośrodków miejskich [6]. Stwierdzono, że niejednokrotnie oświetlenie gruntu przez zanieczyszczenie świetlne dalekie, nawet w obszarach położonych daleko od ośrodków miejskich, zbliżone jest do oświetlenia przez Księżyc w fazie między pełnią i kwadrą [2].

Obecne pomiary wykonywane były pod kątem stwierdzenia zależności między takimi parametrami atmosfery, jak zachmurzenie (przy uwzględnieniu rodzaju chmur), zamglenie czy stężenie pyłów zawieszonych.

Pomiary wykonywane były zarówno w mieście (osiedle Podwawelskie w Krakowie, Lublin), jak również w obszarach górskich (okolice Szklarskiej Poręby w Karkonoszach).

2. Stosowane jednostki

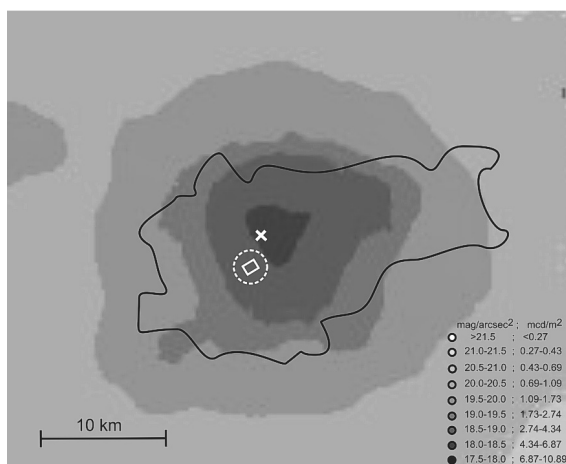
Pomiary wykonywane były za pomocą miernika jasności nieba Sky Quality Meter (SQM) firmy Unihedron. Mierzona w ten sposób jasność powierzchniowa nieba S_a podawana była w powszechnie używanych w astronomii jednostkach magnitudo na sekundę łuku do kwadratu (mag/arcsec²). Jest to skala pochodna względem skali magnitudo (mag, wielkość gwiazdowa, ^m), określającej wizualne wrażenie jasności gwiazdy jako źródła punktowego. Skala magnitudo jest skalą logarytmiczną, względną i odwrotną, w której obiekt o jasności 0 mag jest jaśniejszy 100 razy od obiektu o jasności 5 mag. Skala mag/arcsec² określa jasność powierzchniową obiektów astronomicznych rozciągłych, takich jak mgławice, galaktyki, komety czy właśnie tło nieba. Jednostką jasności powierzchniowej w układzie SI jest kandela na metr kwadratowy (cd/m²). Zależność pomiędzy tymi wielkościami opisuje następujący wzór:

$$[\text{cd}/\text{m}^2] = 10,8 \cdot 10^4 \cdot 10^{(-0,4 \cdot [\text{mag}/\text{arcsec}^2])} \quad (1)$$

W związku z niską jasnością powierzchniową nocnego nieba stosowaną jednostką jest w tym przypadku milikandela na metr kwadratowy (mcd/m^2). Ze względu na odniesienie do innych publikacji, jak również do odczytów z mierników SQM, będziemy posługiwać się skalą $[\text{mag}/\text{arcsec}^2]$, podając jednocześnie odpowiednie wartości w skali $[\text{mcd}/\text{m}^2]$.

3. Wyniki pomiarów

Jako główne miejsce pomiarowe wybrano jedno z krakowskich osiedli mieszkaniowych, osiedle Podwawelskie. Osiedle to, zawierające się w kwadracie o boku 700 m, zabudowane jest kilkunastopiętrowymi blokami, odległymi od siebie średnio o około 60 m. Osiedle z jednej strony (od wschodu) przylega do trasy tranzytowej przez Kraków (ul. Konopnickiej) i jest to jednocześnie kierunek centrum miasta odległego o około 3 km, z pozostałych stron jest otoczone w większości przez działki i tereny niezagospodarowane (Zakrzówek). Charakter zabudowy i położenie opisywanego osiedla czynią z niego modelowy przykład obszaru zanieczyszczonego świetlnie zarówno przez zanieczyszczenie świetlne bliskie, którego źródłem jest głównie oświetlenie ulic, lecz także oświetlenie mieszkań i światła odbite od ścian budynków, jak również przez zanieczyszczenie świetlne dalekie, wynikające z jego położenia głęboko wewnątrz wyspy świetlnej Krakowa [7] (rys. 1).

