



**Podstawy Astronomii 1**  
zanieczyszczenie światłem



źródło: isorepublic.com

Nocny krajobraz dawno temu



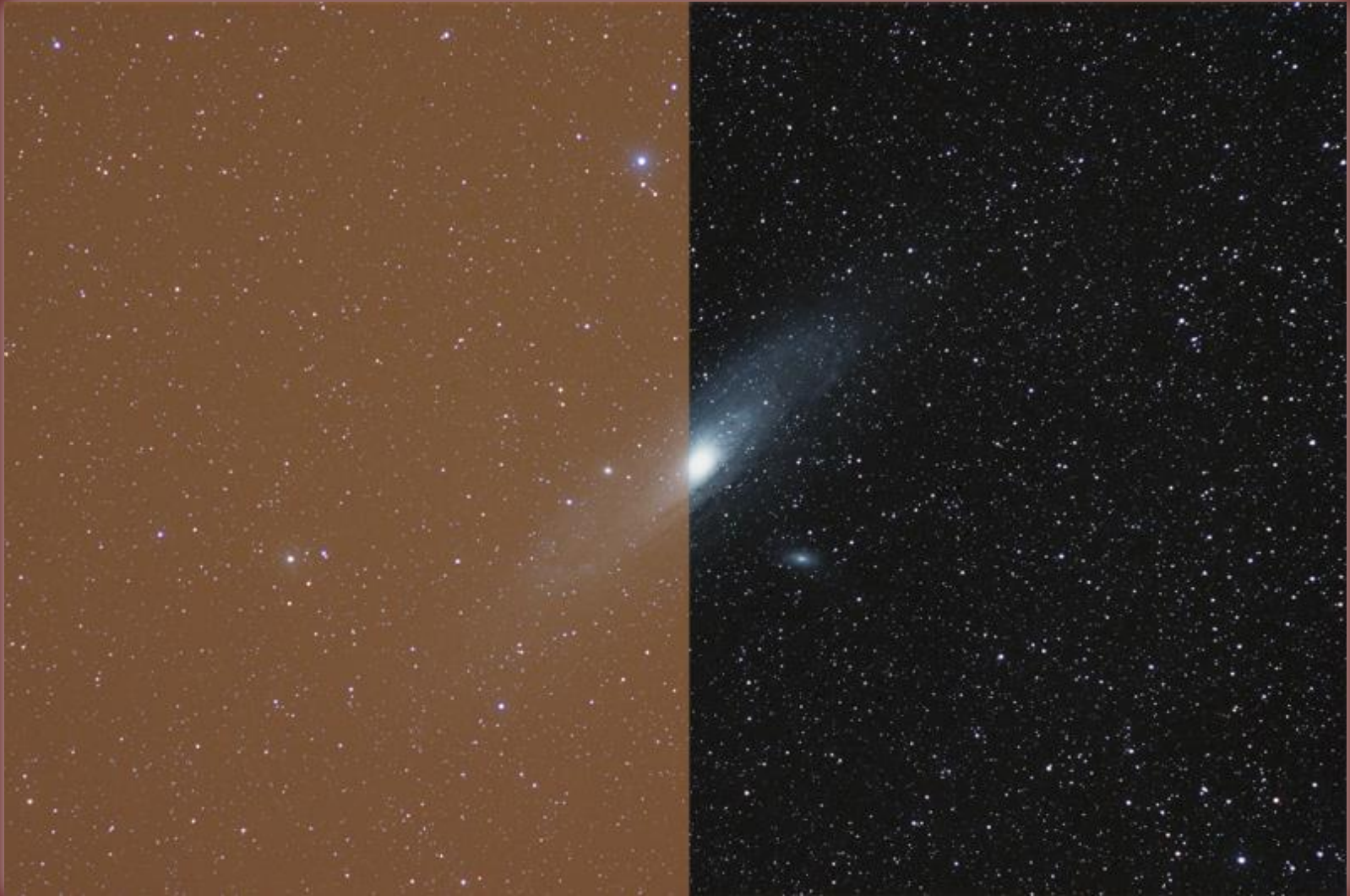
Nocny krajobraz dziś

# zanieczyszczenie światłem



Ciemne i rozjaśnione nocne niebo z Drogą Mleczną

# zanieczyszczenie światłem



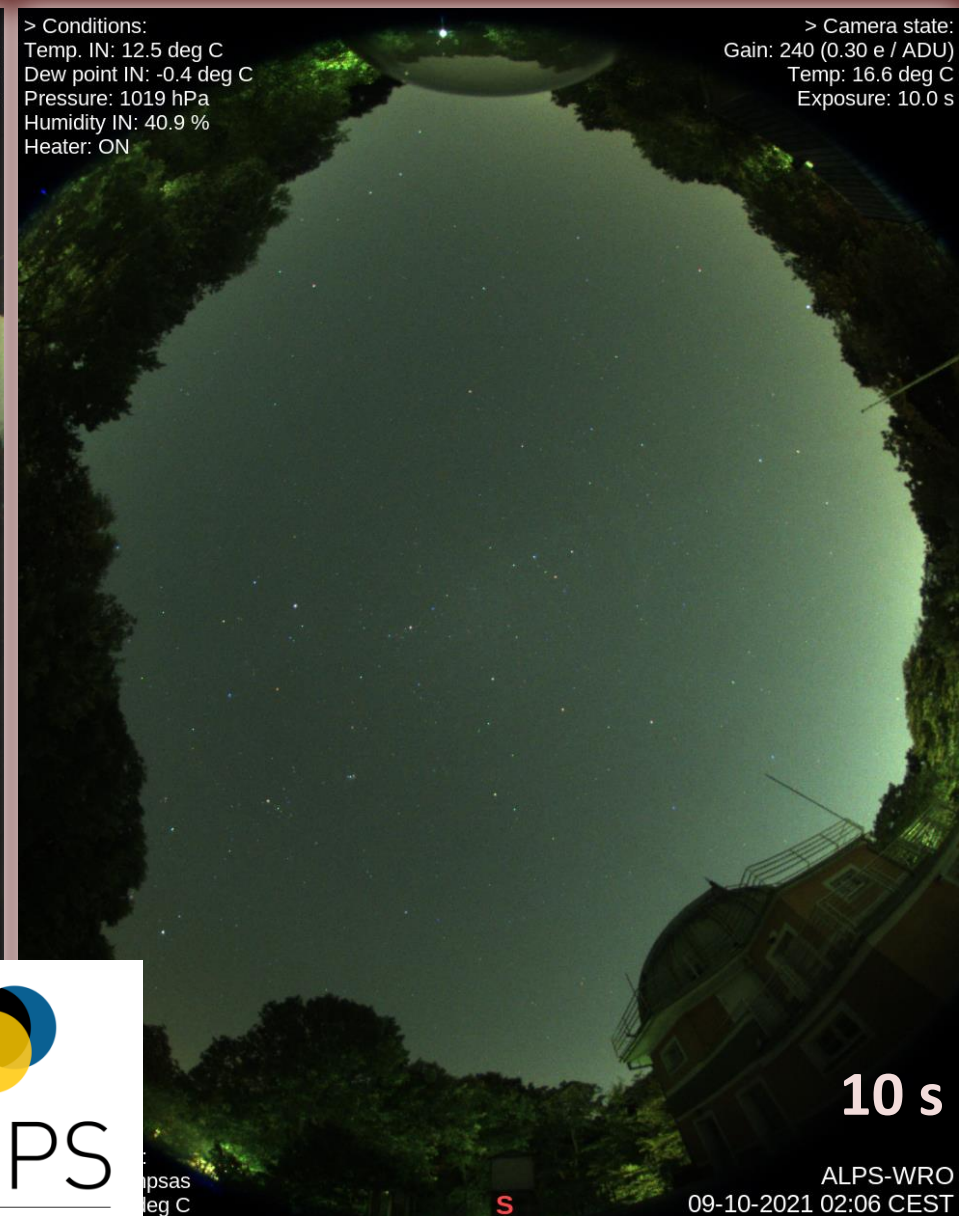
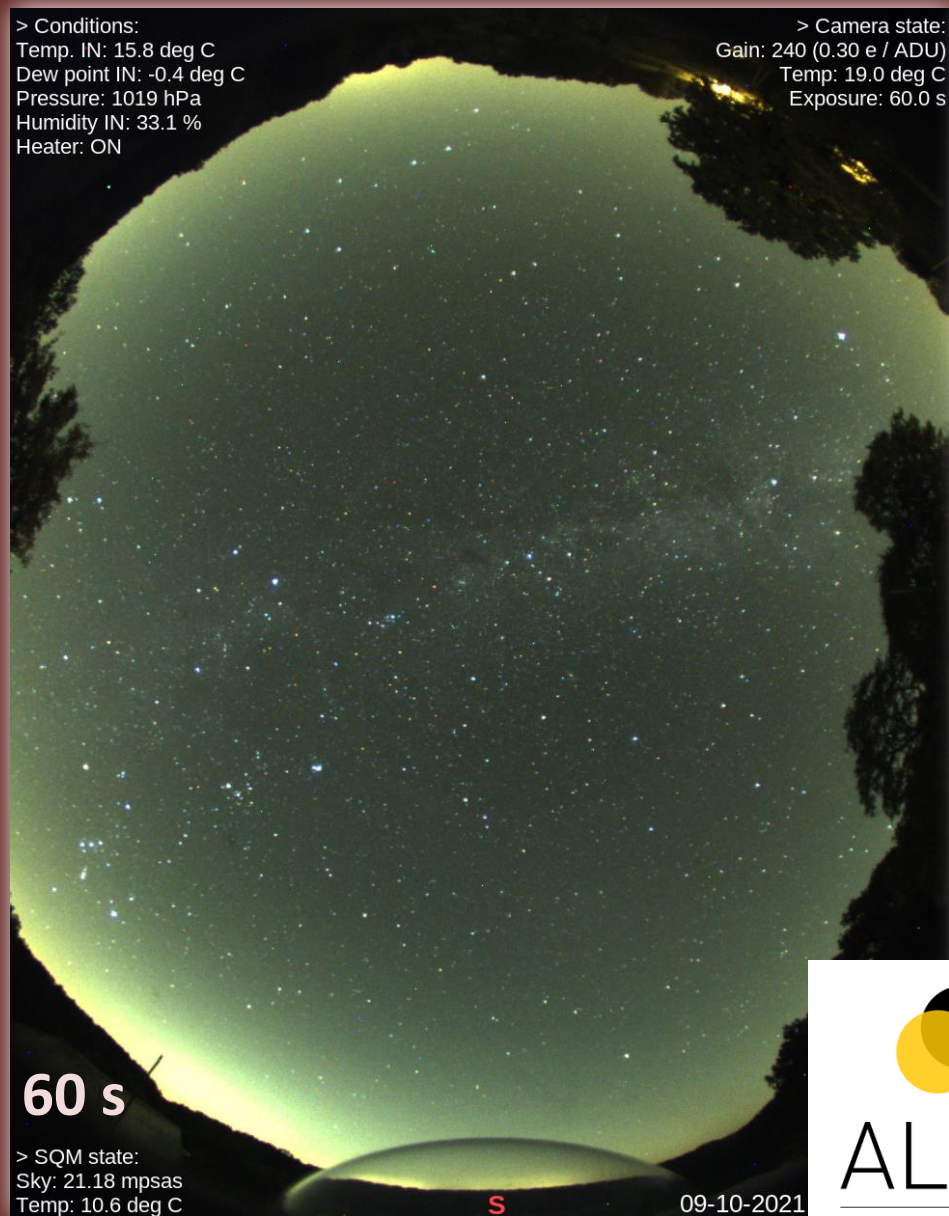
Galaktyka w Andromedzie, M31

# zanieczyszczenie światłem

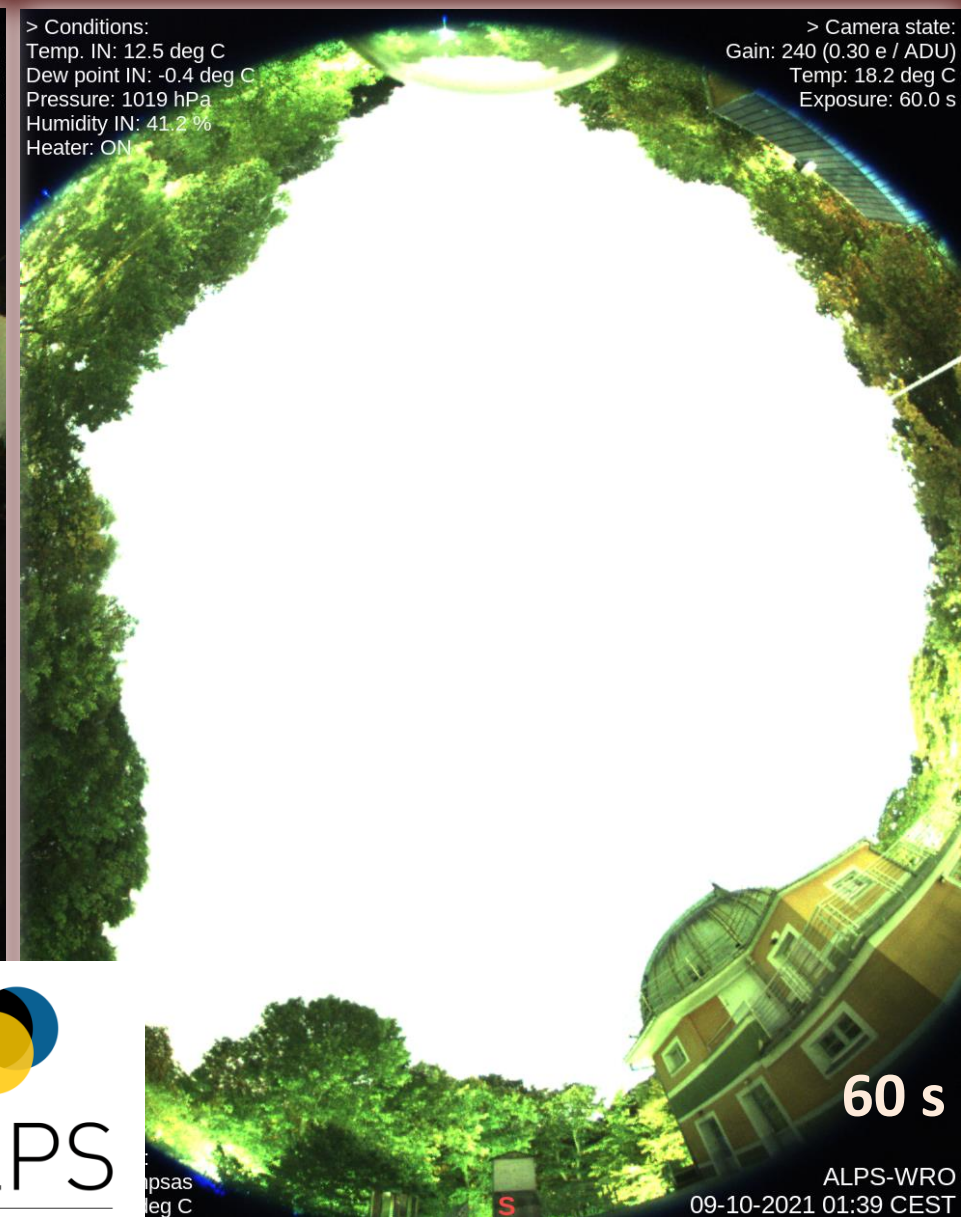
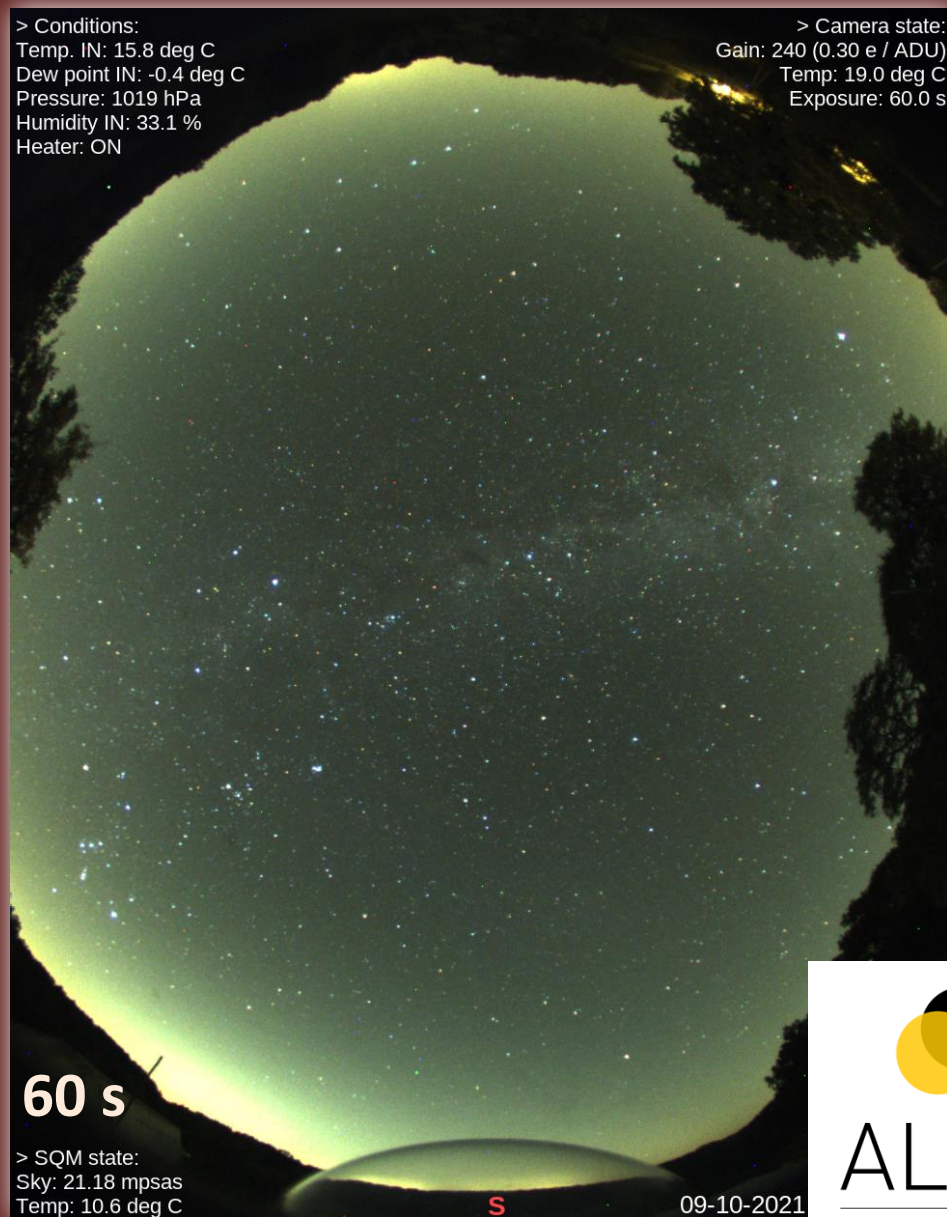


