

# ZANIECZYSZCZENIE ŚWIATŁEM

Henryka Netzel

Projekt edukacyjny z fizyki przygotowany w ramach programu  
ERASMUS+ nr: 2015-1-PLO1-KA201-016801



Publikacja objęta międzynarodową licencją otwartą CC-BY-SA 4.0 umożliwiającą kopiowanie, rozpowszechnianie, remiksowanie, zmienianie i ulepszanie, również w celach komercyjnych, pod warunkiem oznaczenia autorstwa i udostępniania utworów zależnych na tych samych warunkach.



Publikacja została zrealizowana przy wsparciu finansowym Komisji Europejskiej w ramach programu Erasmus+. Publikacja odzwierciedla jedynie stanowisko jej autorów i Komisja Europejska nie ponosi odpowiedzialności za zamieszczoną w niej zawartość merytoryczną



## **Opis projektu:**

Naturalny tryb życia na ziemi jest wyznaczony przez dzień i noc, których jasność regularnie się zmienia wraz ze Słońcem, Księżycem i światłem gwiazd. To te naturalne procesy przez setki lat wyznaczały rytm życia roślin i zwierząt. W ostatnich latach mamy do czynienia ze wzrostem powierzchni terenów zurbanizowanych, które są silnie oświetlone. Szczególnie oświetlenie w nocy jest szkodliwe, ponieważ zaburza naturalny rytm dobowy oraz roczny. Nadmierna emisja sztucznego światła w nocy odpowiada za zjawisko nazywane zanieczyszczeniem świetlnym. Emisja powoduje wzrost obserwowanej jasności nieba w nocy, a w związku z tym maleje liczba widocznych gwiazd.

Zanieczyszczenie świetlne skutkuje jednak znacznie gorszymi konsekwencjami niż brak możliwości obserwacji gwiazd. Wpływa negatywnie na zdrowie ludzi, zwierząt i roślin, co potwierdzają badania naukowców studiujących nadmierną emisję sztucznego oświetlenia w nocy. Właśnie te negatywne skutki są powodem, dla którego należy starać się przeciwdziałać zjawisku. Pierwszym krokiem do tego jest uświadamianie społeczeństwa, a szczególnie najmłodszych, o istnieniu problemu, konsekwencjach, a także o możliwościach przeciwdziałania postępowi zanieczyszczenia świetlnego.

Podczas lekcji uczniowie poznają zjawisko zanieczyszczenia światłem, dowiadują się jak powstaje i jakie są jego konsekwencje. Poznają metody badania zanieczyszczenia świetlnego, czyli w jaki sposób mierzy się jasność nocnego nieba oraz czemu wykorzystuje się modele opisujące zjawisko. Uczniowie na podstawie zdjęć nocnego nieba z satelitów zobaczą jak wygląda emisja światła z Ziemi, poznają mapy zanieczyszczenia światłem i wykorzystają samodzielnie bardzo prosty model zanieczyszczenia światłem do analizy jakości nocnego nieba na terenie Polski.

## **Scenariusz lekcji**

### **Wstęp**

Nauczyciel obszernie przedstawia wstęp teoretyczny uczniom.

### **Slajd 3**

Uczniowie zapoznają się z jednostkami jasności oraz jasności powierzchniowej stosowanymi w astronomii.

### **Slajdy 4-6**

Na slajdzie 4 pokazane jest nocne niebo przy ustalonym stopniu zanieczyszczenia światłem charakterystycznym dla terenów o konkretnym stopniu urbanizacji. Na slajdach 5 i 6 pokazane są zdjęcia nocnego nieba. Uczniowie muszą wyrobić sobie intuicję w ocenianiu jasności nocnego nieba za pomocą jednostek.

## Slajd 7

Definicja zanieczyszczenia świetlnego. Wytlumaczenie składników jasności nocnego nieba.

## Slajd 8

Zdjęcie obrazujące zjawisko zanieczyszczenia światłem.

## Slajdy 9-12

Zdjęcia satelitarne powierzchni Ziemi w nocy oraz zdjęcia z ISS wybranych miast w Polsce. Szczególnie należy poruszyć temat różnych rodzajów oświetlenia.