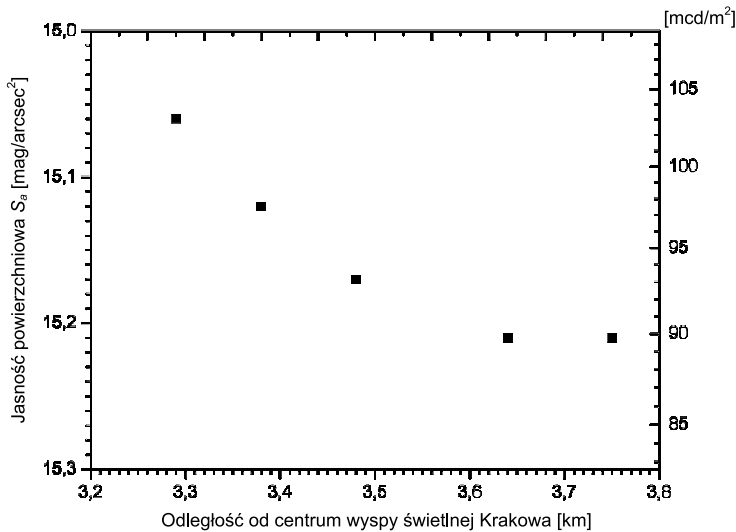


Rys. 1. Mapa wyspy świetlnej Krakowa z naniesionymi granicami administracyjnymi miasta. Biały krzyżyk oznacza położenie Rynku Głównego, mały prostokąt – zasięg osiedla Podwawelskiego, przerywany okrąg – zasięg awarii zasilania z 25 sierpnia 2011. Jako podkładu użyto fragmentu modelowej mapy zanieczyszczenia świetlnego w Europie [1]

Fig. 1. The map of the light island of Cracow with the administrative boundaries of the city plotted. White cross indicates the location of the Main Market Square, the small rectangle – the range of the Podwawelskie Estate, the dotted circle – the range of the power failure of August 25, 2011. As a background we used the model map of the light pollution in Europe [1]

W celu zachowania jednorodności i powtarzalności pomiarów wybrano noce, w których jasność nieba była jednorodna. Warunki te są spełnione jedynie w czasie bezchmurnych i bezksiężycowych nocy oraz przy zachmurzeniu pełnym niskimi i średnimi silnie odbijającymi światło chmurami. W marcu i wrześniu 2011 r. wykonano pomiary w takich właśnie warunkach. Pomiary na osiedlu wykonywano za pomocą mierników SQM w dziesięciu wybranych punktach oddalonych od siebie o ok. 50 m. Jako stanowiska pomiarowe wybierano miejsca, w których w stożku pomiarowym miernika nie znajdowały się jakiegokolwiek sztuczne źródła światła jak również ściany budynków czy też inne obiekty odbijające światło.

Stwierdzono, że przy całkowitym zachmurzeniu światło odbite od chmur, czyli zanieczyszczenie świetlne dalekie, jest czynnikiem dominującym i praktycznie nie ma znaczenia położenie punktu pomiarowego względem lokalnych źródeł światła. Stwierdzono jedynie wzrost jasności nieba w kierunku centrum krakowskiej wyspy świetlnej (zgodnie z wcześniejszymi badaniami, centrum to położone jest w rejonie Ronda Mogińskiego [7]) – na długości 360 m mierzona wartość S_a zmalała od 15,22 mag/arcsec² (88,95 mcd/m²) do 15,06 mag/arcsec² (103,07 mcd/m²), co oznacza 1,2-krotny wzrost jasności nieba na tym odcinku (rys. 2).