Mgławica Trójlistna Koniczyna, M20

# zanieczyszczenie światłem

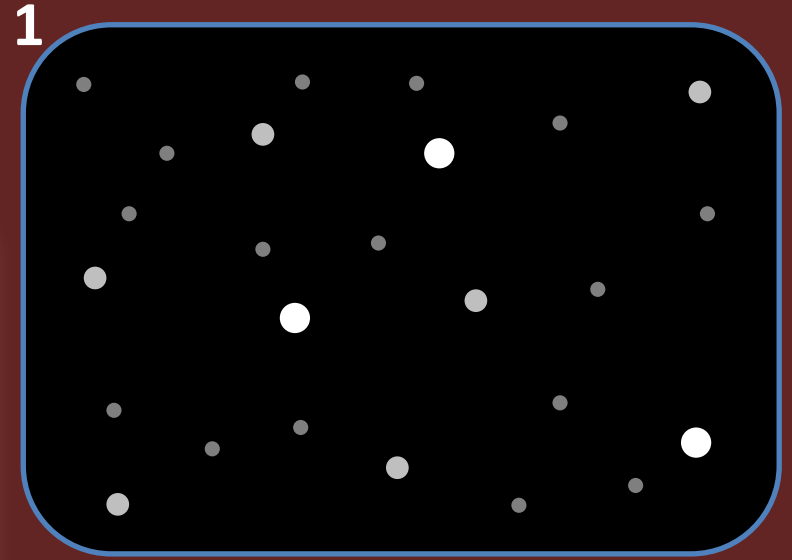


# zanieczyszczenie światłem

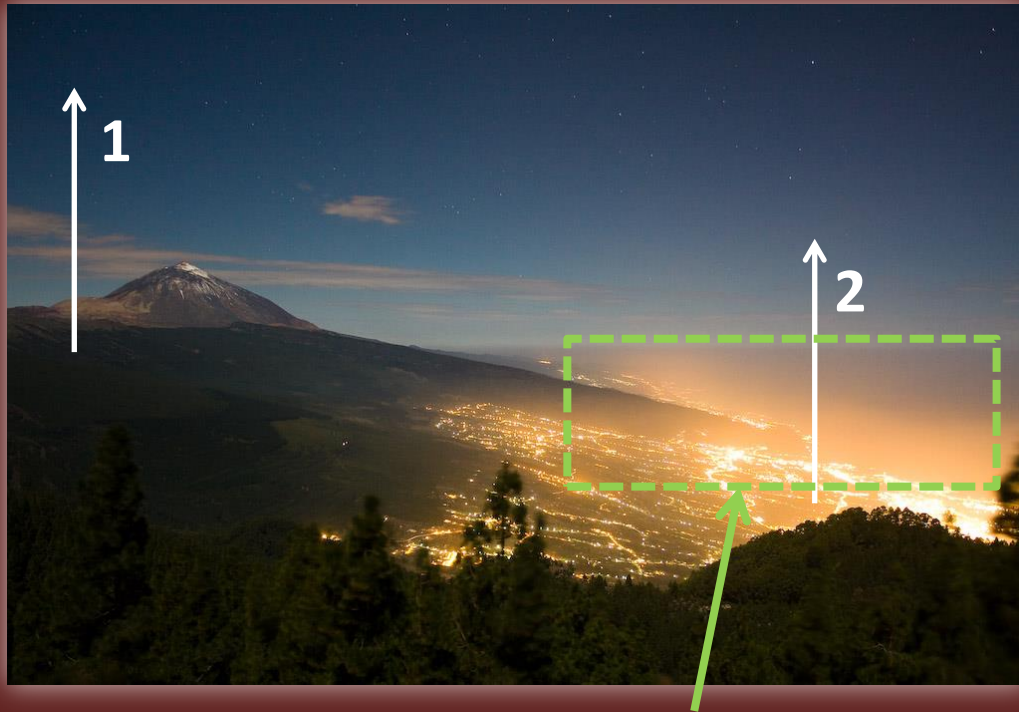




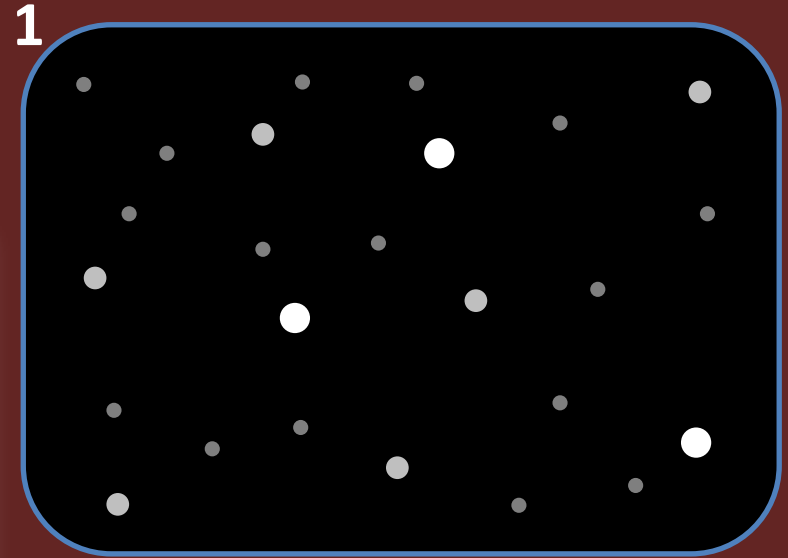
# zanieczyszczenie światłem



# zanieczyszczenie światłem



atmosfera rozprasza sztuczne światło powodując powstanie „świetlnego smogu”, przez który obserwator 2 patrzy na obiekty astronomiczne



# zanieczyszczenie światłem

**sztuczne światło w nocy to:**

jaśniejsze niebo nocne

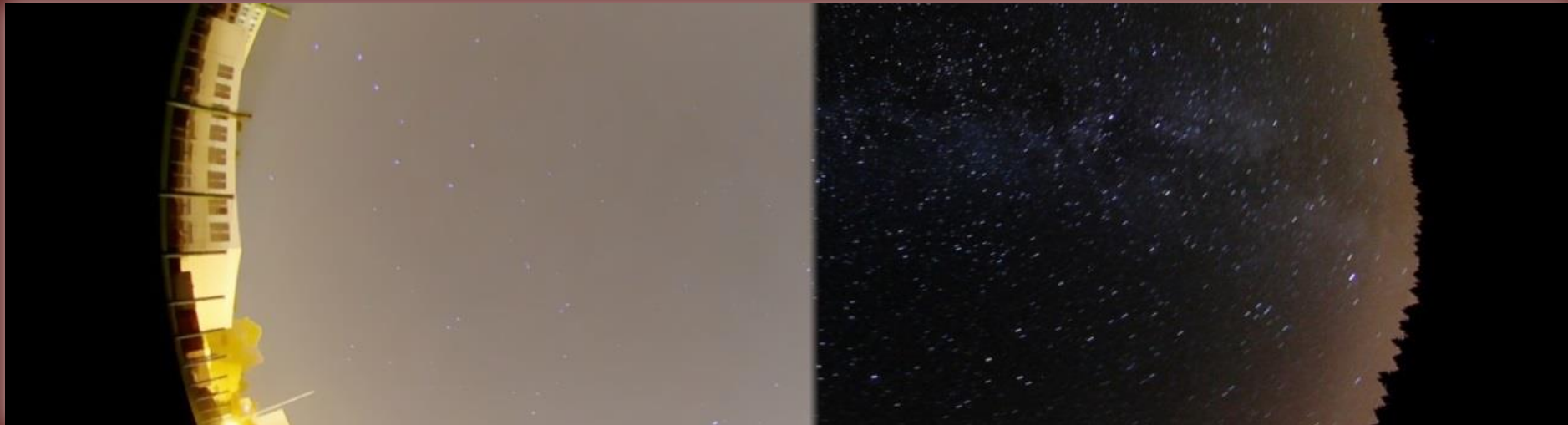


zmniejszenie kontrastu między tłem nieba a gwiazdą / obiektem



brak możliwości obserwacji części gwiazd / obiektów

**więcej sztucznego światła = większe utrudnienia w obserwacjach astronomicznych**



# zanieczyszczenie światłem



Vincent van Gogh, Gwiaździsta noc

**Sztucznie zwiększona jasność nocnego nieba powoduje:**

- **astronomia:** utrudnienia dla badań naukowych i utrata miejsc obserwacyjnych
- **kultura:** zubożenie krajobrazu i dziedzictwa kulturowego

# zanieczyszczenie światłem

## Definicja problemu

**Zanieczyszczenie światłem** (*light pollution*) to jeden z antropogenicznych rodzajów zanieczyszczenia środowiska.

Źródłem ZŚ jest **emisja promieniowania widzialnego** (światła) w porze nocnej z wszelkich źródeł oświetlenia elektrycznego, a w szczególności z **infrastruktury oświetlenia zewnętrznego**.

Substancją zanieczyszczającą jest światło antropogeniczne (światło „sztuczne”).

ZŚ to niepożądany skutek użytkowania sztucznego oświetlenia.

**Sztuczne oświetlenie jest niezbędne.**



# zanieczyszczenie światłem

## Dlaczego sztuczne światło może być zanieczyszczeniem?

Nocna emisja światła (*artificial light at night, ALAN*) do środowiska może:

- wywierać szkodliwy wpływ na ludzi i inne organizmy żywe
- pogarszać walory estetyczne środowiska naturalnego i kulturowego
- kolidować z niektórymi obszarami działalności człowieka
- wiązać się z pogorszeniem efektywności energetycznej

Każdy poziom emisji ALAN może być ZŚ, jeśli powoduje negatywne skutki.

**Szczególnie niekorzystnie jest oświetlenie nieodpowiednio zaprojektowane, zrealizowane lub utrzymane.**



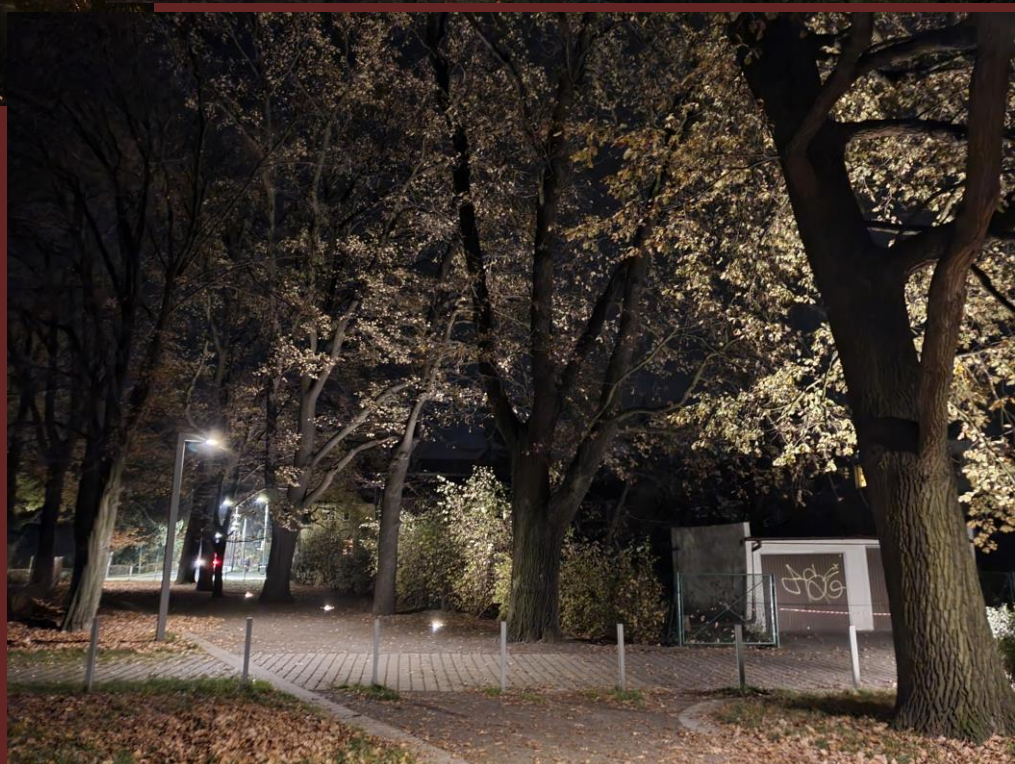
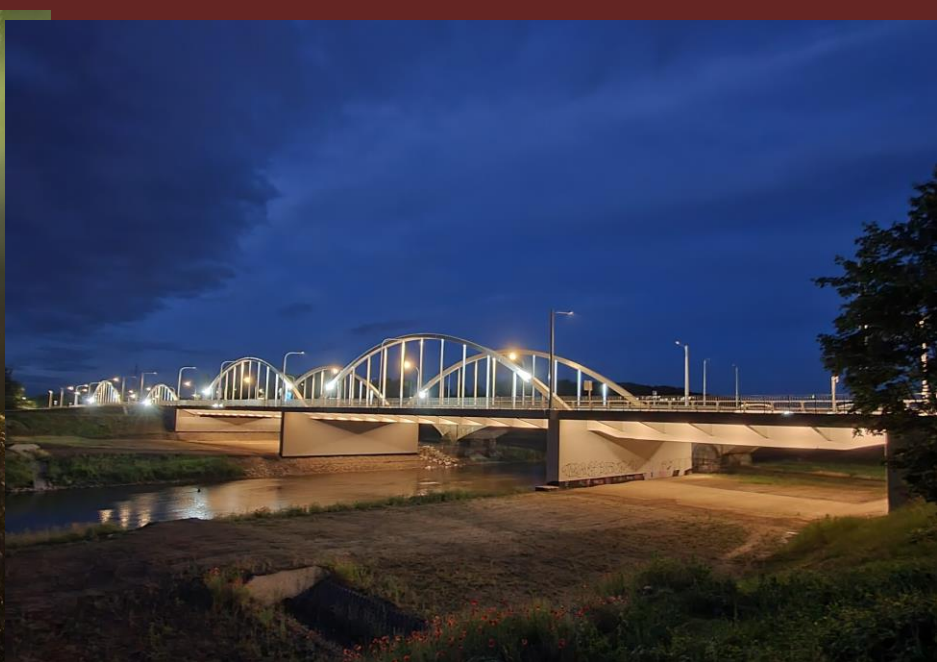
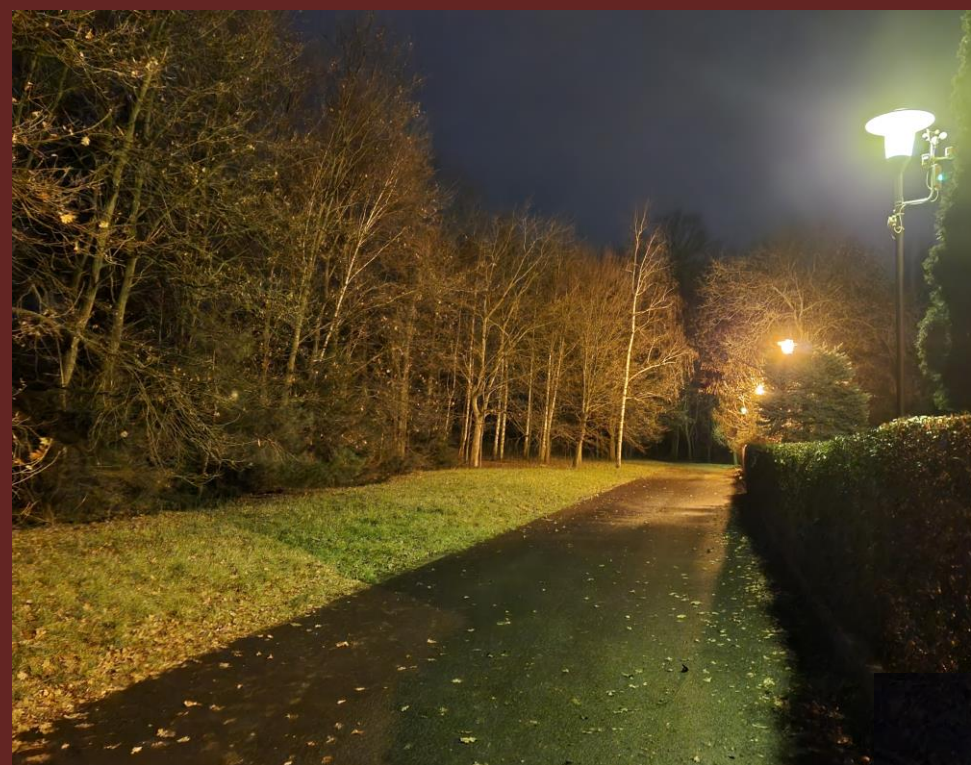
## Przykłady złego oświetlenia