## Slajd 13

Dyskusja w grupach. Każda grupa ma przedyskutować i poruszyć na forum klasy jedno z wymienionych zagadnień. Im większa dyskusja, tym lepiej. Minimum które musi zostać poruszone to:

Astronomia - utrudnienie obserwacji astronomicznych, np. Obserwatoria w centrach miast przestają mieć wartość naukową, profesjonalne obserwatoria mogą być budowane jedynie daleko od miast

Bezpieczeństwo - źle zaprojektowane oświetlenie drogowe powoduje utrudnione prowadzenie samochodu

Zdrowie - zaburzenie funkcjonowania ludzkiego organizmu przyczyniając się do wielu chorób: nowotwory, otyłość. Zaburzenie produkcji melatoniny (hormon produkowany przez szyszynkę) zaburza funkcjonowanie wewnętrznego zegara biologicznego. W związku z tym najbardziej narażone grupy to ludzie pracujący na nocną zmianę.

Fauna i flora - zaburzenie funkcjonowania roślin i zwierząt, przykład: ćmy, migracje dobowe zooplanktonu, ptaki, zaburzone funkcjonowanie owadów zapylających rośliny, zaburzenia ekosystemu.

Ekonomia - marnowanie pieniędzy na prąd elektryczny, np. Przy wykorzystaniu lamp o niewłaściwej emisji światła

Kultura - brak widoku prawdziwego nieba (w UE 96% ludzi żyje pod niebem o jasności nieba z Księżycem w kwadrze).

## Slajd 14

Zapoznanie uczniów z ideą modelowania zjawisk fizycznych. Wyjaśnienie dlaczego potrzebujemy modeli zanieczyszczenia światłem oraz jakie są ich zalety i wady w porównaniu do pomiarów jasności nieba. Wyjaśnienie ograniczeń modeli.

#### Slajd 15

Przedstawienie modelu Berry'ego. Wytlumaczenie jakie są założenia modelu i co ma za zadanie przedstawić. Wskazanie ograniczeń modelu Berry'ego.

#### Slajd 16

Uczniowie mają za zadanie zbadać jak zmienia się jasność nieba w centrach miast o zadanej populacji na podstawie modelu Berry'ego. W tym celu mają do dyspozycji karty pracy. Należy wpisać populacje kilku miast i sprawdzić jak zmieniają się dla nich jasności nieba.

#### Slajd 18

Należy sprawdzić jak zmienia się jasność nieba, kiedy kilka miast jest położonych niedaleko siebie. Przykład wykorzystania kart pracy należy pokazać przed wykonaniem ćwiczenia przez uczniów. W zadaniu uczniowie mogą umieścić do 4 miast wzdłuż jednej linii. Uczniowie określają położenie miast (odległość od początku osi w kilometrach) oraz ich populacje. Pojaśnienie pochodzące od każdego miasta jest pokazane, a także wypadkowa jasność nocnego nieba.

#### Slajd 20

W kolejnym zadaniu uczniowie wykorzystają mapę jasności nocnego nieba obliczoną za pomocą modelu Berry'ego dla całej Polski dostępną w internetowym serwisie. Mapa jest interaktywna. Zadaniem uczniów jest porównanie jasności nocnego nieba dla różnych regionów Polski. Dodatkowo należy sprawdzić jak jasność nieba zmienia się w pobliżu lotnisk, węzłów komunikacyjnych, w centrach oraz w parkach miast. Uczniowie mogą wyselekcjonować najlepsze miejsca na obserwatoria astronomiczne.

### **Pomoc dla nauczyciela**

#### **Pojęcie zanieczyszczenia sztucznym światłem**

Zanieczyszczenie światłem to skutek nadmiernej emisji sztucznego oświetlenia w nocy. Skutkuje to zaburzeniem naturalnej ciemności i niesie ze sobą szereg konsekwencji. Pojęcie zanieczyszczenia wiąże się z degradacją naturalnego środowiska.

Zanieczyszczenie światłem powstaje na skutek następujących czynników:

- oświetlenie skierowane w niebo
- zbyt intensywna emisja światła
- emisja światła w momencie gdy nie jest ona potrzebna

### Rodzaje zanieczyszczenia światłem

*Fragment pochodzi ze strony [ciemneniebo.pl](http://ciemneniebo.pl) autorstwa Piotra Nawałkowskiego.* Obecnie rozróżnia się kilka rodzajów zanieczyszczenia sztucznym światłem, gdzie cztery główne są najbardziej odczuwalne i często ze sobą ściśle powiązane:

- **Łuna miejskiego nieba / sztuczny brzask / smog świetlny** – łuna światła na niebie nad zamieszkałymi obszarami.



