

Zanieczyszczenie światłem i ciemność

Sylwester Kołomański

Instytut Astronomiczny Uniwersytetu Wrocławskiego

Streszczenie: Zanieczyszczenie światłem to jedna z najpoważniejszych form zanieczyszczenia środowiska naturalnego. Pod względem niesionych zagrożeń i zasięgu porównywane jest do chemicznego zanieczyszczenia atmosfery, wody i gleby. Czym jest? Dlaczego jest traktowane jako zagrożenie? Jak może być minimalizowane? Odpowiedzi na te podstawowe pytania dotyczące zanieczyszczenia światłem są podstawą do działań prowadzących do jego redukcji. Są jednak istotne przeszkody na drodze do sukcesu. Nie rozumiemy jeszcze w pełni wpływu światła i ciemności na przyrodę i człowieka. Co więcej społeczna świadomość istnienia takiej formy zanieczyszczenia jest niska. Przyczyny występowania tych przeszkód są następujące: niewystarczająca ilość badań naukowych, niewystarczający przepływ wiedzy do społeczeństwa i fakt, że najczęściej światło kulturowo nie jest kojarzone z zagrożeniem.

Słowa kluczowe: zanieczyszczenie światłem, ciemne niebo, środowisko nocne

Zanieczyszczenie światłem – definicja zjawiska

Intensywne używanie oświetlenia nocnego przez człowieka doprowadziło do zjawiska zwanego zanieczyszczeniem światłem. Skala tego zjawiska jest na tyle duża, że można je porównać do takich problemów jak chemiczne zanieczyszczenie atmosfery, wody i gleby. Większa część mieszkańców Unii Europejskiej żyje na obszarach, gdzie środowisko nocne jest zanieczyszczone światłem (Cinzano i in. 2001). Pomimo tego jest to najmniej znana w społeczeństwie forma zanieczyszczenia środowiska naturalnego. Dzieje się tak z dwóch powodów. Po pierwsze, zostało ono „odkryte” stosunkowo niedawno i wciąż jeszcze poznajemy w jaki sposób jest ono szkodliwe. Po drugie, poprzez uwarunkowania ewolucyjno-kulturowe, światła nie kojarzymy z zanieczyszczeniem. Światło nocą to dla nas symbol bezpieczeństwa, postępu i dobrobytu.

Czym jest zanieczyszczenie światłem? Jakie są jego źródła? Jak wpływa na środowisko i na nas? Odpowiedzi na te ważne pytania są dla niezbędne, jako pierwszy krok w działaniach prowadzących do zmniejszenia tego zanieczyszczenia. Pozwolą one również znaleźć racjonalne sposoby na podjęcie tych działań.

Zanieczyszczenie światłem (światłne, ang. *light pollution*) to zaburzanie nocnego środowiska naturalnego światłem emitowanym przez oświetlenie zewnętrzne. Nawet względnie nieduże ilości sztucznego światła* mogą zaburzyć nocne środowisko. Jednak szczególnym, nieuzasadnionym naszymi potrzebami, przypadkiem zanieczyszczania środowiska światłem jest światło wytwarzane przez człowieka w nieodpowiednim miejscu, czasie i w nadmiernej ilości. Źródłem zanieczyszczenia światłem jest, przede wszystkim, tzw. oświetlenie zewnętrzne**, a w szczególności to, które jest:

- nieodpowiednio osłonięte lub źle skierowane,
- jaśniejsze niż jest to potrzebne,
- działające w czasie, gdy jest zbędne lub
- posiadające niewłaściwe widmo emisji.

**) W dalszej części tekstu światło emitowane przez źródła światła wytwarzane przez człowieka będzie nazywane sztucznym światłem.*

***) Oświetlenie zewnętrzne to oświetlenie uliczne, parkowe, terenów przemysłowych, reklam, iluminacja budynków i każde inne oświetlenie, którego światło obecne jest poza pomieszczeniami zamkniętymi.*