- intruzja światła
- przewymiarowanie
- olśnienie
- nieład oświetleniowy









# zanieczyszczenie światłem

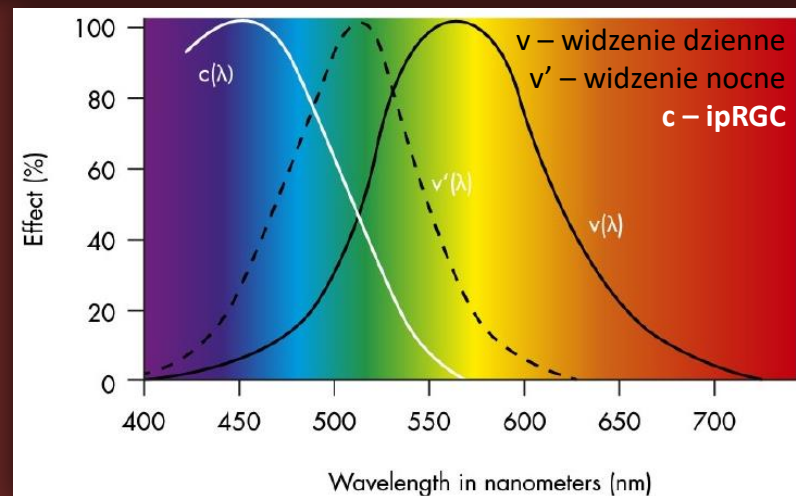
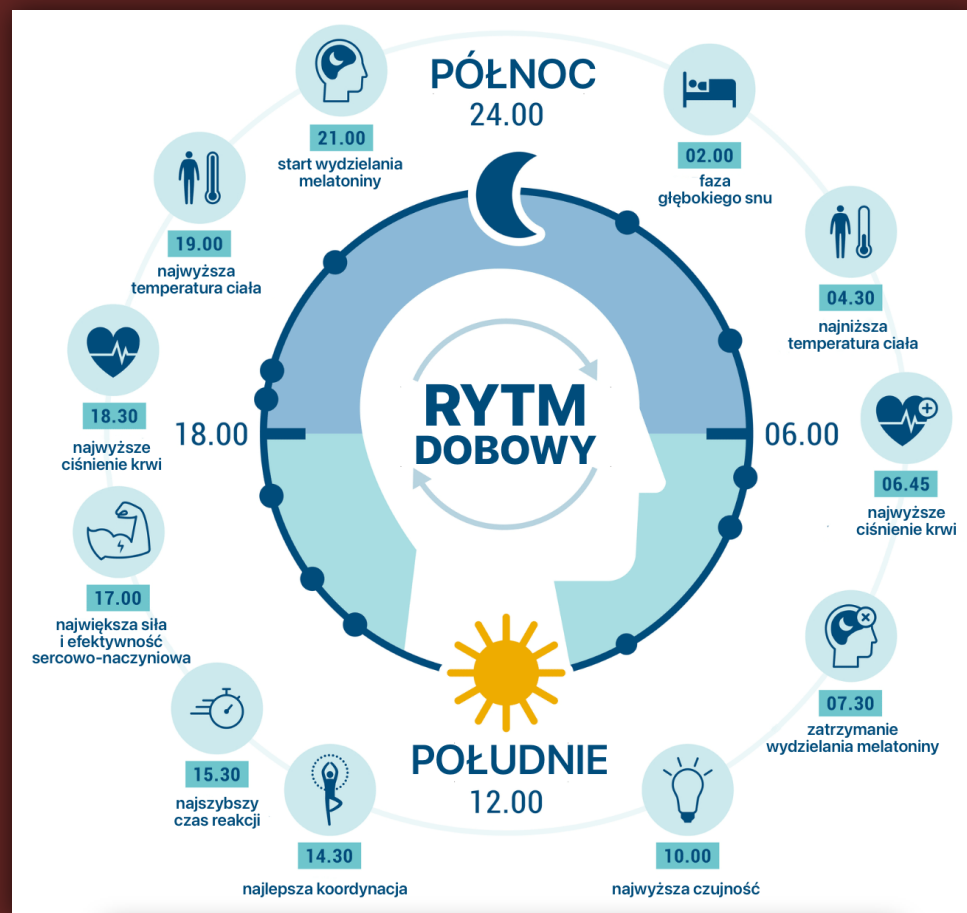
## Wpływ ALAN na człowieka

ALAN powoduje zaburzenie rytmu okołodobowego (cykl dzień-noc).

Obecność światła w nocy hamuje wydzielanie melatoniny, w czasie kiedy powinna być wydzielana („hormon ciemności”).

Melatonina reguluje zegar biologiczny (rytm dobowy organizmu), jest antyoksydantem (neutralizacja wolnych rodników), może mieć korzystny wpływ na układ odpornościowy, może odgrywać rolę w regulowaniu masy ciała.

Źródłem synchronizacji zegara biologicznego jest światło. Ilość światła jest mierzona przez światłoczułe neurony znajdujące się w siatkówce oka (ipRGC). Są one **najbardziej czułe na światło niebieskie**.



# zanieczyszczenie światłem

## Wpływ ALAN na zwierzęta

Światło dla zwierząt jest źródłem informacji o otoczeniu. Cykliczne zmiany ilości światła (dzień-noc, pory roku) są czynnikiem ewolucyjnym, który wywołał odpowiednie przystosowanie zwierząt.

**ALAN**, zaburzając naturalny dobowy cykl obecności i braku światła, może **negatywnie** wpływać na **zegar biologiczny zwierząt** (ich istotne zachowania i interakcję ze środowiskiem).

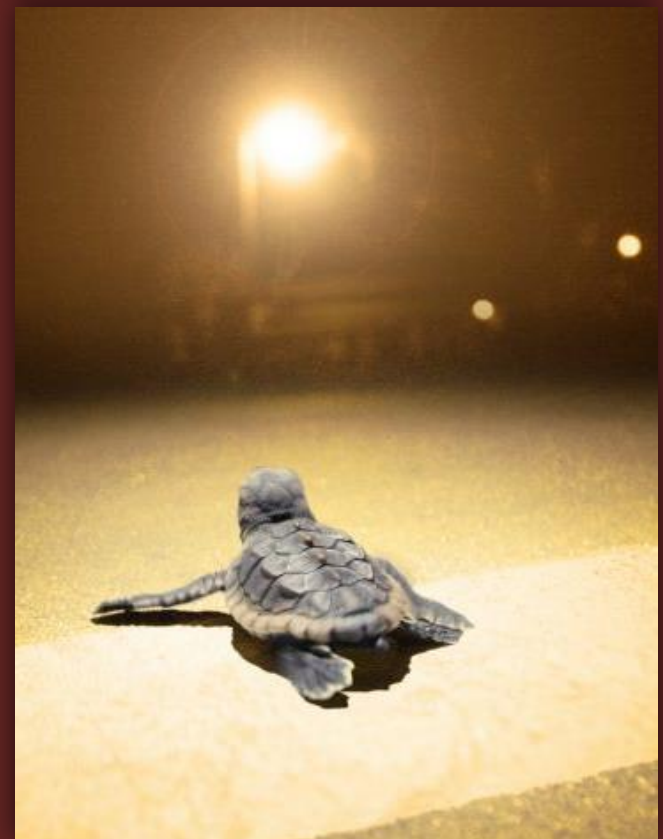
Wybrane przykłady:

**Owady:** wpływ na aktywność, zdolność do pobierania pokarmu, rozmnażanie, zapylanie roślin! (światło pułapką)

**Nietoperze:** utrudnienie opuszczenia dziennej kryjówki po zapadnięciu zmroku (problem ze zdobywaniem pokarmu)

**Ptaki:** zmiany w porze śpiewu i w okresie lęgów, zagrożenie w czasie migracji

**Płazy, gady** – zmiany w porach aktywności i spoczynku, przeżywalność potomstwa, preferencje pokarmowe.



# zanieczyszczenie światłem

## Wpływ ALAN na rośliny

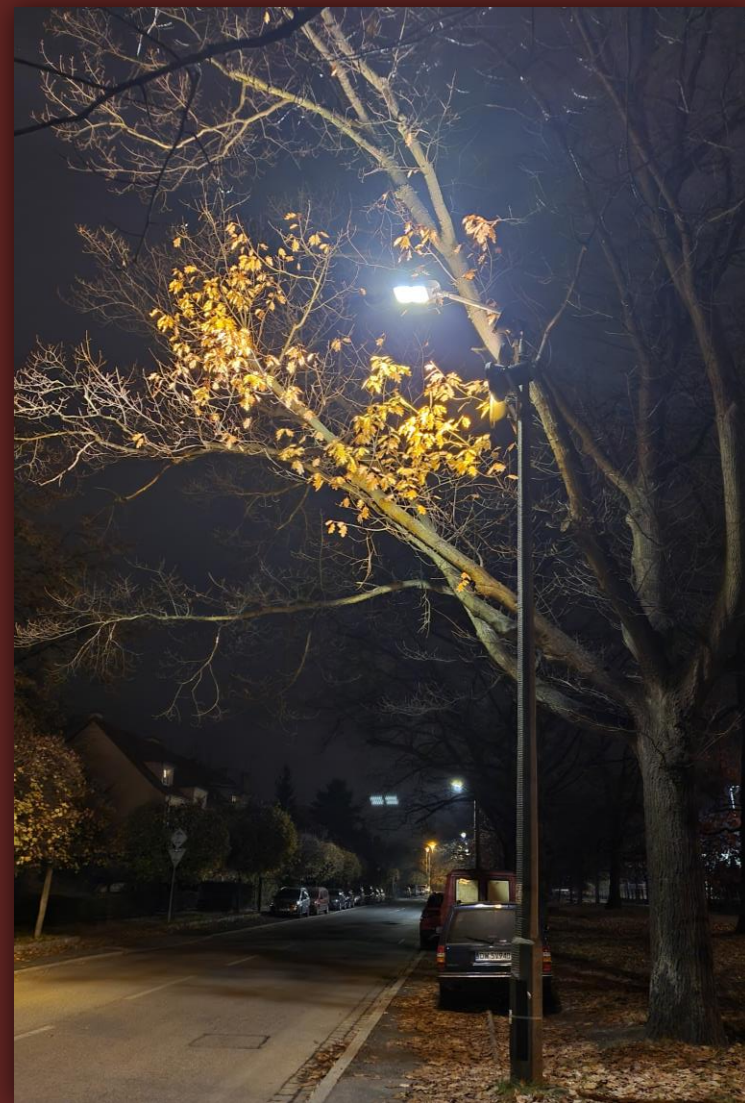
Światło dla roślin jest źródłem energii (fotosynteza) oraz informacji o otaczającym środowisku. Cykliczne zmiany ilości światła (dzień-noc, pory roku) to czynnik ewolucyjny, który wywołał odpowiednie przystosowanie roślin.

**ALAN zaburza u roślin fotoperiodyzm, który wpływa na procesy wzrostowo-rozwojowe.** Różne gatunki mają różną wrażliwość na ALAN.

Wybrane przykłady wpływu ALAN:

- wcześniejszy rozwój pąków i kwitnienie na wiosnę: uszkodzenia przez przymrozki, brak synchronizacji z zapylaczami
- późniejsze przebarwianie i zrzucanie liści oraz przechodzenie w spoczynek zimowy: większa podatność na mrozy, uszkodzenia przez śnieg
- otwieranie aparatów szparkowych nocą: utrata wody, wnikanie zanieczyszczeń i patogenów do liści

Dekoracyjne oświetlanie roślin może im poważnie szkodzić.



# zanieczyszczenie światłem

## Jak mierzyć ZŚ?

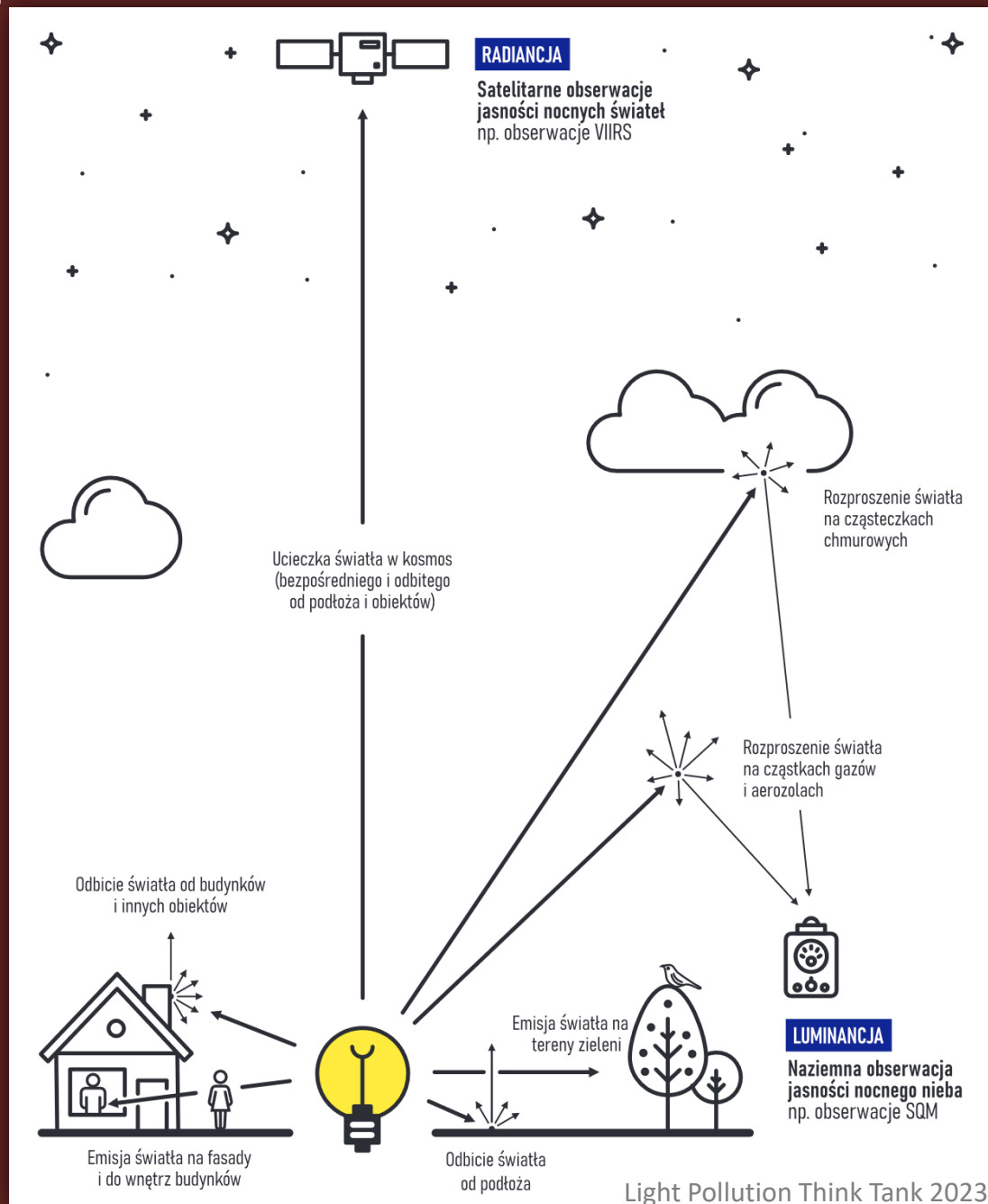
Ilościowej oceny poziomu ZŚ dokonuje się metodami teledetekcji satelitarnej i naziemnej.