- **Światło niepożądane / zabłąkane** – światło padające w nieodpowiednie miejsca.



- **Blask / oślepienie / przewymiarowanie światła** – nadmierna jasność, powodująca wizualny dyskomfort. Zbyt duża jasność może ograniczać widoczność.



• **Zakłócenia świetlne / symfonia świateł** – nagromadzenie źródeł światła, zwykle znajdujące się w nadmiernie oświetlonych obszarach miast, charakteryzujące się dużą jasnością.



## Wstęp

Naturalny tryb życia na ziemi jest wyznaczony przez dzień i noc, których jasność regularnie się zmienia wraz ze Słońcem, Księżycem i światłem gwiazd. To te naturalne procesy przez setki lat wyznaczały rytm życia roślin i zwierząt. W ostatnich latach mamy do czynienia ze wzrostem powierzchni terenów zurbanizowanych, które są silnie oświetlone. Szczególnie oświetlenie w nocy jest szkodliwe, ponieważ zaburza naturalny rytm dobowy oraz roczny. Nadmierna emisja sztucznego światła w nocy odpowiada za zjawisko nazywane zanieczyszczeniem świetlnym. Emisja powoduje wzrost obserwowanej jasności nieba w nocy, a w związku z tym maleje liczba widocznych gwiazd. Sztuczne oświetlenie pochodzi z terenów o wysokim stopniu urbanizacji i źle rozplanowanym oświetleniu. Emisja pochodzi od lamp ulicznych, z fabryk, lotnisk, banerów reklamowych itd. Wyemitowane światło ulega rozpraszaniu w atmosferze oraz odbiciu od powierzchni ziemi i zostaje skierowane w górę. Te czynniki powodują widoczne pojaśnienie nocnego nieba. Na poniższym rysunku doskonale widać emisję pochodzącą z miasta. Wyraźne można dostrzec oświetlenie uliczne. Rozproszone światło powoduje łunę, która uniemożliwia mieszkańcom miasta podziwianie prawdziwego nocnego nieba. Zanieczyszczenie świetlne skutkuje jednak znacznie gorszymi konsekwencjami niż brak możliwości obserwacji gwiazd. Wpływa negatywnie na zdrowie ludzi, zwierząt i roślin, co potwierdzają badania naukowców studiujących nadmierną emisję sztucznego oświetlenia w nocy. Właśnie te negatywne skutki są powodem, dla którego należy starać się przeciwdziałać zjawisku. Pierwszym krokiem do tego jest

uświadamianie społeczeństwa, a szczególnie najmłodszych, o istnieniu problemu, konsekwencjach, a także o możliwościach przeciwdziałania postępowi zanieczyszczenia świetlnego.

### **Skutki zanieczyszczenia światłem**

Uczniowie mają za zadanie zastanowić się jaki wpływ ma zanieczyszczenie świetlne i nadmierna emisja sztucznego oświetlenia na otaczający ich świat oraz ich samych. Ze względu na to, że jest to problem bardzo interdyscyplinarny, poruszone powinny zostać tematy z różnych dziedzin. Degradacja nocnego nieba oczywiście przeszkadza astronomom, którzy muszą przenosić obserwatoria w miejsca charakteryzujące się bardzo ciemnym niebem. Ponadto zanieczyszczenie światłem ma niekorzystny wpływ na zdrowie ludzi poprzez zaburzenie cyklu dobowego. Zwierzęta są także narażone na emisję sztucznego oświetlenia w nocy. Szczególnie to przeszkadza zwierzętom, które wykorzystują naturalną jasność nocnego nieba, aby się poruszać, bądź do regulacji ich cyklu życia i cyklu rozrodczego. Dobrym przykładem są ćmy, które mylą światło latarni z naturalnym światłem Księżyca służącym im do orientowania się w przestrzeni. Nadmierne oświetlenie wpływa także niekorzystnie na bezpieczeństwo. Przykładem są reklamy przydrożne, które emitują światło i przez to utrudniają kierowcom prowadzenie pojazdów. Niedostosowane oświetlenie drogowe może być bardziej niebezpieczne niż całkowity brak lamp. Główną przyczyną zanieczyszczenia świetlnego jest nieodpowiednie oświetlenie, czyli np. nieprawidłowa konstrukcja lamp. Nieodpowiednie lampy nie emitują światła jedynie w dół, czyli w miejsce które ma zostać oświetlone, ale także na boki oraz w górę, powodując pojaśnienie nieba. Powoduje to nie tylko zanieczyszczenie świetlne, ale także przyczynia się do marnowania energii.