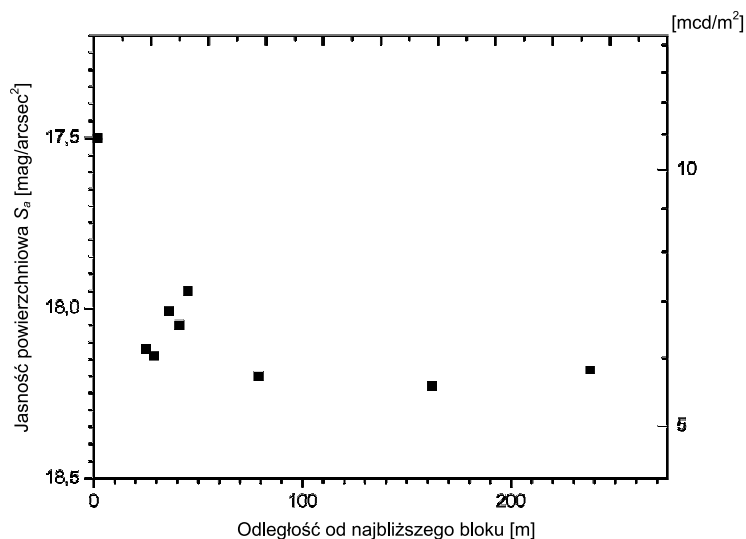


Rys. 2. Jasność całkowicie zachmurzonego nocnego nieba na osiedlu Podwawelskim w Krakowie w funkcji odległości od centrum wyspy świetlnej

Fig. 2. The brightness of the overcast night sky at the Podwawelskie Estate in Cracow vs. the distance from the center of the light island

W przypadku nieba bezchmurnego stwierdzono, że mierzone wartości S_a silnie zależą od odległości od lokalnych źródeł światła, a jednocześnie położenie punktu pomiarowego względem centrum miasta czy drogi szybkiego ruchu nie ma znaczenia (najciemniejsze niebo stwierdzono na obszarze działek położonych najbliżej drogi szybkiego ruchu). W zależności od odległości od bloków mieszkalnych, będących zarówno źródłami światła (w związku z oświetlaniem mieszkań), jak również pełniących funkcje „ekranów” odbijają-

cych światło pochodzące z oświetlenia ulic i chodników osiedla, wartość S_a zmienia się od $17,50 \text{ mag/arcsec}^2$ ($10,89 \text{ mcd/m}^2$) do $18,23 \text{ mag/arcsec}^2$ ($5,56 \text{ mcd/m}^2$), co oznacza aż dwukrotny wzrost jasności w pobliżu bloków (rys. 3). Jednocześnie stwierdzono, że już w odległości 60 m od najbliższych bloków wartość S_a osiąga stałą wartość $18,23 \text{ mag/arcsec}^2$ ($5,56 \text{ mcd/m}^2$), będącą poziomem sztucznej poświaty niebieskiej krakowskiej wyspy świetlnej w miejscu pomiarowym [3, 7].



Rys. 3. Jasność bezchmurnego nocnego nieba na osiedlu Podwawelskim w Krakowie w funkcji odległości od najbliższych bloków

Fig. 3. The brightness of the cloudless night sky at the Podwawelskie Estate in Cracow vs. the distance from the nearest apartment buildings

4. Awaria zasilania w dniu 25 sierpnia 2011

Okazję do zbadania udziału lokalnych źródeł światła w jasności krakowskiej wyspy świetlnej (będącej źródłem zanieczyszczenia świetlnego dalekiego) dała awaria zasilania późnym wieczorem 25 sierpnia 2011 r. W tym dniu, tuż po awarii, przy praktycznie bezchmurnym niebie w pobliżu bloków zmierzono $S_a = 17,51 \text{ mag/arcsec}^2$ ($10,79 \text{ mcd/m}^2$), w pełni zgodną z opisaną wcześniej wartością. W czasie awarii, obejmującej całe osiedle Podwawelskie i sąsiednią dzielnicę Dębniki, w promieniu 1500 m od miejsca pomiaru, zmierzono $S_a = 18,07 \text{ mag/arcsec}^2$ ($6,44 \text{ mcd/m}^2$). W czasie usuwania awarii przez pewien czas pozbawione światła były jedynie najbliższe okolice miejsca pomiarowego, w promieniu 200 m – wtedy zmierzona wartość $S_a = 17,72 \text{ mag/arcsec}^2$ ($8,90 \text{ mcd/m}^2$).