**radiometria satelitarna** (lub lotnicza) – pomiar radiancji naziemnych źródeł ALAN (światła uciekającego w kosmos)

- detektory: radiometry, kamery cyfrowe
- zalety: pokrycie dużych obszarów (globalne), otwarty dostęp do danych
- wady: dane tylko przy braku chmur, ograniczenia w czułości widmowej

**fotometria naziemna** – pomiar jasności powierzchniowej nocnego nieba (światła rozproszonego w atmosferze i odbitego od chmur)

- detektory: fotometry, kamery cyfrowe
- zalety: pomiar dla różnych warunków pogodowych (środowiskowe ZŚ)
- wady: lokalny zasięg (potrzebne sieci)



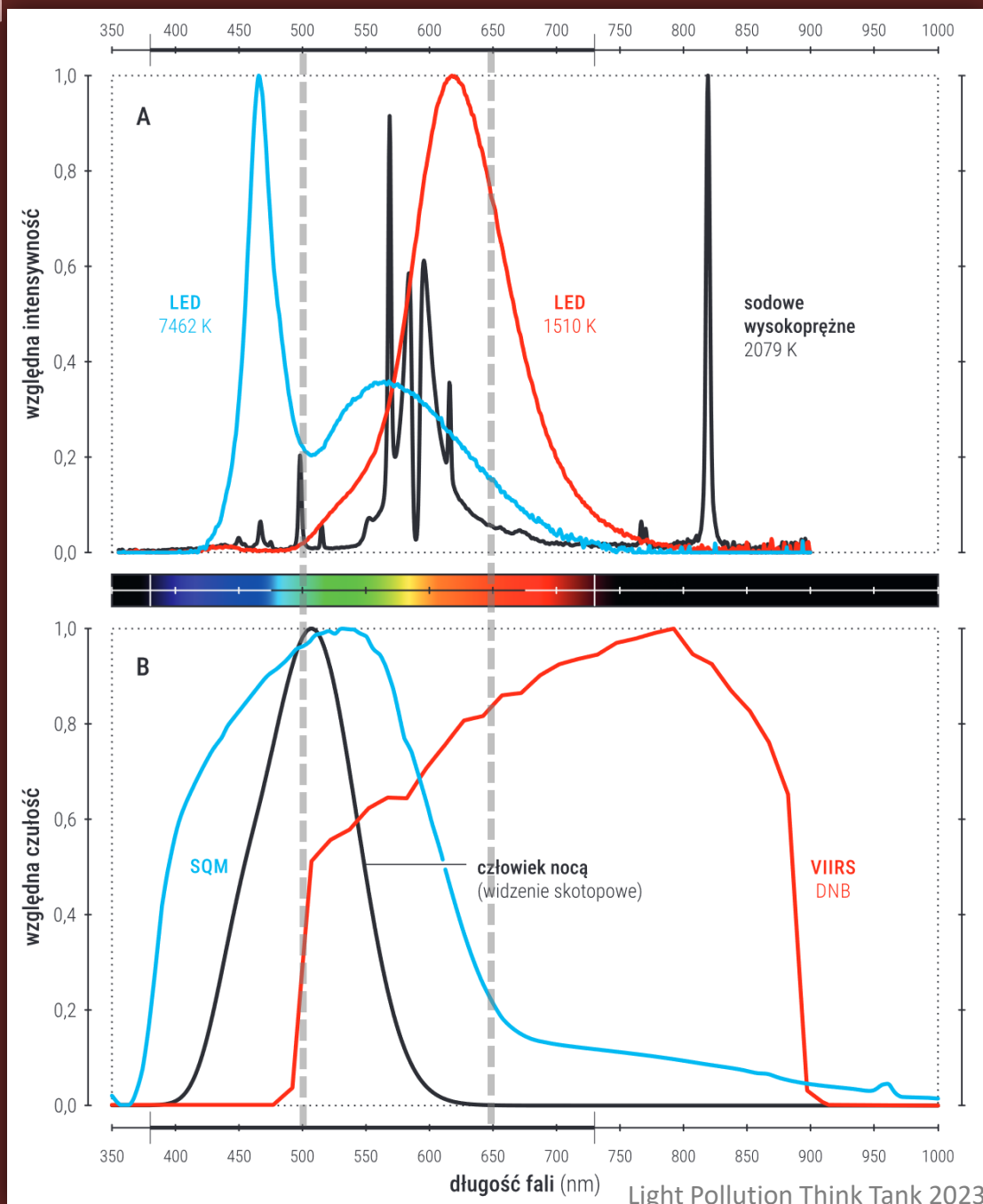
# zanieczyszczenie światłem

## Źródła ALAN i detektory

Charakterystyki widmowe wybranych sztucznych źródeł światła oraz wybranych detektorów światła.

Widoczne ograniczenia detektorów względem emisji sztucznych źródeł światła.

Na przykład dane z satelitarne z instrumentu VIIRS nie rejestrują emisji poniżej dł. fali 500 nm. To oznacza, że nie mamy informacji o części emisji źródeł LED, które są coraz powszechniejsze w oświetleniu zewnętrznym.



# zanieczyszczenie światłem

## Przykłady danych

Przykład danych satelitarnych:  
Europa nocą 4.01.2022 1:15 UTC,  
obraz uzyskany instrumentem VIIRS  
satelity Suomi NPP (kanał DNB)

Interaktywna mapa z danymi VIIRS:  
[www.lightpollutionmap.info](http://www.lightpollutionmap.info)



# zanieczyszczenie światłem

## Przykłady danych

Przykład danych satelitarnych:  
Wrocław nocą 6.04.2016,  
obraz uzyskany aparatem cyfrowym  
z pokładu ISS

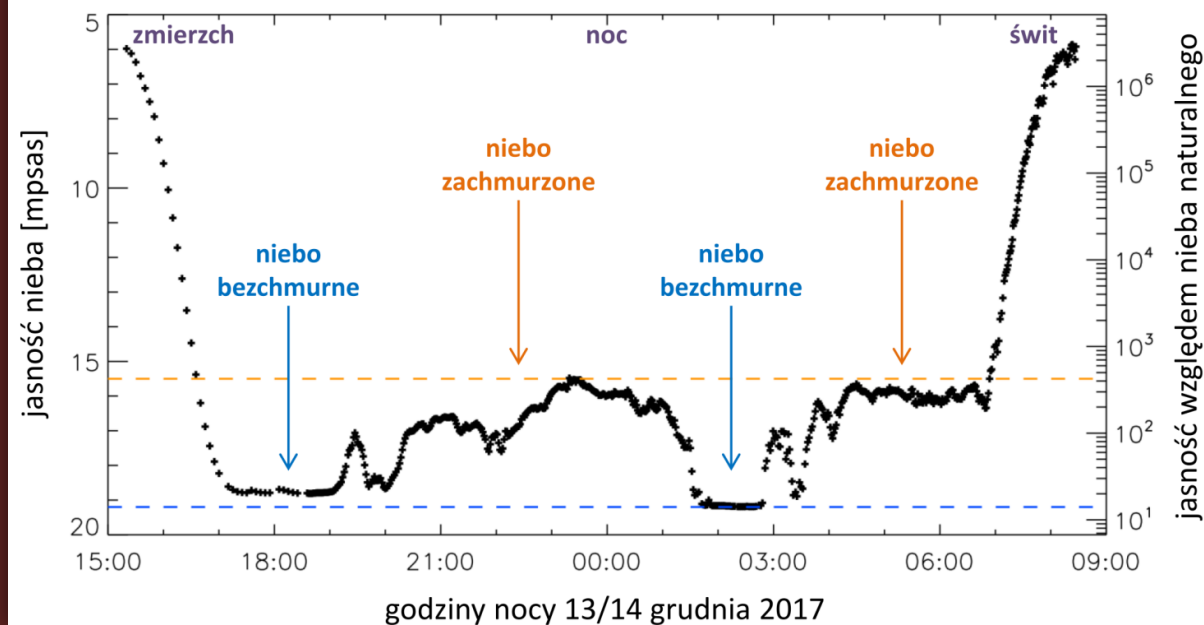




# zanieczyszczenie światłem

## Przykłady danych

ALPS-WRO-SQM



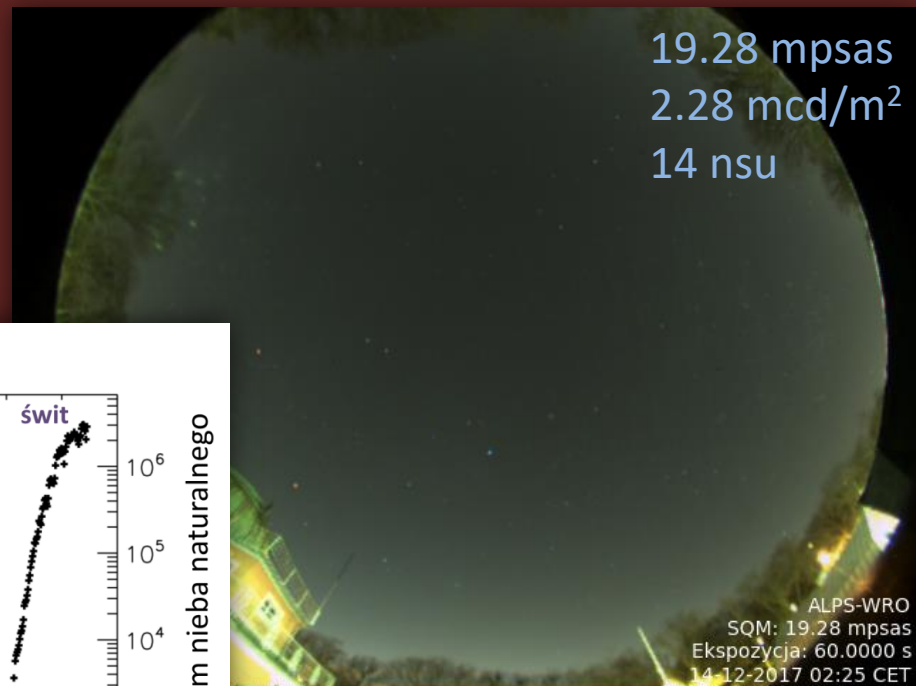
Przykład danych naziemnych:

Jasność nieba we Wrocławiu nocą 13/14.12.2017 oraz obrazy allsky,

dane uzyskane ze stacji ALPS-WRO (sieć ALPS)

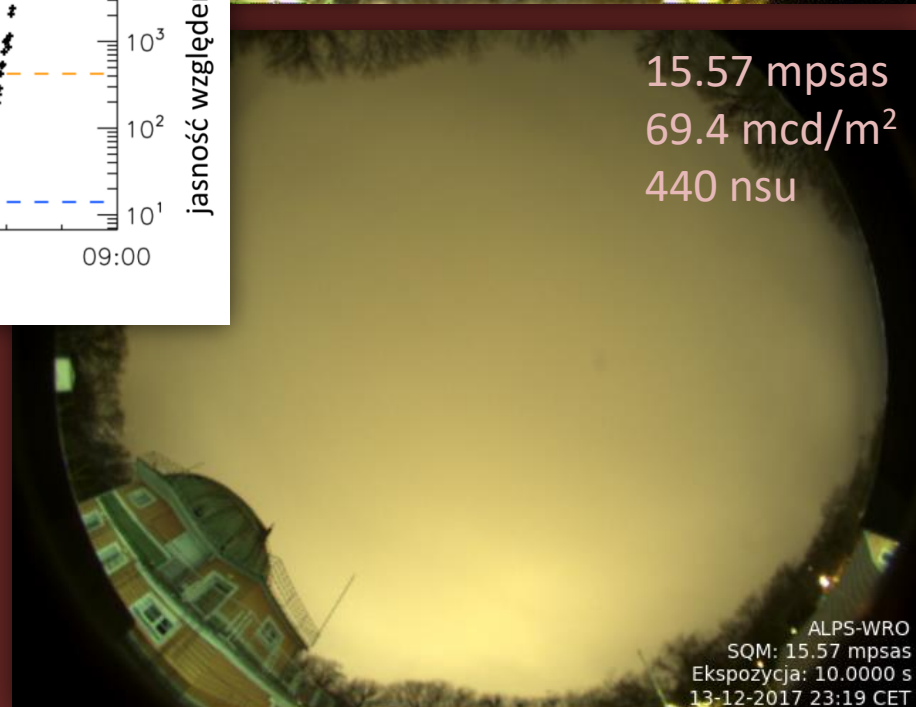
mpsas = mag/arcsec<sup>2</sup>, nsu = natural sky unit

19.28 mpsas  
2.28 mcd/m<sup>2</sup>  
14 nsu



ALPS-WRO  
SQM: 19.28 mpsas  
Ekspozycja: 60.0000 s  
13-12-2017 02:25 CET

15.57 mpsas  
69.4 mcd/m<sup>2</sup>  
440 nsu



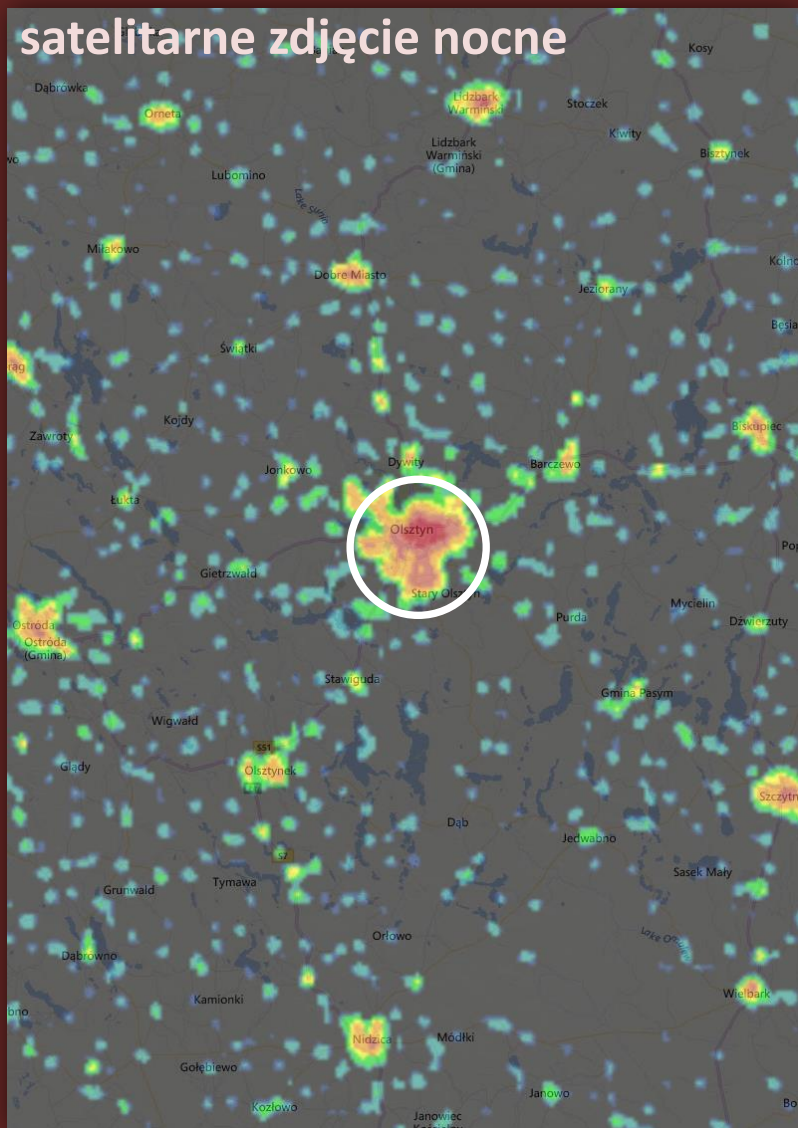
ALPS-WRO  
SQM: 15.57 mpsas  
Ekspozycja: 10.0000 s  
13-12-2017 23:19 CET

# zanieczyszczenie światłem

## Modelowe mapy jasności nieba

Na podstawie danych satelitarnych wyliczane są mapy jasności nieba, przy założeniu pewnego modelu atmosfery i rozchodzenia się w niej światła.