### **Idea modelowania zjawisk fizycznych**

Bardzo ważnym elementem lekcji jest zapoznanie uczniów z ideą modelowania zjawisk fizycznych. Modelowanie jest narzędziem, dzięki któremu możemy badać prawa fizyczne działające w danym zjawisku. Obserwacje i eksperymenty dają nam informacje, jaki jest wynik działania zjawiska fizycznego. Następnie korzystamy z modelu, czyli uproszczonego opisu układu rzeczywistego, aby przewidzieć wynik działania tego układu. Porównanie wyniku obliczonego za pomocą modelu z wynikiem eksperymentu daje nam informacje o poprawności modelu. Jeżeli model jest wystarczająco zgodny z rzeczywistością, to może zostać wykorzystany do przewidywania wyników działania danego zjawiska.

### **Modelowanie zanieczyszczenia światłem a pomiary jasności nieba**

W badaniu zanieczyszczenia światłem również wykorzystywane są modele służące do tworzenia map jasności nocnego nieba. Informacja na temat jasności nieba na danym terenie jest bardzo ważna, gdy chcemy badać wpływ zjawiska na procesy zachodzące na danym terenie, np. Oddziaływanie na zwierzęta żyjące w danym rejonie. Jeżeli teren nie jest rozległy to bada się jasność nieba za pomocą instrumentów do pomiaru jasności nieba. Ponadto trzeba pamiętać, że



jasność nieba zmienia się w zależności od wielu czynników, którymi są między innymi wilgotność powietrza, jakość powietrza, występowanie pyłu i aerosoli w atmosferze lub albedo powierzchni. Dlatego najbardziej precyzyjne informacje na temat jasności nocnego nieba możemy otrzymać tylko z bezpośrednich pomiarów. Często wykorzystywanym instrumentem jest Sky Quality Meter, który podaje jasność nieba w jednostce magnitudo na sekundę łuku do kwadratu. Są jednak inne metody pomiaru jasności nieba, które nie wymagają używania specjalistycznych urządzeń. Taką metodą jest np. Zliczanie gwiazd lub sprawdzanie jaka jest najsłabsza gwiazda możliwa do zobaczenia gołym okiem – stąd dostajemy informację o tzw. Jasności granicznej, która jest związana z jasnością nieba (im ciemniejsze niebo, tym słabsze gwiazdy można zobaczyć gołym okiem). Zbieranie pomiarów na dużym obszarze w zmiennych warunkach atmosferycznych wymaga wiele czasu. Dlatego bardzo dużą pomocą są bazy danych zawierające takie pomiary. Jedną z takich baz danych jest <http://www.myskyatnight.com/#map>. Pomiary mogą być dodawane przez każdą osobę, dlatego są bardzo liczne i mogą być wykorzystywane przy badaniu zanieczyszczenia światłem.

Jednak zbieranie pomiarów ma pewne ograniczenia. Bardzo wymagające jest zbieranie pomiarów w wielu miejscach jednocześnie (czyli przy tych samych warunkach) oraz na rozległym terenie. Dlatego tworzy się mapy jasności nocnego nieba, na podstawie modeli zanieczyszczenia świetlnego. Modele naukowe są wykorzystywane, żeby poznawać zjawiska fizyczne. Są to uproszczone i przybliżone opisy rzeczywistości, aby w jak najlepszym stopniu móc opisać obserwacje. Ze względu na złożoność rzeczywistych zjawisk, modele zwykle zawierają dużo uproszczeń, jednak główne prawa fizyki zawsze są zachowane. Na podstawie takich uproszczonych opisów rzeczywistych zjawisk, można przewidzieć wynik zjawisk i porównać go z rzeczywistymi obserwacjami. Wówczas wiadomo, czy model w wystarczającym stopniu odtwarza rzeczywistość i dzięki temu dostarcza informacje o przebiegu zjawiska. W przypadku zanieczyszczenia światłem, modele mają za zadanie odtworzyć jasność nocnego nieba na podstawie informacji o źródłach światła. Obliczoną, za pomocą modelu, jasność nieba porównujemy z pomiarami. Jeżeli porównanie wypada pomyślnie, można wykorzystać model do obliczenia jasności nieba na większym terenie. Najbardziej popularną mapą jasności nocnego nieba jest mapa stworzona przez Falchi i in. (2016).