Powyższa definicja może budzić pewne wątpliwości. Po pierwsze, termin „zanieczyszczenie światłem” zestawia ze sobą dwa pojęcia, które wydają się być sprzeczne ze sobą. Po drugie, dlaczego zmiana naturalnego poziomu jasności nocnego środowiska przez wprowadzanie sztucznego światła ma być niekorzystna? Obie wątpliwości wynikają z głęboko zakorzenionej w nas symboliki światła i ciemności. Światło symbolizuje życie, dobro, radość, prawdę, itp. Natomiast ciemność jest symbolem śmierci, zła, smutku, kłamstwa. Ta symbolika światła i ciemności ma głębokie korzenie sięgające początków homo sapiens sapiens. Człowiek to gatunek aktywny w dzień, a przynajmniej był takim przez dziesiątki tysięcy lat od swojego powstania aż do czasów współczesnych. Organizm człowieka jest przystosowany do aktywności w dzień i odpoczynku w nocy. To przystosowanie widać na

przykładzie naszego najważniejszego zmysłu - wzroku, który słabo działa w ciemności. Przez to noc była dla prehistorycznego człowieka bardziej niebezpieczną porą niż dzień. W ciemności trudniej było się orientować i dostrzec niebezpieczeństwo grożące ze strony drapieżników. Zdobycie umiejętności w posługiwaniu się ogniem było ważne również, dlatego że dało człowiekowi pewną możliwość obrony przed niebezpieczeństwami ciemności. Późniejszy rozwój cywilizacyjny to także historia coraz doskonalszych źródeł sztucznego światła, które umożliwiły nam wydłużenie okresu aktywności na noc. Od połowy XX wieku, dzięki lampom wyładowczym, możemy niemalże zamieniać noc w dzień, a miasta stały się wyspami światła, które łatwo z orbity dostrzec na nocnej części Ziemi. Pomimo tego, że zyskaliśmy techniczną przewagę nad ciemnością, lęk przed nią pozostał. Jest on wpisany w ludzką naturę. Daje o sobie znać wtedy, gdy musimy przejść słabo oświetloną uliczką, ciemnym parkiem lub gdy nagle gaśnie światło w naszym domu.

Aby zrozumieć, że nadmiar sztucznego światła może być niekorzystny, a ciemność jest potrzebna, musimy choć na chwilę zapomnieć o naszym lęku przed nią i spojrzeć na problem z innej perspektywy. Od samego początku istnienia Ziemi, wskutek jej obrotu dookoła własnej osi, obecne jest na niej ciągłe następowanie po sobie dnia i nocy. Życie, które powstało na naszej planecie, przystosowało się do tych cyklicznych zmian, tak jak przystosowało się do obecności innych nieożywionych elementów środowiska naturalnego. Zatem ciemność (i światło) powinniśmy traktować, jako ważną część tego środowiska na równi z atmosferą, glebą, wodą czy skałami. Cykliczne następowanie po sobie okresów ciemności i światła jest, jak wskazują badania naukowe, ważnym czynnikiem regulującym życie na Ziemi. Zmiany tej cykliczności mogą mieć poważne skutki, o których więcej w dalszej części tego artykułu.

Zanieczyszczenie światłem jest we współczesnym świecie powszechne. Choć większość ludzi nie zadaje sobie z tego sprawy, to praktycznie codziennie spotykamy się z szeregiem zjawisk, które można określić, jako przejawy zanieczyszczenia światłem. Są to:

- Ucieczka światła do obszarów, które nie powinny być oświetlane lub nie są celem danego oświetlenia (ang. *light trespass*, np: świecenie lamp ulicznych na ściany budynków i do okien mieszkań).
- Emisja światła w ilości większej niż jest potrzebne (ang. *over-illumination*, zbyt jasne oświetlenie oraz oświetlenie działające w czasie, gdy jest zbędne).

- Olśniewanie* (ang. *glare*) użytkowników oświetlenia zewnętrznego (pieszych, kierowców, itd.) źródłami światła źle osłoniętymi lub źle skierowanymi lub zbyt jasnymi, prowadzące do powstania uczucia dyskomfortu lub nawet utrudniające korzystanie z oświetlenia.
- Chaos świetlny, powodowany przez źle zaprojektowane oświetlenie, prowadzący do dezorientacji lub odwracający uwagę od przeszkód (ang. *light clutter*, np. duże nagromadzenie w jednym miejscu oświetlonych reklam i znaków informacyjnych ruchu drogowego).
- Sztuczne rozświetlenie nocnego nieba (zwane łuną miejską albo smogiem świetlnym, ang. *skyglow*) występujące zwłaszcza nad obszarami miejskimi; powstaje wskutek rozpraszania sztucznego światła w atmosferze.