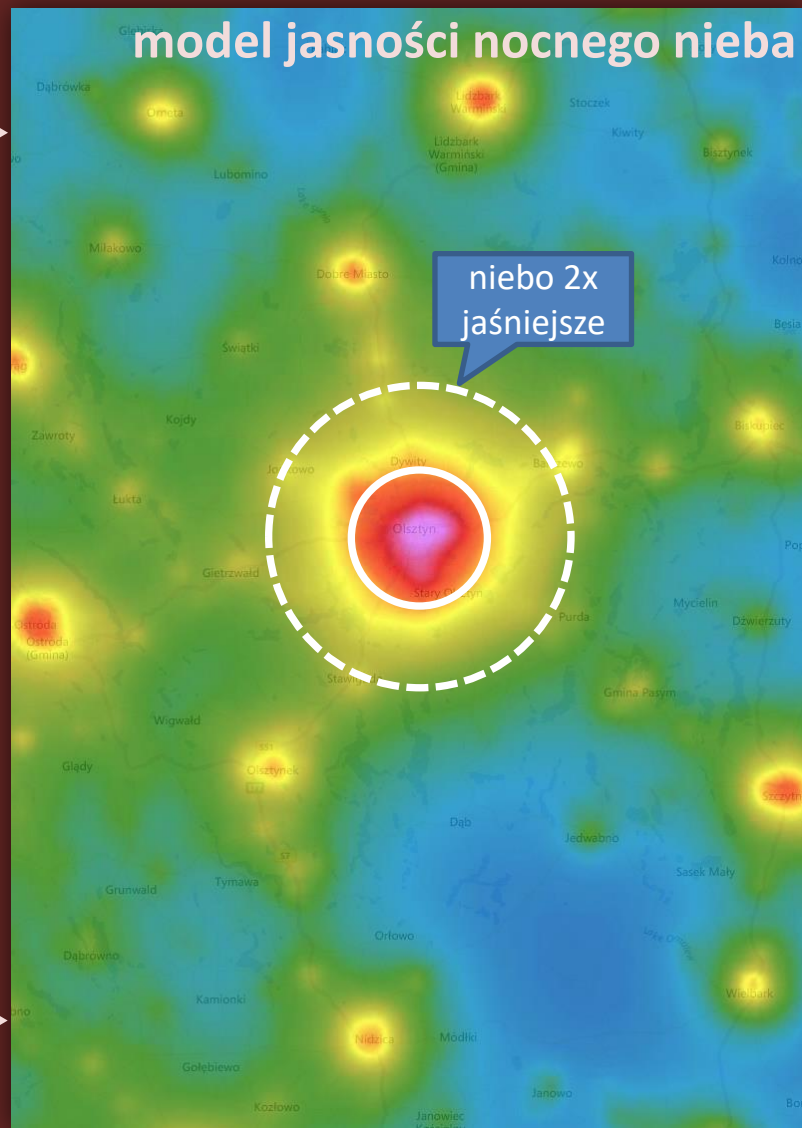
satelitarne zdjęcie nocne



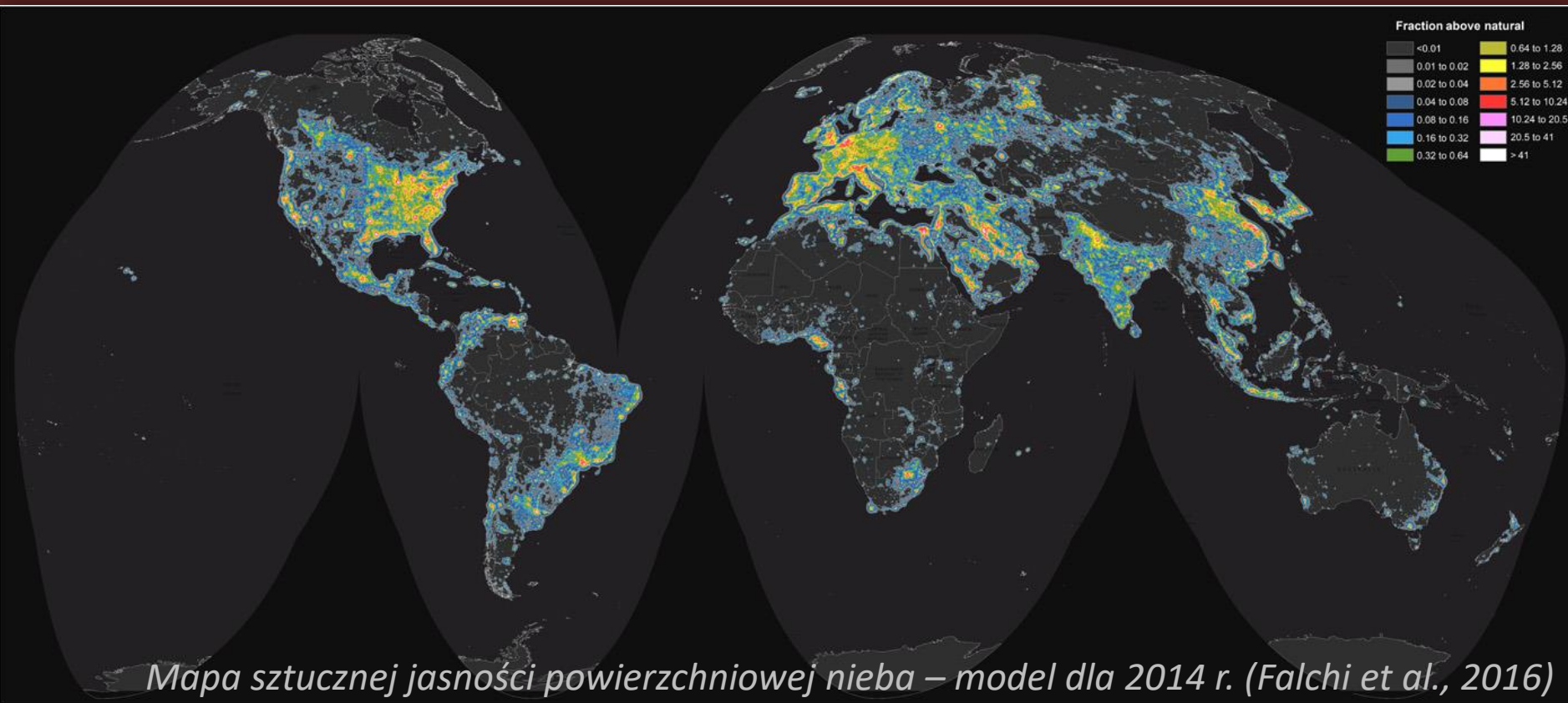
transfer promieniowania  
przez atmosferę



model jasności nocnego nieba



# zanieczyszczenie światłem



- zenit, filtr V
- poziom naturalny: 22.0 mpsas ( $174 \mu\text{cd}/\text{m}^2$ , 1.0 nsu [natural sky unit])
- ekstynkcja: 0.33 mag.
- widzialność horyzontalna: 26 km
- uwzględnione: krzywizna Ziemi, DEM (bez efektu osłaniania przez formy terenowe), rozpraszanie (1 i 2 rząd) Rayleigha (molekuły) i Mie (aerozole)
- czas obliczeniowy: 200 dni PC Intel i5

# zanieczyszczenie światłem

## Modelowe mapy jasności nieba

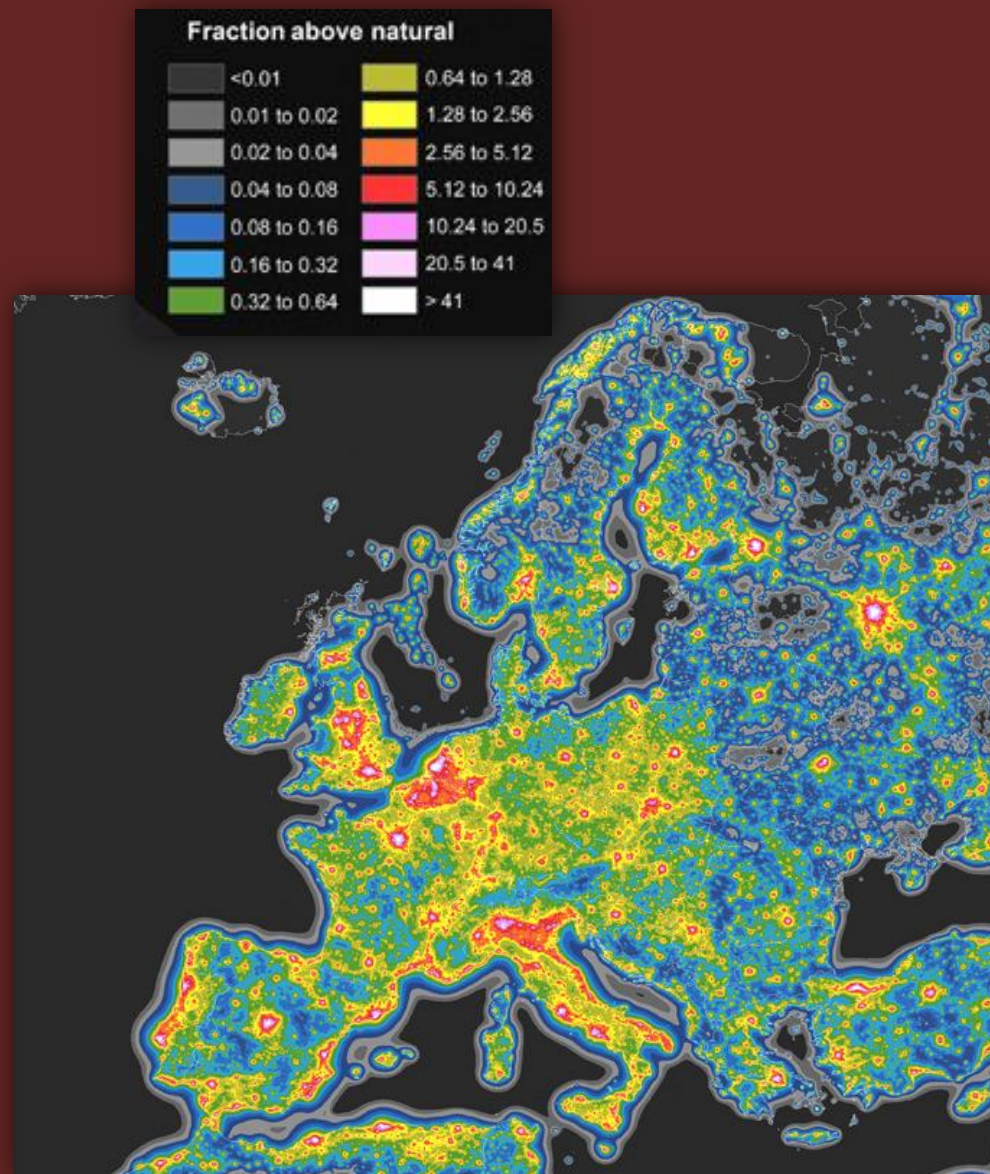
### zalety

- globalne pokrycie
- możliwość śledzenia zmian w czasie
- rzeczywiste rozjaśnienie nieba

### wady

- brak informacji dla nieba zachmurzonego
- częściowy brak czułości na emisję LED
- zwykle liczone tylko dla zenitu
- brak niektórych źródeł ALAN

Do kalibracji map modelowych używane są naziemne pomiary jasności nieba.



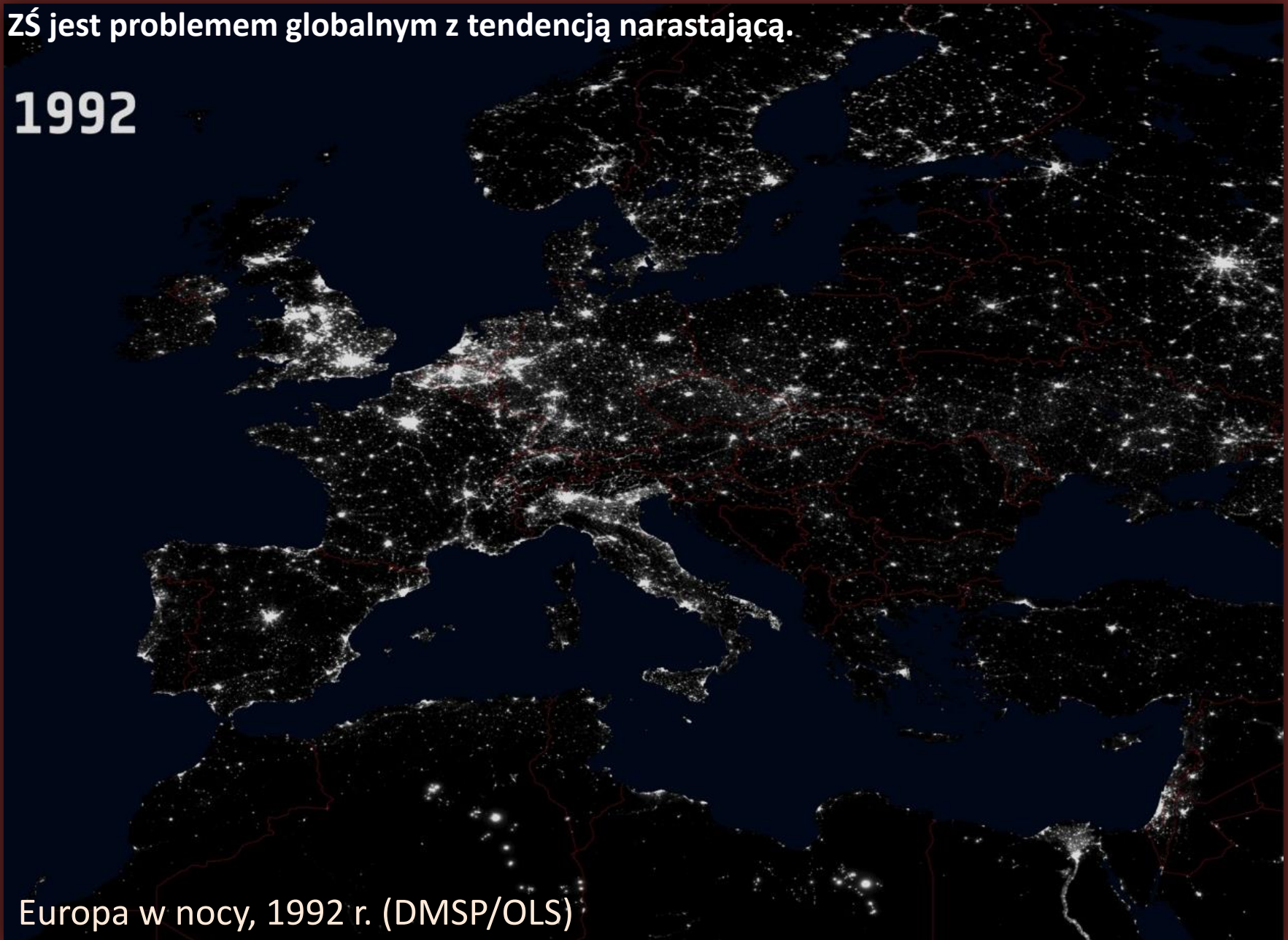
Mapa sztucznej jasności powierzchniowej nieba  
– model dla 2014 r. (Falchi et al., 2016)

Zobacz wersję interaktywną na [www.lightpollutionmap.info](http://www.lightpollutionmap.info)  
(warstwa world atlas 2015)

# zanieczyszczenie światłem

ZŚ jest problemem globalnym z tendencją narastającą.

**1992**

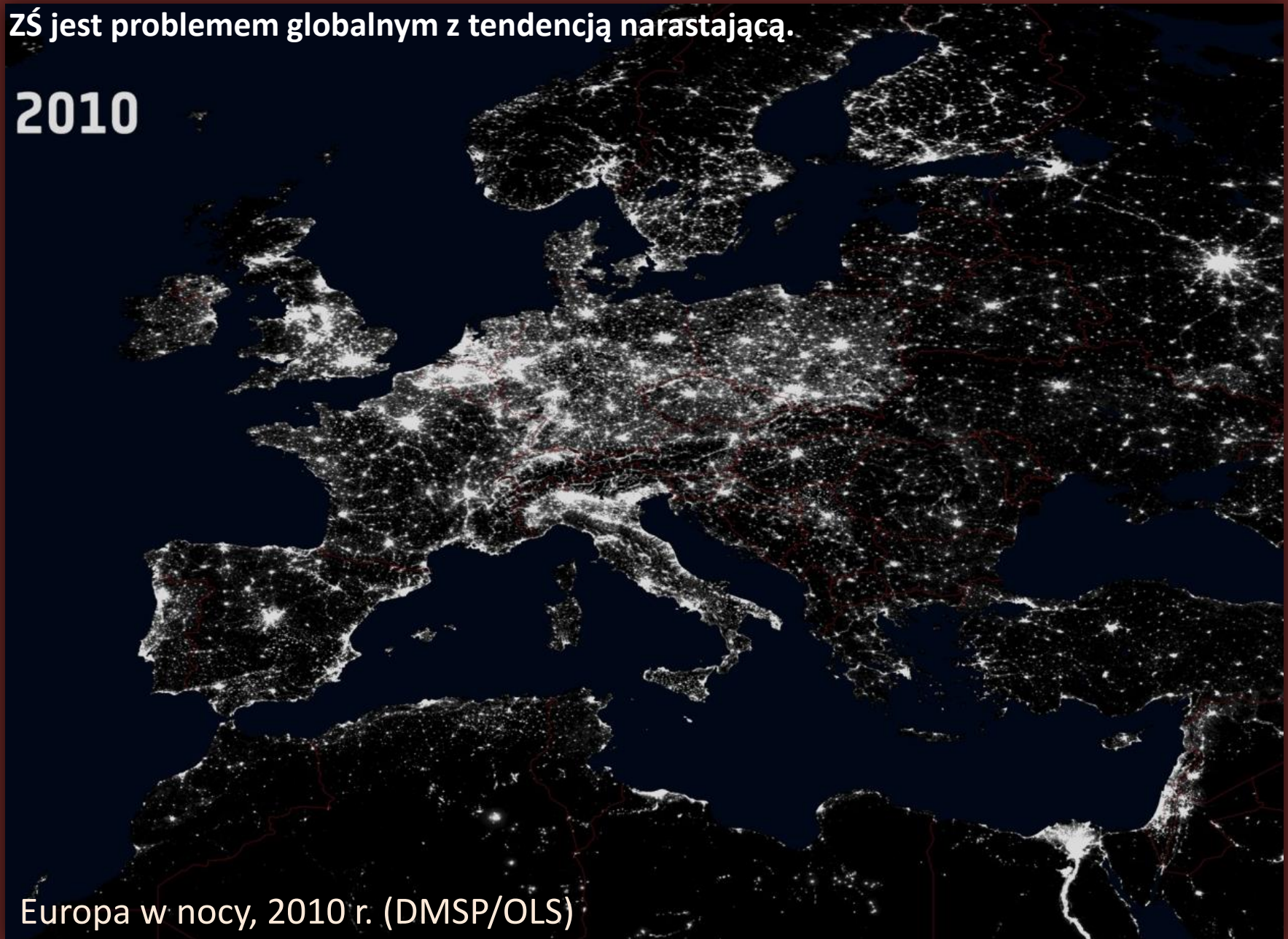


Europa w nocy, 1992 r. (DMSP/OLS)

# zanieczyszczenie światłem

ZŚ jest problemem globalnym z tendencją narastającą.