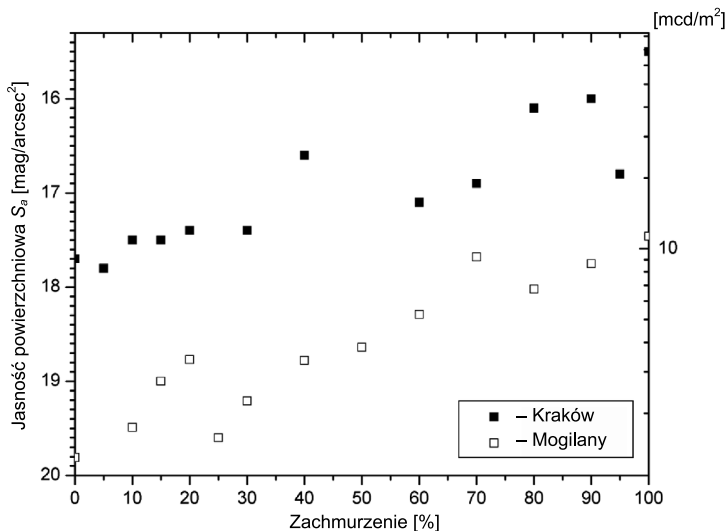
Otrzymane wielkości oznaczają, że wkład oświetlenia badanego osiedla do jasności sztucznej poświaty niebieskiej w przypadku bezchmurnego nieba w punkcie pomiarowym wyniósł około 40%, natomiast wkład oświetlenia najbliższej okolicy aż 18%. Wartości te nie są w żaden sposób związane z procentowym udziałem powierzchni tych obszarów

w powierzchni całej wyspy świetlnej Krakowa [3, 7], wynoszącym odpowiednio 4% i 0,07%. Oznacza to, że lokalne oświetlenie wpływa nie tylko na zanieczyszczenie świetlne bliskie, lecz również silnie wpływa na jasność sztucznej poświaty niebieskiej będącej źródłem zanieczyszczenia świetlnego dalekiego. Możliwe, że wyspa świetlna miasta ma strukturę „komórkową”, gdzie za jasność jej poszczególnych części odpowiadają w dużej mierze źródła światła położone bezpośrednio pod oświetlaną częścią nieba. Zagadnienie to będzie przedmiotem dalszych badań.

5. Wpływ rodzaju i wysokości chmur na jasność nocnego nieba

Jak stwierdzono we wcześniejszych badaniach [3, 7], dominującym czynnikiem rozpraszającym światło sztuczne na niebie są chmury, będące źródłem zanieczyszczenia świetlnego dalekiego.

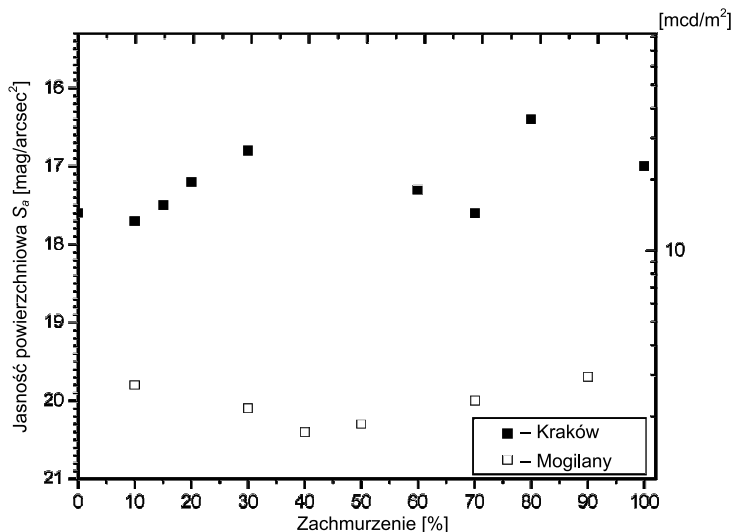
Wykonano wstępne badania wpływu rodzaju chmur i ich wysokości na wielkość sztucznej poświaty niebieskiej. Pomiarów wykonywano zarówno w miastach (Kraków, Lublin), ich okolicach (Mogilany pod Krakowem), jak również w terenach górskich (okolice Szklarskiej Poręby, Karkonosze). Stwierdzono, że chmury niskie (rodzaju *Stratocumulus* i *Stratus*) silnie odbijają światła naziemne niezależnie od ich natężenia, przy czym współczynnik kierunkowy zależności S_a od wielkości zachmurzenia jest stały. Oznacza to, że zarówno w przypadku miast, jak i terenów pozamiejskich tego rodzaju chmury odbijają ten sam ułamek dochodzącego z powierzchni ziemi światła (rys. 4).



Rys. 4. Jasność nocnego nieba w mieście (Kraków) i poza miastem (Mogilany) w funkcji procentowego zachmurzenia chmurami niskimi

Fig. 4. The brightness of the night sky for the city (Kraków) and in the countryside (Mogilany) vs. the percentage of the low cloud cover

Ocena wielkości zachmurzenia w przypadku chmur wysokich (rodzaju *Cirrus*, *Cirrostratus* i *Cirrocumulus*) w warunkach nocnych jest bardzo trudna i jest wykonywana przez ocenę widzialności gwiazd. Wydaje się, że wpływ chmur tego rodzaju na jasność nocnego nieba praktycznie nie jest zauważalny (rys. 5).