*) Olśnienie - warunki widzenia powstałe na skutek niewłaściwej, wysokiej jasności źródeł światła lub zbyt dużych kontrastów, które powodują uczucie dyskomfortu i obniżają lub uniemożliwiają rozpoznawanie szczegółów. W skrajnym przypadku, bardzo silne olśnienie powoduje przejściowy brak zdolności widzenia.

Skutki zanieczyszczenia światłem

Zaledwie nieco ponad 100 lat temu, każdy wychodząc przed swój dom w pogodną noc, mógł na niebie zobaczyć tysiące gwiazd i Drogę Mleczną. Nocne niebo było dostępne w pełni swej okazałości niezależnie od tego czy ktoś mieszkał na wsi czy w mieście. Dziś już tak nie jest. W obszarach najbardziej zurbanizowanych jasność nocnego nieba jest tak duża, że widoczne są tylko nieliczne, najjaśniejsze gwiazdy i planety oraz Księżyc. Niestety zanieczyszczenie światłem to nie tylko brak rozgwieżdżonego nieba. Zjawisko to niesie ze sobą szereg poważnych zagrożeń, które można podzielić na kilka kategorii.

- **[astronomia]** Zanieczyszczenie światłem stanowi poważny problem dla astronomii. Rozjaśnione sztucznym światłem nocne niebo utrudnia obserwacje obiektów astronomicznych. W miastach jasność nieba jest tak duża, że znaczna część tych obiektów przestaje być widoczna. Nowoczesne obserwatoria budowane są obecnie na odludziach, gdzie jest wystarczająco ciemno. Dla astronomii zanieczyszczenie światłem to nie tylko utrudnienia w prowadzeniu obserwacji. Sztuczne zwiększenie jasności nieba zmniejsza zasięg teleskopów w sensie minimalnej jasności obiektów

dostępnych do obserwacji. Większy, droższy teleskop przy jaśniejszym niebie może mieć gorszy zasięg niż mniejszy i tańszy znajdujący się pod naturalnie ciemnym niebem. Wzrost zanieczyszczenia światłem powoduje zatem spadek wartości sprzętu obserwacyjnego nie tylko pod względem naukowym, ale również finansowym.

Choć negatywny wpływ zanieczyszczenia światłem na obserwacje astronomiczne dotyka tylko względnie niedużej grupy ludzi to jednak warto pamiętać, że astronomowie jako jedni z pierwszych zaczęli zwracać uwagę społeczeństwa na ten problem. Również obecnie astronomowie (amatorzy i profesjonalści) należą do osób zaangażowanych w działania mające na celu ograniczenie zanieczyszczenia światłem.

- **[bezpieczeństwo]** Głównym celem istnienia oświetlenia zewnętrznego jest zapewnienie nocą bezpiecznego i komfortowego użytkowania przestrzeni zewnętrznej, czyli przestrzeni poza pomieszczeniami zamkniętymi. Czasami jednak zdarza się, że oświetlenie to z różnych przyczyn nie w pełni realizuje ten cel. Lampy oświetlenia zewnętrznego, nieodpowiednio osłonięte lub o źle skierowanej emisji świecąc wprost do naszych oczu powodują zjawisko oślnienia. Nadmierne, nierównomierne i oślniewające oświetlenie pogarsza widoczność otoczenia oraz może odwracać uwagę od przeszkód, powodując przez to spadek bezpieczeństwa w ruchu drogowym. Nieodpowiednie oświetlenie zewnętrzne prowadzi do paradoksu, bo przeczy ono celowi swojego istnienia. Może bardziej szkodzić niż pomagać.
- **[ekologia]** Zanieczyszczenie światłem zaburza naturalne cykle światła i ciemności występujące w naturze (dobowe, miesięczne, roczne). Brak ciemności w nocy może zakłócać orientację przestrzenną zwierząt, zmieniać wzajemne zależności pomiędzy różnymi gatunkami i wpływać na psychologię, zdobywanie pożywienia, rozmnażanie, komunikację oraz inne istotne zachowania zwierząt (Rich C. i Longcore T. 2006). O tym jak ważny jest wpływ światła na organizmy żywe nie trzeba nikogo przekonywać. Wystarczy spojrzeć na fotosyntezujące rośliny, które bez światła nie mogą istnieć. Obecność ciemności, pomimo że nie wydaje się tak oczywista, również jest konieczna. Badaniem zachowań i metabolizmu organizmów żywych w ciemności zajmuje się skotobiologia (z gr. *scotos* - ciemność).. Chodzi tu nie o to, jaki negatywny wpływ na organizmy żywe ma brak światła, ale jaki jest pozytywny wpływ okresowego braku tego światła (np. w cyklu dobowym). Badania skotobiologiczne są