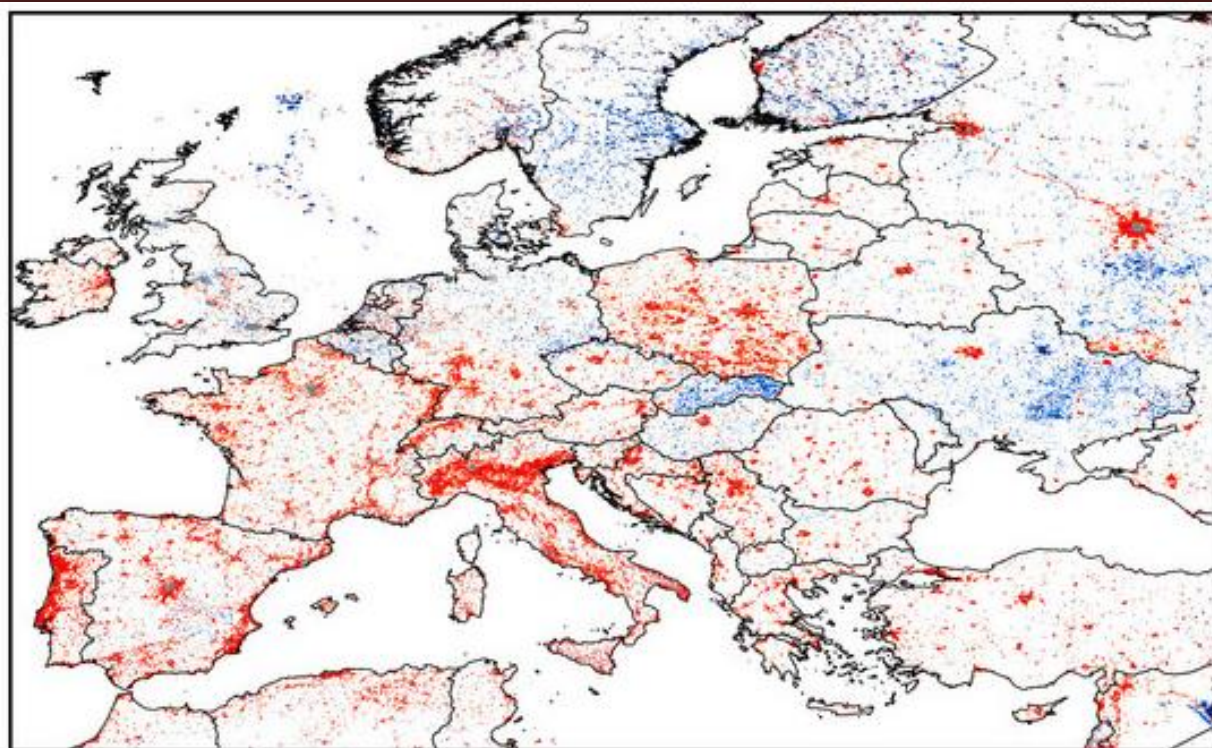
**2010**



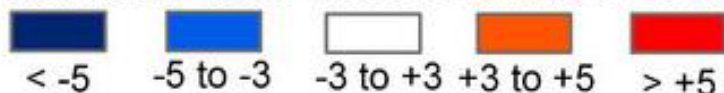
Europa w nocy, 2010 r. (DMSP/OLS)

# zanieczyszczenie światłem

ZŚ jest problemem globalnym z tendencją narastającą.

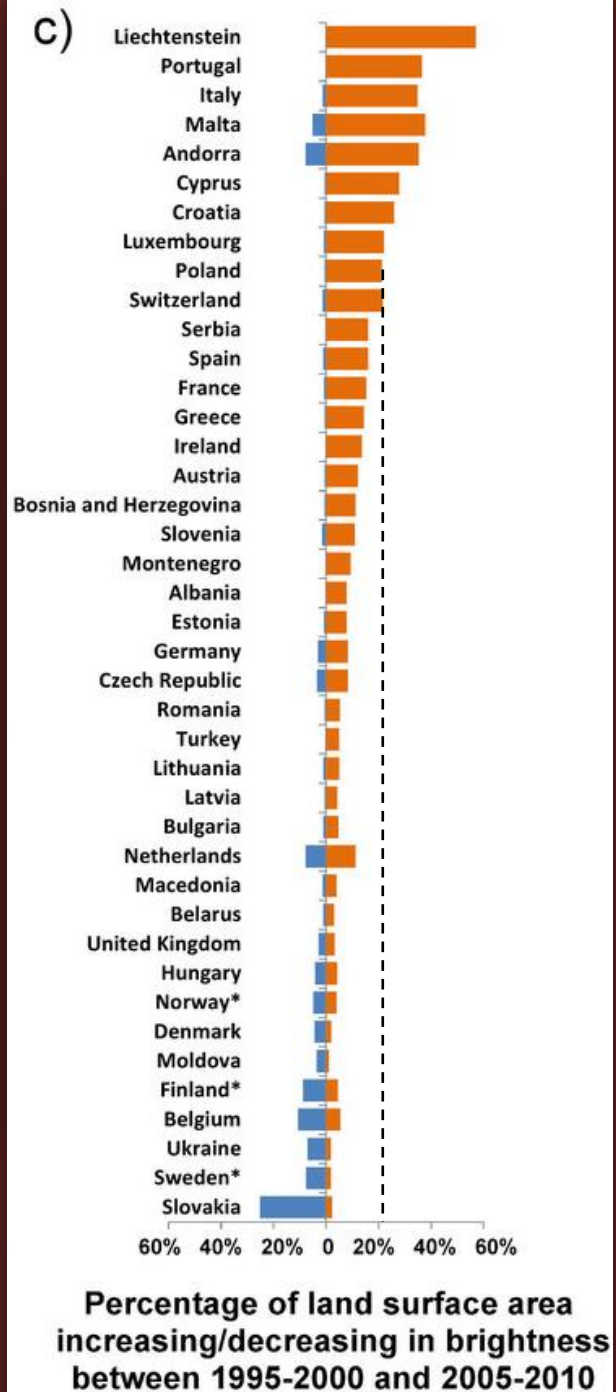


**Change in brightness (calibrated digital number)  
between 1995-2000 and 2005-2010**



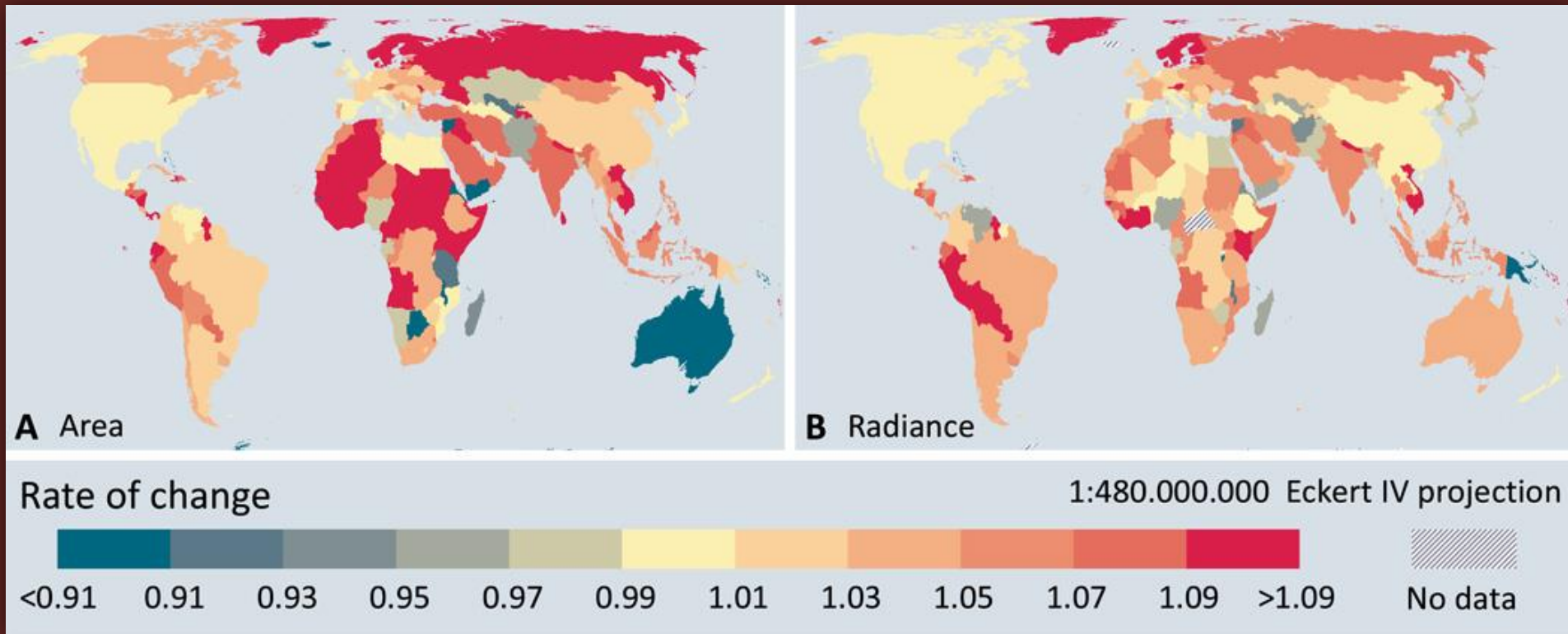
*(Bennie et al., 2014)*

Około 20% powierzchni Polski pojaśniało w ciągu 10 lat na przełomie XX/XXI w.



# zanieczyszczenie światłem

ZŚ jest problemem globalnym z tendencją narastającą.



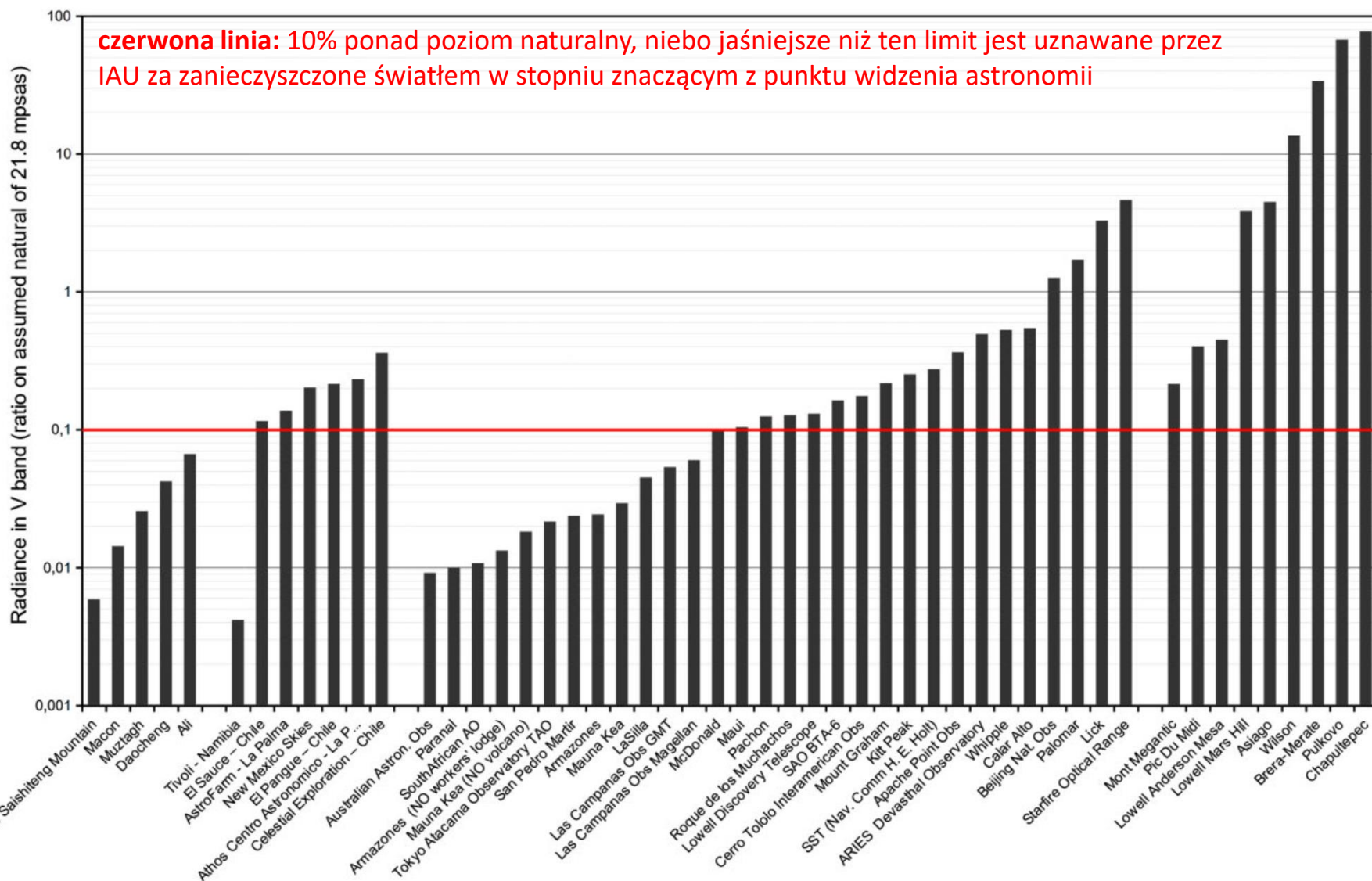
*(Kyba et al., 2017)*

Roczne tempo zmian powierzchni obszarów oświetlanych (A) oraz w radiancji obszarów oświetlonych (B). Między 2016 a 2012 radiancja całego świata wzrosła o ok. 9% (co najmniej).



# zanieczyszczenie światłem

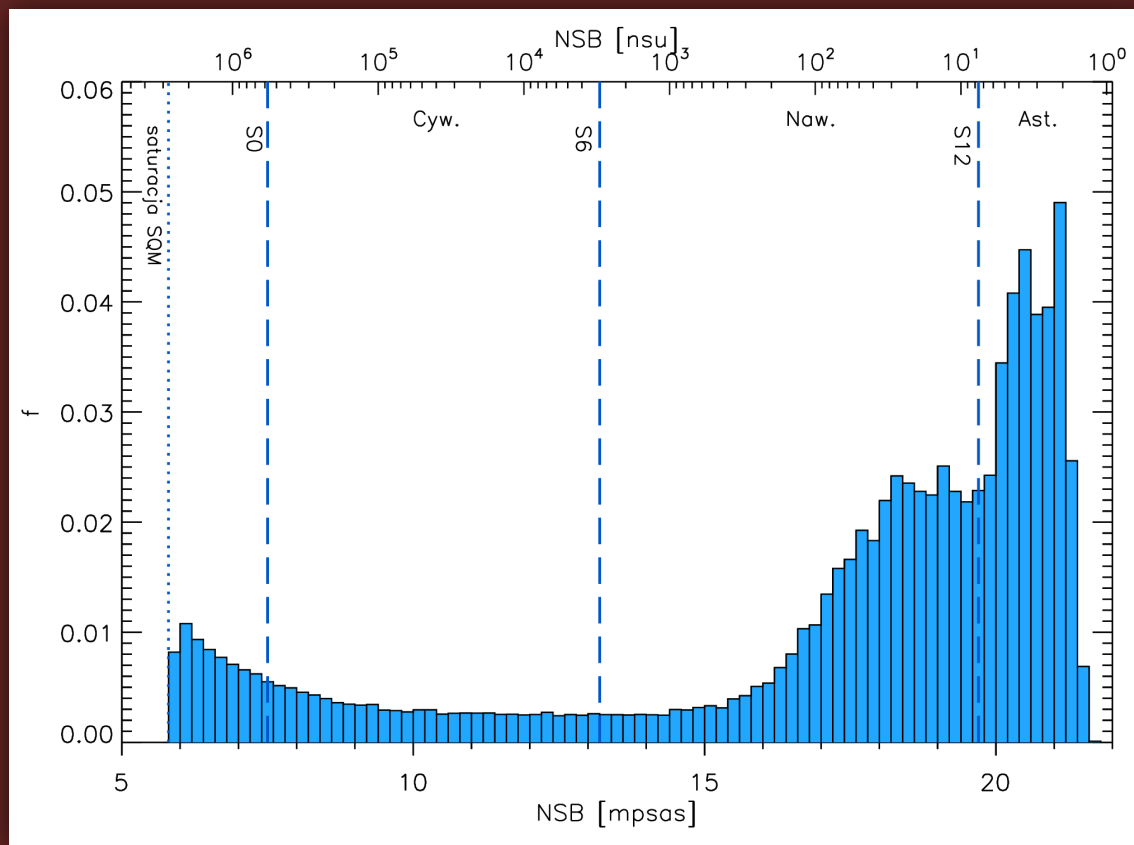
Average Radiance at 30° above horizon



(Falchi et al., 2023)

Jasność nocnego nieba w obserwatoriach astronomicznych (planowanych, amatorskich, istniejących, historycznych)