## **Model Berry'ego**

Podczas tej lekcji uczniowie będą pracować z bardzo prostym modelem zanieczyszczenia światłem. Zgodnie z założeniami modelu, światło emitowane jest jedynie przez miasta. Emisja pochodząca z danego miasta jest tym większa, im więcej jest mieszkańców. Jasność danego miasta maleje również z odległością. Model opisuje wpływ jednego miasta na wyjaśnienie nocnego nieba obserwowane w pewnej odległości. Licząc wyjaśnienie w danym miejscu pochodzące od wielu miast otrzymujemy wynikową sztuczną jasność nocnego nieba. Dodając do tego naturalną jasność nieba, otrzymujemy przewidywaną jasność w danym miejscu obserwacyjnym. Model jest opisany równaniem matematycznym. Po podaniu populacji miasta oraz odległości od niego otrzymujemy jasność nieba w zadanej odległości. Uczniowie podczas zajęć sprawdzą jak zmienia się jasność nieba w zależności od miasta oraz jak zmienia się łączna jasność nieba w sytuacji, gdy mamy kilka miast w pobliżu siebie.

Odpowiednio zmodyfikowany model został wykorzystany do stworzenia mapy jasności nocnego nieba na terenie Polski. Uczniowie wykorzystają interaktywną mapę jasności nieba podczas ćwiczeń.

Kluczowa różnica pomiędzy oryginalnym modelem, a wykorzystanym do stworzenia mapy to zmiana danych wejściowych. W oryginalnym modelu danymi wejściowymi jest populacja miast, natomiast do stworzenia mapy Polski zostały wykorzystane wysokorozdzielcze dane opisujące stopień zabudowania terenu.

## **Wnioski**

- Zanieczyszczenie światłem powstaje na skutek nadmiernej emisji sztucznego oświetlenia. Największa jasność nieba obserwowana jest w pobliżu terenów bardziej zurbanizowanych. Na podstawie światowego atlasu sztucznej jasności nocnego nieba, wybrane zostały tereny silniej oświetlone. Odpowiadają one właśnie terenom o większym stopniu urbanizacji.
- Uczniowie zobaczyli jak wygląda emisja światła z miast na podstawie zdjęć z ISS. Widać wyraźnie, że większa emisja jest spowodowana przez tereny silniej zabudowane.
- Zanieczyszczenie świetlne powoduje, że jakość nocnego nieba ulega degradacji. Astronomowie zostają zmuszeni do przenoszenia swoich obserwatoriów, a profesjonalne obserwatoria budowane są jedynie daleko od zabudowań. Nie jest to przy tym jedyny warunek, ponieważ ciemne niebo to nie jedyny wyznacznik dobrych warunków obserwacyjnych.
- Sztuczne oświetlenie w nocy powodujące pojaśnienie nieba, ma wiele niekorzystnych konsekwencji. Zaburza naturalny cykl dobowy ludzi oraz zwierząt. Zwierzęta, które wykorzystują naturalne źródła światła, takie jak Księżyc, mają utrudnione zadanie ze względu na istnienie sztucznych źródeł światła.
- Źle zaprojektowane oświetlenie wpływa na zmniejszenie bezpieczeństwa na drodze, a także powoduje straty energii.
- Im większa populacja miasta, tym większa emisja światła. Dodatkowymi źródłami światła jest oświetlenie uliczne, banery reklamowe, fabryki, lotniska itd.
- Stan atmosfery (zanieczyszczenie powietrza, wilgotność, mgła) wpływają na pojaśnienie nocnego nieba.
- Naturalna jasność nieba jest zmienna wraz z fazą Księżyca i widocznością Drogi Mlecznej.
- Modele opisują zjawiska fizyczne w przybliżony i uproszczony sposób i pozwalają na zrozumienie podstawowych mechanizmów kierujących zjawiskami. W przypadku zanieczyszczenia światłem, chcemy wymodelować jasność nieba na podstawie informacji o źródłach sztucznego oświetlenia. Modele pozwalają na oszacowanie jasności nieba na dużych terenach.

- Na podstawie mapy zanieczyszczenia światłem można wybrać najlepsze miejsca obserwacyjne, w których możnaby postawić nowe obserwatoria.