podstawą do lepszego zrozumienia potrzeby ochrony środowiska przed zanieczyszczeniem światłem. Głównym, ogólnym wynikiem tych badań jest stwierdzenie, że ciemność jest konieczna dla funkcjonowania systemów biologicznych.

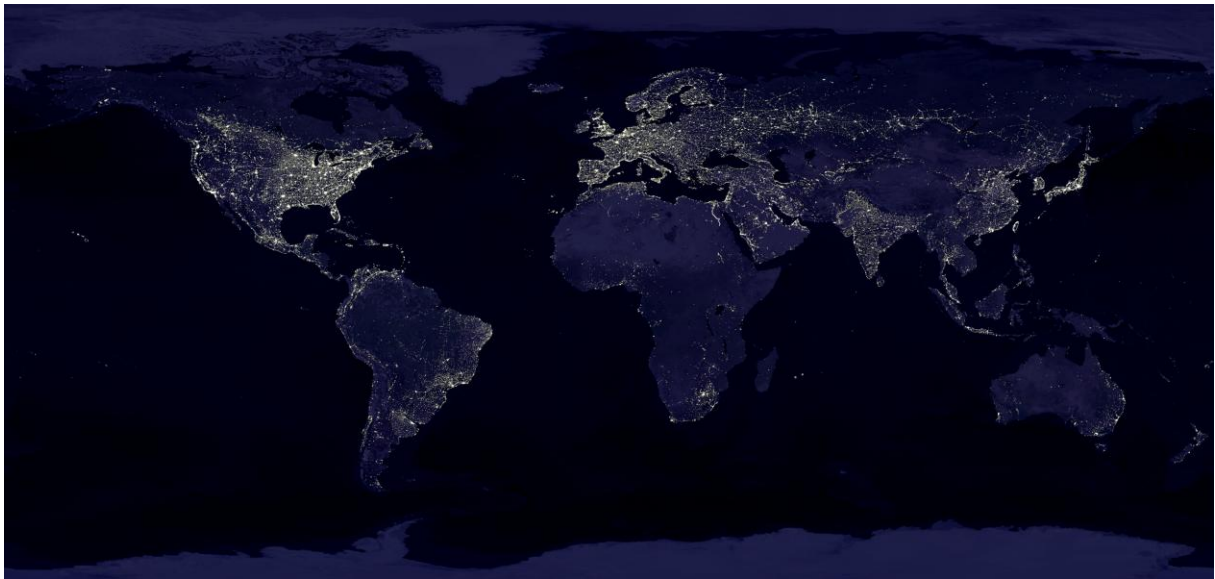
- **[zdrowie]** Podobnie jak w przypadku zwierząt, zanieczyszczenie światłem ma zaburzać naturalny cykl dobowy człowieka (Navara i Nelson 2007). Chociaż skutki obecności sztucznego światła mogą być nieznaczące w skali jednej nocy, to jednak „światlny stres” wywierany w sposób ciągły na organizm może mieć negatywne, długoterminowe skutki zdrowotne. Sztuczne oświetlenie w nocy, nawet stosunkowo słabe, może powodować różne dolegliwości, takie jak zmęczenie, stres, odczucie niepokoju, bezsenność oraz może być czynnikiem zaburzającym układ odpornościowy i zwiększającym ryzyko zachorowania na raka, poprzez zmniejszanie ilości wytwarzanej nocą melatoniny. Zaskakujący jest wynik badań nad samobójstwami popełnianymi w krajach leżących w strefie polarnej, jak np. Grenlandia. Wbrew oczekiwaniom najwięcej samobójstw zdarza się nie w zimie, gdy dni są krótkie lub trwa noc polarna, ale latem, gdy dzień trwa praktycznie całą dobę (Björkstén i in. 2009). Długotrwały brak ciemności może być poważnym czynnikiem zaburzającym organizm człowieka.
- **[ekonomia i ekologia]** Światło oświetlenia zewnętrznego, które nie świeci tam gdzie trzeba, kiedy trzeba lub świeci zbyt jasno jest marnotrawstwem prądu elektrycznego i tym samym pieniędzy. Płacąc za złe oświetlenie, fundujemy sobie dodatkowe zanieczyszczenie środowiska naturalnego, bo energia elektryczna marnowana przez takie oświetlenie musi być wytworzona. To oznacza zwiększoną emisję zanieczyszczeń chemicznych, ponieważ obecnie większość energii elektrycznej wytwarzana jest przez elektrownie pracujące na paliwach kopalnych (w Polsce ponad 90%).
- **[kultura i estetyka]** Zanieczyszczenie światłem bardzo zmienia charakter krajobrazu, zubożając go o bardzo ważną składową – o ciemne, rozgwieżdżone niebo. Niebo to od dawna inspirowało i kształtowało człowieka. Jego wpływ znajdujemy w sztuce, filozofii, religii, literaturze i nauce. Nadmiar sztucznego światła spowodował, że obecnie związek człowiek – niebo nocne bardzo osłabł. Dla bardzo wielu ludzi, w