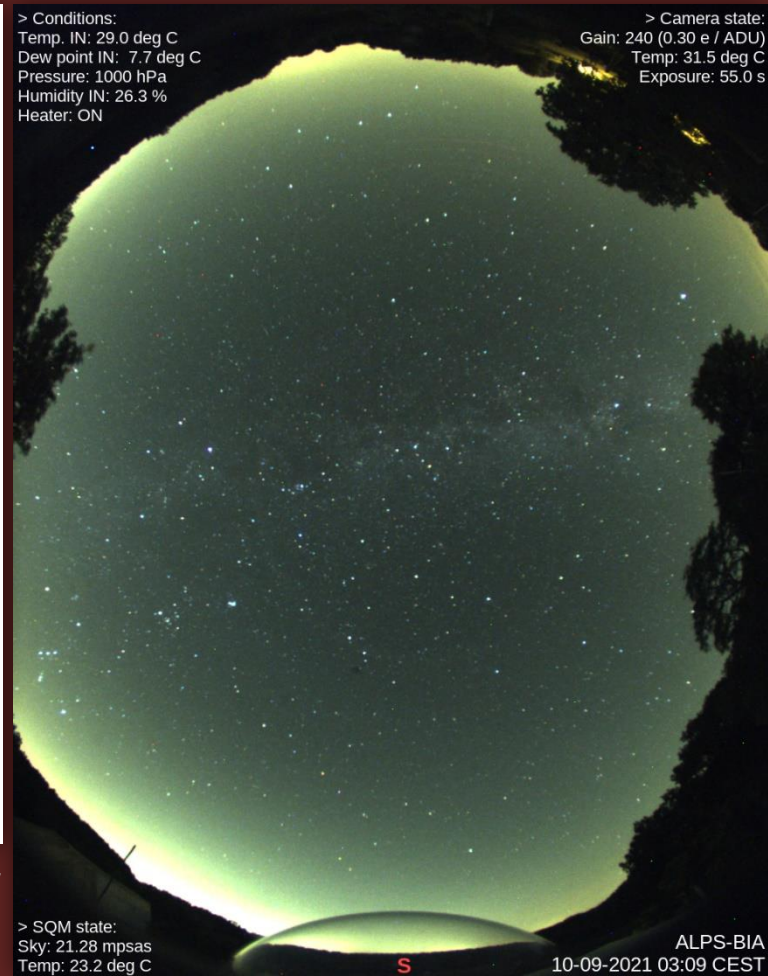
# zanieczyszczenie światłem



Histogram jasności nieba i obraz typu allsky  
(obserwatorium UWr w Białkowie)

> Conditions:  
Temp. IN: 29.0 deg C  
Dew point IN: 7.7 deg C  
Pressure: 1000 hPa  
Humidity IN: 26.3 %  
Heater: ON

> Camera state:  
Gain: 240 (0.30 e / ADU)  
Temp: 31.5 deg C  
Exposure: 55.0 s



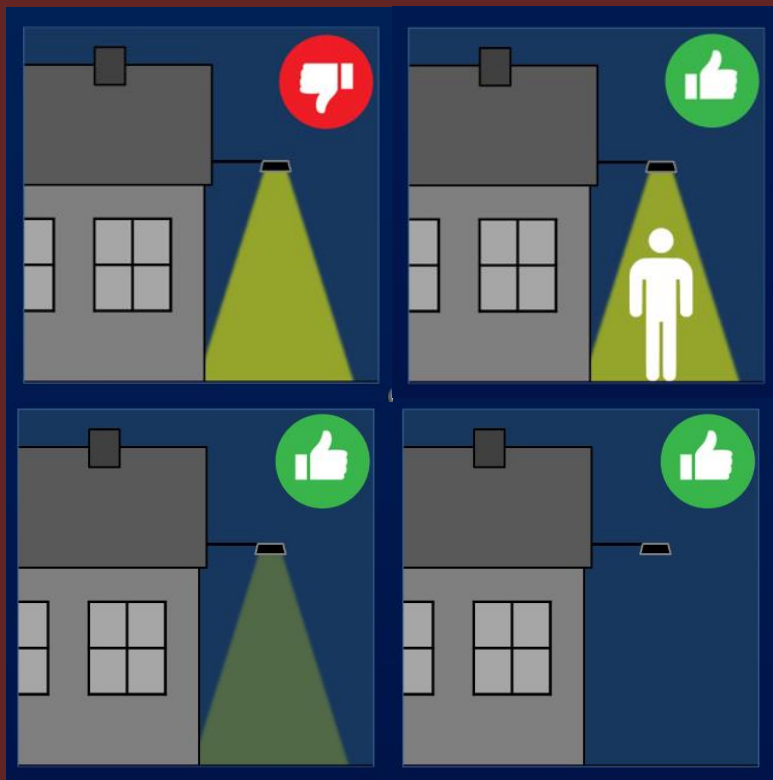
> SQM state:  
Sky: 21.28 mpsas  
Temp: 23.2 deg C

ALPS-BIA  
10-09-2021 03:09 CEST

Jasność nocnego nieba w polskich obserwatoriach (Kotłomański et al., 2022)

- Białków (UWr): 1.4-1.9 nsu
- Piwnice (UMK): 2.3-4.0 nsu
- Ostrowik (UW): 3.0-5.8 nsu

# zanieczyszczenie światłem



użycie inteligentnego sterowania oświetleniem,  
reagującego np. na obecność użytkowników  
oświetlenia

## Kierunki działań w zakresie ZŚ

- badania naukowe (interdyscyplinarne)
- rozwiązania techniczne
- przepisy ograniczające ZŚ
- polityka zrównoważonego oświetlenia zew.
- ochrona nocnego środowiska przyrodniczego (obszary ciemnego nieba)
- popularyzacja problemu



Broшуra popularyzująca problem ZŚ  
(Stowarzyszenie POLARIS OPP)



5. Ogólnopolska Konferencja  
na temat  
Zanieczyszczenia Światłem

Warszawa, 19-20 października 2017

Interdyscyplinarna cykliczna konferencja OKZŚ

# zanieczyszczenie światłem

**Polityka zrównoważonego oświetlenia zewnętrznego**  
zachowaj korzyści, zredukuj szkody

Sztuczne światło:

- powinno być kierowane tylko tam, gdzie jest potrzebne
- powinno być używane tylko wtedy, kiedy jest potrzebne
- powinno nie być jaśniejsze niż jest potrzebne
- powinno zawierać jak najmniej składowej światła niebieskiego

Dzięki temu:

- zredukujemy zanieczyszczenie światłem
- ochronimy środowisko naturalne oraz nocny krajobraz i niebo
- podniesimy jakość oświetlenia zewnętrznego
- zwiększymy efektywność energetyczną



Polityka zrównoważonego oświetlenia zewnętrznego w praktyce  
Sopotnia Wielka, IDSC (fot. T.Mrozek)

# zanieczyszczenie światłem

## Działania w zakresie ZŚ w Polsce (wybrane):

- badania naukowe prowadzone w kilku ośrodkach akademickich (m.in. IA UWr)
- program Ciemne Niebo prowadzony przez Stowarzyszenie Polaris – OPP ([ciemneniebo.pl](http://ciemneniebo.pl))
- Light Pollution Think Tank – fundacja skupiająca ekspertów zajmujących się problemem ZŚ w Polsce ([lptt.org.pl](http://lptt.org.pl))
- sieć monitorująca niebo w obserwatoriach Allsky Light Pollution Survey, ALPS ([www.alps.uwr.edu.pl](http://www.alps.uwr.edu.pl))
- obszary ciemnego nieba (parki, ostoje, społeczności) ([ciemneniebo.pl/obszary-ochrony-ciemnego-nieba-w-polsce-cn-000](http://ciemneniebo.pl/obszary-ochrony-ciemnego-nieba-w-polsce-cn-000))



# zanieczyszczenie światłem

## fundacja Light Pollution Think Tank

Misją LPTT jest inspirowanie, podejmowanie i wspieranie działań na rzecz ograniczenia zanieczyszczenia światłem i w zgodzie z filozofią zrównoważonego rozwoju

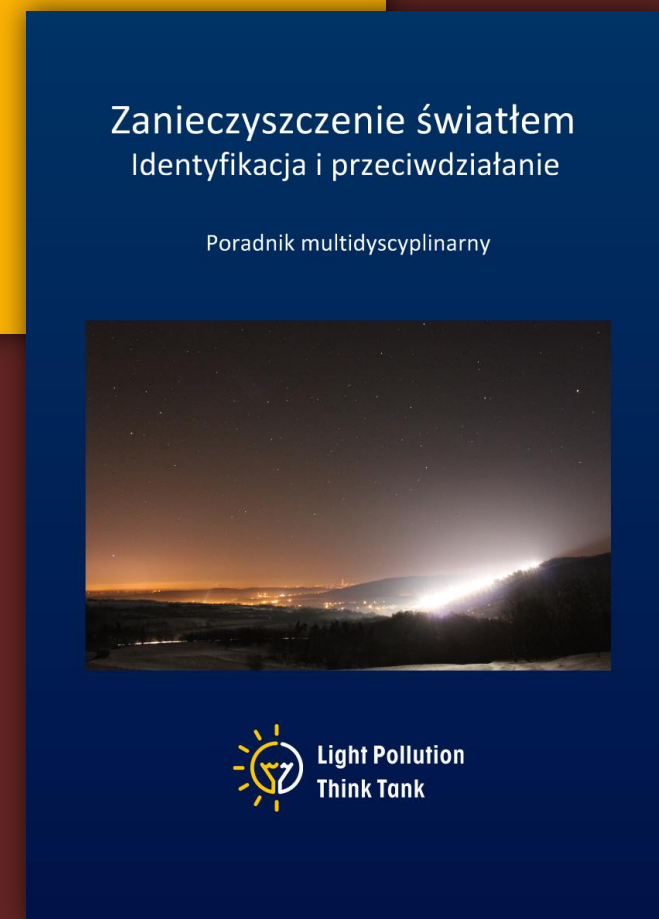
Dotychczasowe działania (wybrane):

- organizacja konferencji OKZŚ
- publikacja multidyscyplinarnego poradnika
- publikacja pierwszego w Polsce raportu o ZŚ
- przygotowanie zestawów edukacyjnych ZŚ
- działalność popularyzatorska



Light Pollution  
Think Tank

[lptt.org.pl](http://lptt.org.pl)

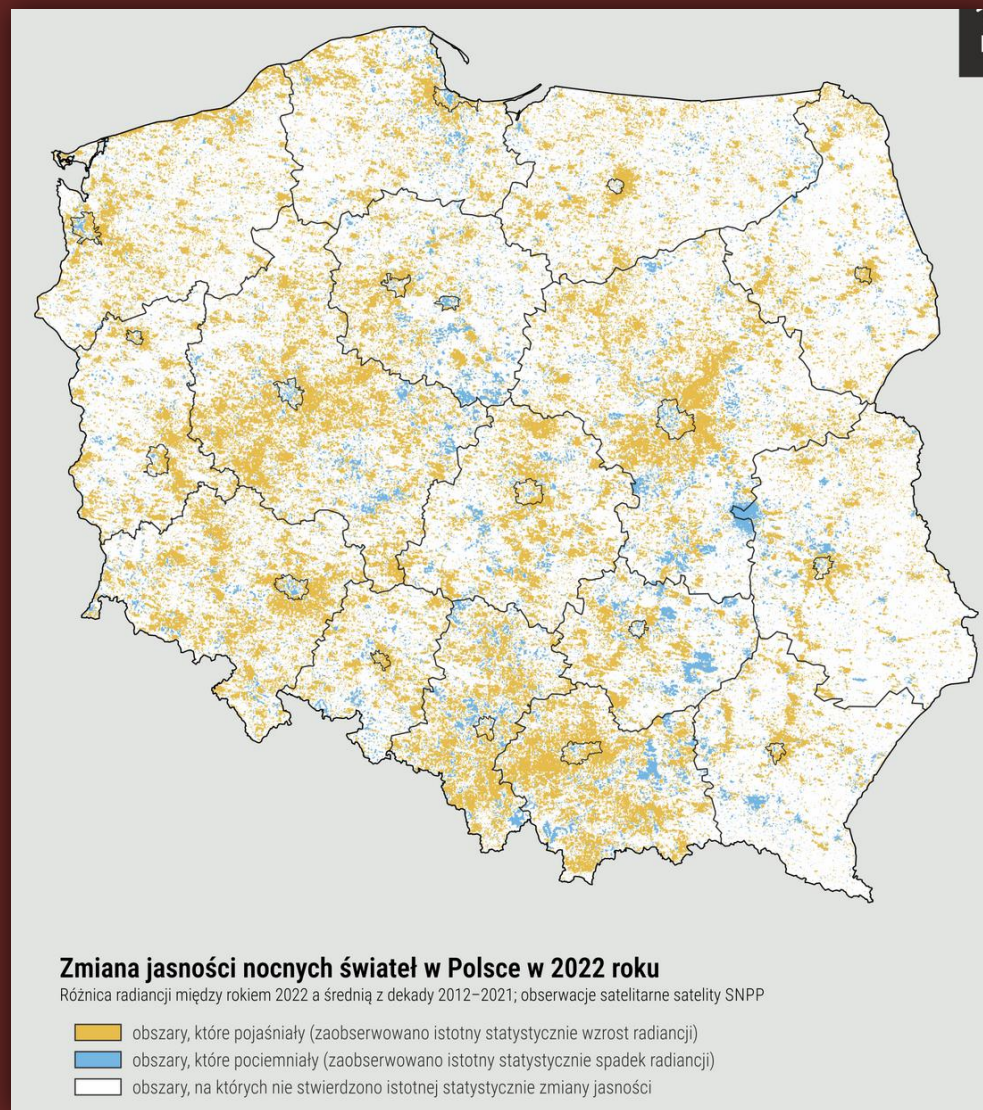


# zanieczyszczenie światłem

## Zanieczyszczenie światłem w Polsce – raport 2023

### Główne wnioski z raportu:

- Między 2012 a 2022 całkowita radiacja Polski wzrosła o 8.5% (co najmniej).
- W tym czasie 25% pow. Polski pojaśniało.
- Miejsca o szczególnie dużym wzroście to węzły drogowe.
- Obiekty o największej radiacji to szklarnie.
- ZŚ nie jest interpretowane w polskim prawie jako zagrożenie, istnieją rekomendacje (nieobligatoryjne).
- Nie ma norm emisji sztucznego światła, więc nie można stwierdzić przekroczeń.
- ZŚ nie jest monitorowane przez państwowe służby. Pomiary prowadzą tylko uczelnie, instytuty badawcze i NGO.



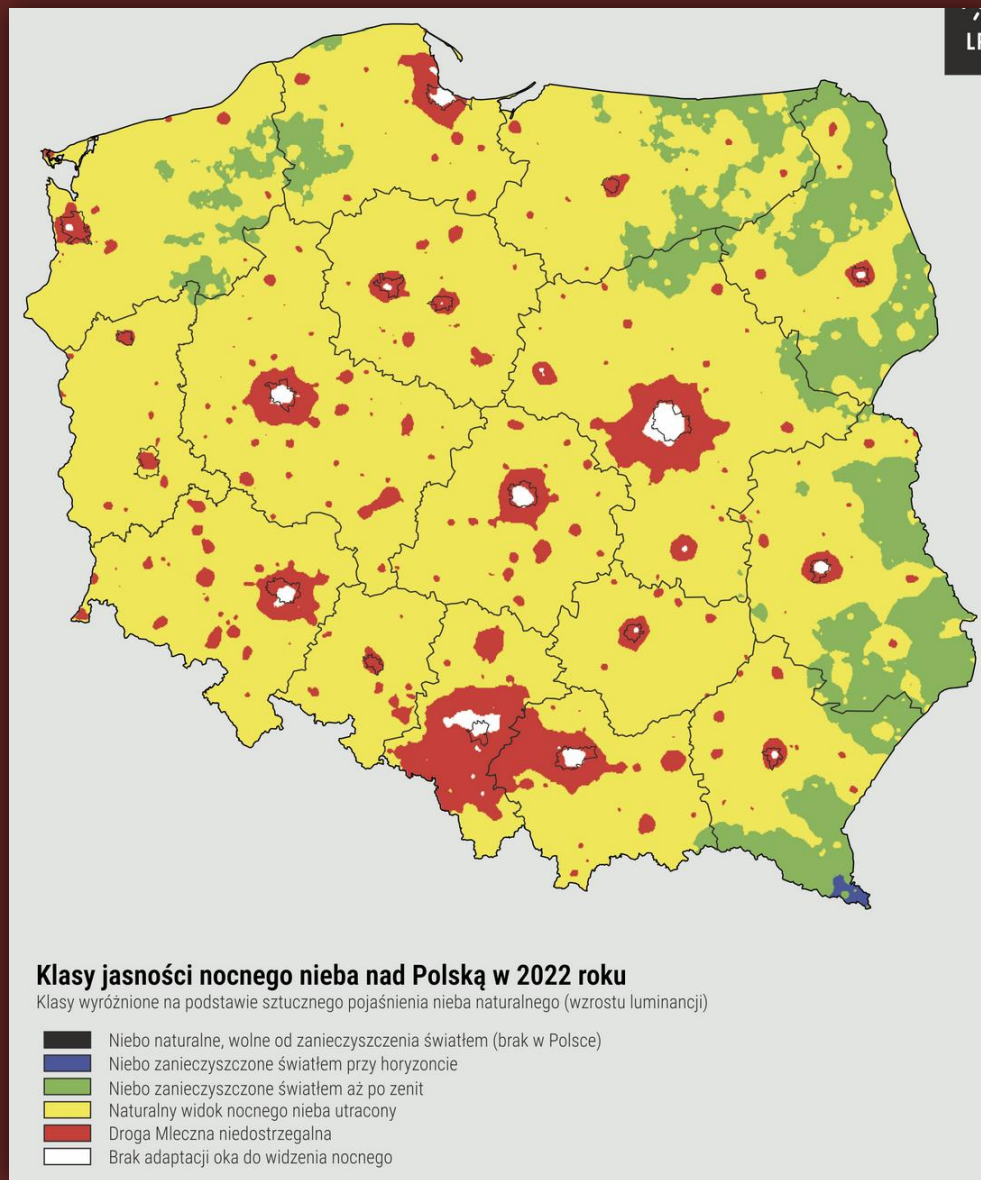
zobacz więcej na [lptt.org.pl/dzialalnosc/raport/](http://lptt.org.pl/dzialalnosc/raport/)

# zanieczyszczenie światłem

## Zanieczyszczenie światłem w Polsce – raport 2023

### Główne wnioski z raportu:

- Miejsc z naturalnym nocnym niebem w Polsce nie ma.
- Najciemniejsze miejsca mają niebo o jasności 1.06 nsu, najjaśniejsze – 63 nsu (niebo bezchmurne)
- Zachmurzenie podnosi jasność nieba dodatkowo nawet 10 krotnie.
- 58% ludności Polski nie widzi Drogi Mlecznej z miejsca zamieszkania.
- 20% ludności ma niebo za jasne do przejścia widzenia w tryb nocny (brak prawdziwej nocy).
- Niska świadomość społeczna i wymiana oświetlenia na LED powodują pogłębianie się problemu.



zobacz więcej na [lptt.org.pl/dzialalnosc/raport/](https://lptt.org.pl/dzialalnosc/raport/)



# zanieczyszczenie światłem

## Sieć ALPS (All-sky Light Pollution Survey)

- sieć stacji obserwacyjnych zaprojektowanych do ciągłego monitoringu nieba; projekt realizowany w IA UW r. od 2017 r.