Rys. 5. Jasność nocnego nieba w mieście (Kraków) i poza miastem (Mogilany) w funkcji procentowego zachmurzenia chmurami wysokimi

Fig. 5. The brightness of the night sky for the city (Kraków) and in the countryside (Mogilany) vs. the percentage of the high cloud cover

Podobne zależności wstępnie stwierdzono już wcześniej w trakcie badań zasięgu wysp świetlnych w pobliżu zbiorników wodnych [6].

6. Podsumowanie

Potwierdzono wcześniejsze tezy [7], że dominującym źródłem zanieczyszczenia świetlnego są chmury odbijające sztuczne światła naziemne. Jest to tzw. zanieczyszczenie świetlne dalekie, wpływające nawet na obszary nie oświetlane bezpośrednio przez lokalne źródła światła [6]. Stwierdzono, że głównym źródłem tego rodzaju zanieczyszczenia są chmury niskie (rodzaju *Stratocumulus* i *Stratus*). Chmury te odbijają światła naziemne w większości pionowo w dół, przez co podstawowy wkład do jasności sztucznej poświaty niebieskiej dają lokalne, nawet niewidoczne wprost w miejscu pomiarowym, źródła światła. W pobliżu lokalnych źródeł światła istotne znaczenie zaczyna odgrywać również zanieczyszczenie świetlne bliskie, polegające głównie na rozpraszaniu światła, zarówno oświetleniowego jak również odbitego od budynków, drzew i innych struktur naziemnych, na pyłach i aerozoluach w pobliżu powierzchni ziemi. Na obszarze osiedla Podwawelskiego, położonego wewnątrz wyspy świetlnej Krakowa, nawet w bezpośrednim sąsiedztwie bloków i oświetlenia osiedlowego

mierzona jasność bezchmurnego nieba jest jednak aż około dziesięć razy mniejsza od jasności nieba pokrytego niskimi chmurami. Oznacza to, że w warunkach nieba pochmurnego, w obrębie miejskiej wyspy świetlnej w miejscach nieoświetlonych bezpośrednio zdecydowanie dominuje zanieczyszczenie świetlne pochodzące od światła odbitego od chmur niskich. Jednocześnie zauważono, że udział światła odbitego od chmur wysokich (rodzaju *Cirrus*, *Cirrostratus* i *Cirrocumulus*) w zanieczyszczeniu świetlnym jest znikomy.

Literatura

- [1] Cinzano P., Falchi F., Elvidge C.D., *The first World Atlas of the artificial night sky brightness*, Mon. Not. R. Astron. Soc., vol. 328, 2001, 689-707.
- [2] Kubala M., Ścieżor T., *Oświetlenie gruntu przez zanieczyszczone światłno nocne niebo*, [w:] *Interdyscyplinarne zagadnienia w inżynierii i ochronie środowiska 2*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2012, 301-308.
- [3] Kubala M., Ścieżor T., Dworak T.Z., Kaszowski W., *Zanieczyszczenie świetlne w obszarze aglomeracji krakowskiej*, Polish Journal of Environmental Studies, vol. 18, no. 3A, 2009, 194-199.
- [4] Navara K.J., Nelson R.J., *The dark side of light at night: physiological, epidemiological, and ecological consequences*, Journal of Pineal Research, vol. 43, no. 3, 1976, 349-352.
- [5] Rich C., Longcore T. (Eds), *Ecological consequences of artificial night lighting*, Island Press 2005.
- [6] Ścieżor T., Kubala M., *Zanieczyszczenie świetlne w otoczeniu wybranych zbiorników retencyjnych Małopolski*, Czasopismo Techniczne, 2-Ś/2011, vol. 108, no. 6, 2011, 235-245.
- [7] Ścieżor T., Kubala M., Kaszowski W., Dworak T.Z., *Zanieczyszczenie świetlne nocnego nieba w obszarze aglomeracji krakowskiej. Analiza pomiarów sztucznej poświaty niebieskiej*, Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej, Kraków 2010.
- [8] Teikari P., *Light pollution: Definition, legislation, measurement, modeling and environmental effects*, Universitat Politècnica de Catalunya, Barcelona 2007.