szczegółności mieszkańców miast, rozgwieżdżone niebo jest raczej legendą niż doświadczeniem osobistym. Ich obraz nieba jest mocno zdegradowany a to, co widzą nocą nad swoimi głowami nie bardzo może zachwycać i inspirować tak jak prawdziwie ciemne niebo.

Skutki zanieczyszczenia światłem pokazują, że problem ten jest interdyscyplinarny. Łączy ze sobą wiele dziedzin nauki i techniki, które mają bardzo odległe od siebie pola badań. Jest to jednocześnie wada i zaleta, o czym więcej w dalszej części artykułu.

Zasięg przestrzenny zanieczyszczenia światłem

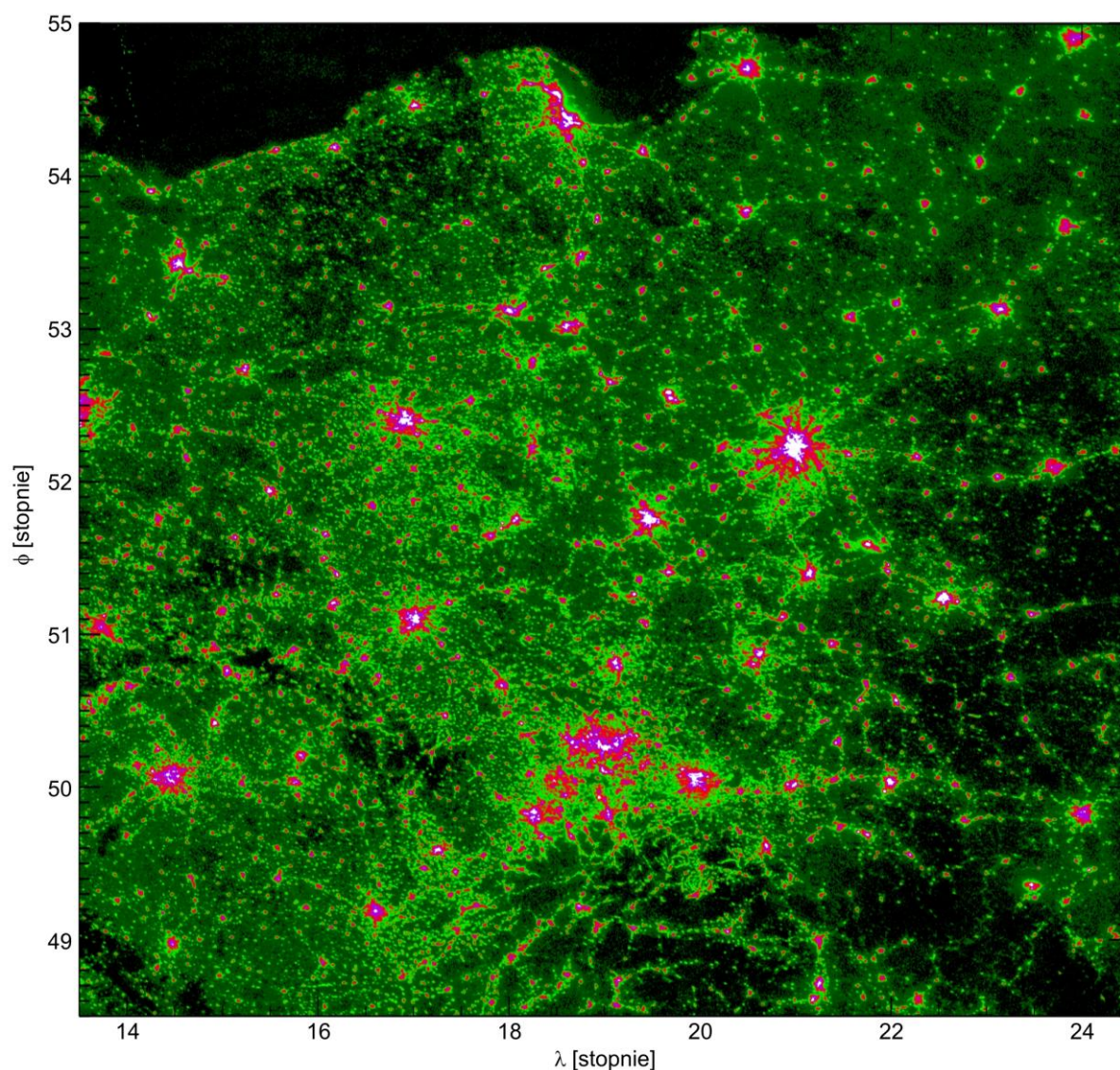
O tym jak dużym problemem jest zanieczyszczenie światłem świadczy nie tylko to, że dotyka ono wiele dziedzin życia, ale też jego zasięg przestrzenny. Dobrym sposobem na to, by poznać globalną skalę tego problemu, są zdjęcia satelitarne wykonane przez instrument o nazwie OLS (Operational Linescan System) znajdujący się na satelitach DMSP (Defense Meteorological Satellite Program). Głównym zadaniem tego instrumentu jest obserwacja chmur, jednak wysoka czułość OLS na światło czyni z niego dobry instrument do obserwacji nocnych źródeł sztucznego światła i badania zanieczyszczenia światłem (Elvidge i in. 2001). Na zdjęciach DMSP/OLS doskonale widoczne są obszary najbardziej zaludnione i zurbanizowane (Ryc. 1). Bez trudu odnajdziemy Amerykę