### Cele projektu:

- wyznaczenie poziomu ZŚ w polskich obserwatoriach
- identyfikacja źródeł i śledzenie zmian poziomu ZŚ
- popularyzacja problemu degradacji nocnego nieba przez światło antropogeniczne
- wsparcie obserwatorów



ALPS-BIA  
SQM: 20.15 mpsas  
Ekspozycja: 30.00 s  
25-03-2019 00:30 CET



# zanieczyszczenie światłem

## instrumenty:

### fotometr:

- dane: powierzchniowa jasność nieba [mag/arcsec<sup>2</sup>, mpsas]
- pole widzenia (FWHM): 20° (zenit)
- liczba pasm widmowych: 1

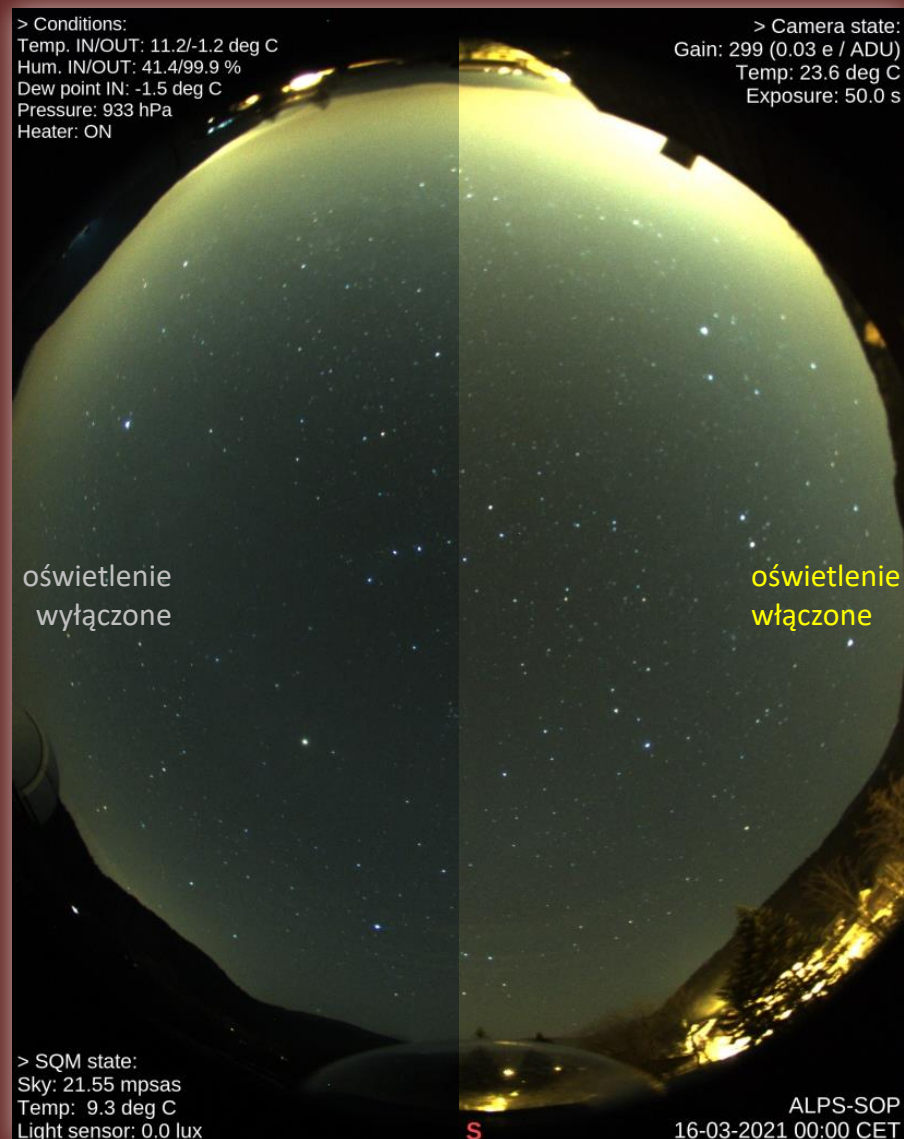
### kamera z obiektywem rybie oko:

- dane: obrazy nieba
- pole widzenia: 185°x150° / 185°x185°
- liczba pasm widmowych: 3 (RGB)



# zanieczyszczenie światłem

## ALPS – przykładowe obserwacje



## Sopotnia Wielka (dark sky community, oświetlenie uliczne chroniące nocne niebo)

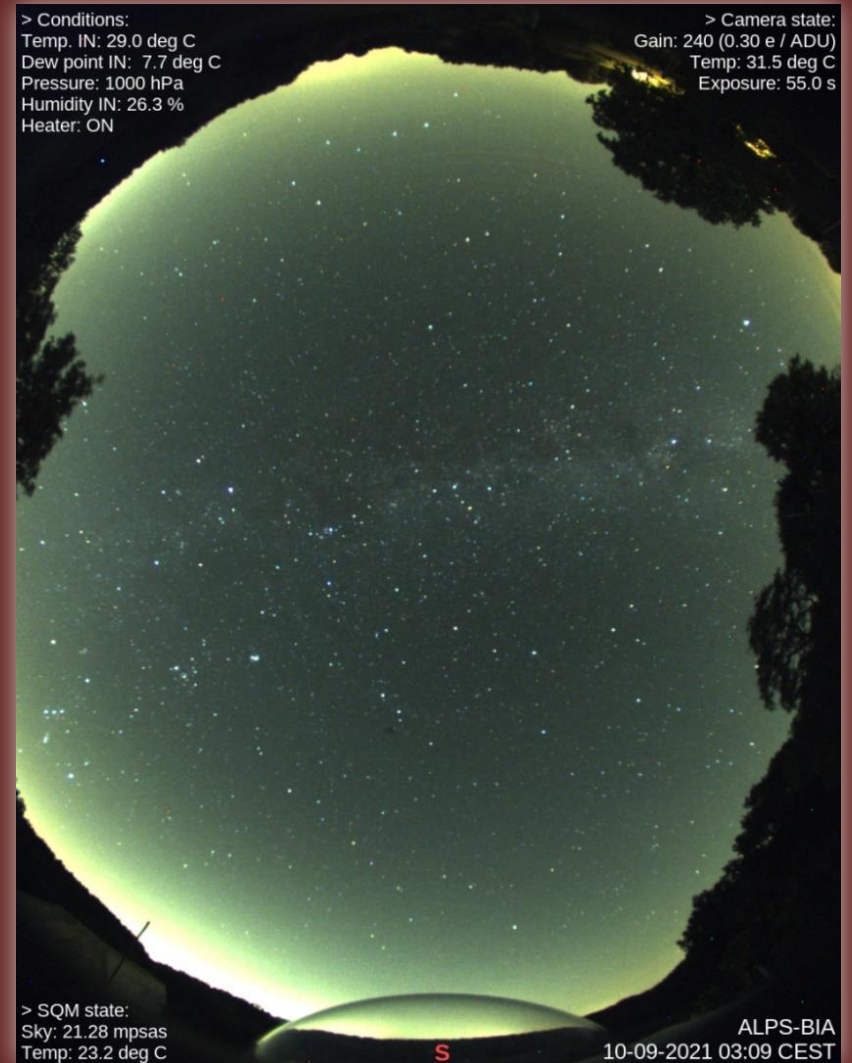
- oświetlenie uliczne w Sopotni Wielkiej: lampy HPS, ULOR=0, CCT<2500K, P=50 W, n=150 opraw
- oświetlenie uliczne wyłączone każdej nocy w godzinach 0:00 – 3:30 CET/CEST

# zanieczyszczenie światłem

## ALPS – przykładowe obserwacje



ALPS-OST  
3.6 nsu



ALPS-BIA  
1.8 nsu

wyznaczanie jasności nieba

# zanieczyszczenie światłem

## ALPS – przykładowe obserwacje



2023.11.05



2024-05-11

zorza polarna (ALPS-SUH)

# zanieczyszczenie światłem

ALPS – przykładowe obserwacje

2019.07.26

przelot ISS (ALPS-WRO, ALPS-BIA)

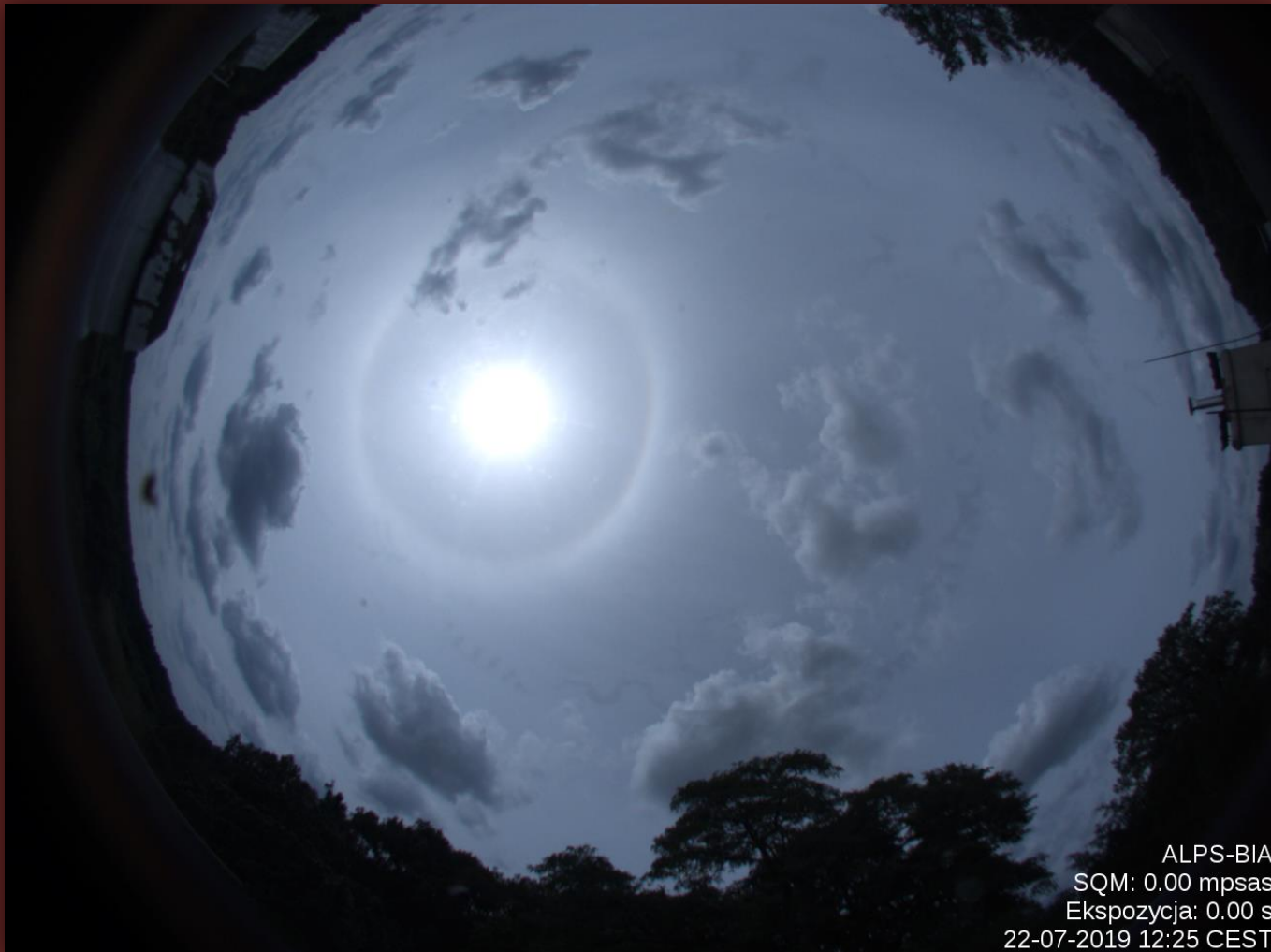


# zanieczyszczenie światłem

## ALPS – przykładowe obserwacje

2019.07.22

halo dookoła Słońca (ALPS-BIA)





# zanieczyszczenie światłem

strona internetowa  
[www.alps.uwr.edu.pl](http://www.alps.uwr.edu.pl)

kanał na YT

[www.youtube.com/@alps-official/videos](https://www.youtube.com/@alps-official/videos)

The screenshot displays the ALPS website interface. At the top, there is a navigation bar with a home icon, the text 'ALPS', and a list of menu items: 'Stations', 'Gallery', 'About ALPS', 'Team', 'Contact', 'Partners', 'More', 'English', and 'Login'. Below the navigation bar is a header with the text 'Click station name for more'. The main content area is a grid of camera feeds from different stations. Each feed includes a title, a set of technical data, a camera image, and a status bar at the bottom.

| Station Name | Conditions   | Camera state   | SQM state                           | Timestamp             |
|--------------|--|--|-------------------------------------|-----------------------|
| ALPS-WRO     | Temp. IN: 25.8 deg C<br>Dew point IN: 10.2 deg C<br>Pressure: 1003 hPa<br>Humidity IN: 37.7 %<br>Heater: ON            | Gain: 0 (4.71 e / ADU)<br>Temp: 31.2 deg C<br>Exposure: 0.0 s  | Sky: 0.00 mpsas<br>Temp: 25.4 deg C | 29-03-2023 18:15 CEST |
| ALPS-BIA     | Temp. IN: 20.2 deg C<br>Dew point IN: -2.4 deg C<br>Pressure: 1001 hPa<br>Humidity IN: 21.6 %<br>Heater: OFF           | Gain: 0 (4.71 e / ADU)<br>Temp: 23.2 deg C<br>Exposure: 0.0 s  | Sky: 0.00 mpsas<br>Temp: 17.7 deg C | 29-03-2023 18:15 CEST |
| ALPS-PIW     | Temp. IN: 30.3 deg C<br>Dew point IN: 9.8 deg C<br>Pressure: 1006 hPa<br>Humidity IN: 28.1 %<br>Heater: ON             | Gain: 0 (4.71 e / ADU)<br>Temp: 33.0 deg C<br>Exposure: 0.0 s  | Sky: 0.00 mpsas<br>Temp: 29.3 deg C | 29-03-2023 18:15 CEST |
| ALPS-SOP     | Temp. IN/OUT: 24.9/4.7 deg C<br>Hum. IN/OUT: 24.8/99.9 %<br>Dew point IN: 3.4 deg C<br>Pressure: 944 hPa<br>Heater: ON | Gain: 0 (0.92 e / ADU)<br>Temp: 35.1 deg C<br>Exposure: 0.0 s  |                                     |                       |
| ALPS-OST     | Temp. IN: 22.8 deg C<br>Dew point IN: 7.7 deg C<br>Pressure: 1001.5 hPa<br>Humidity IN: 37.9 %<br>Heater: ON           | Gain: 0 (4.71 e / ADU)<br>Temp: 29.7 deg C<br>Exposure: 378 µs |                                     |                       |
| ALPS-SUH     |  |  |                                     |                       |