Północną, Europę, Indie czy Japonię. Na zdjęciu przedstawiającym samą Europę (Ryc. 2) łatwo możemy prześledzić przebieg linii brzegowej kontynentu czy też odnaleźć większe i mniejsze miasta (nawet te liczące niewiele ponad 1000 mieszkańców). Od 2011 roku na orbicie okołoziemskiej znajduje się satelita Suomi NPP (Suomi National Polar-orbiting Partnership). Satelita wyposażony jest w Visible Infrared Imaging Radiometer Suite (VIIRS). Instrument ten posiada wyraźnie większą czułość i rozdzielczość przestrzenną niż OLS. Zdjęcia otrzymane z VIIRS są obecnie najwyższej jakości danymi o źródłach sztucznego światła, dostępnymi do analizy (Miller i in. 2012). Przykład zdjęcia z VIIRS znajduje się na Ryc. 3.



Ryc.1. Mozaika zdjęć satelitarnych DMSP/OLS pokazująca Ziemię w nocy. Doskonale widoczne są obszary najbardziej zaludnione i zurbanizowane. Bez trudu odnajdziemy tu Amerykę Północną, Europę, Indie czy Japonię. Wizualizację wykonali C. Mayhew i R. Simmon na podstawie danych zebranych przez NASA i NOAA.



Ryc.2. Nocne zdjęcie satelitarne DMSP/OLS Europy. Duża ilość oświetlenia zewnętrznego, gęste zaludnienie i wysoki poziom urbanizacji Europy powoduje, że doskonale widoczny jest zarys całego kontynentu. Łatwo znajdziemy na zdjęciu duże miasta europejskie. Wizualizację wykonali C. Mayhew i R. Simmon na podstawie danych zebranych przez NASA i NOAA.



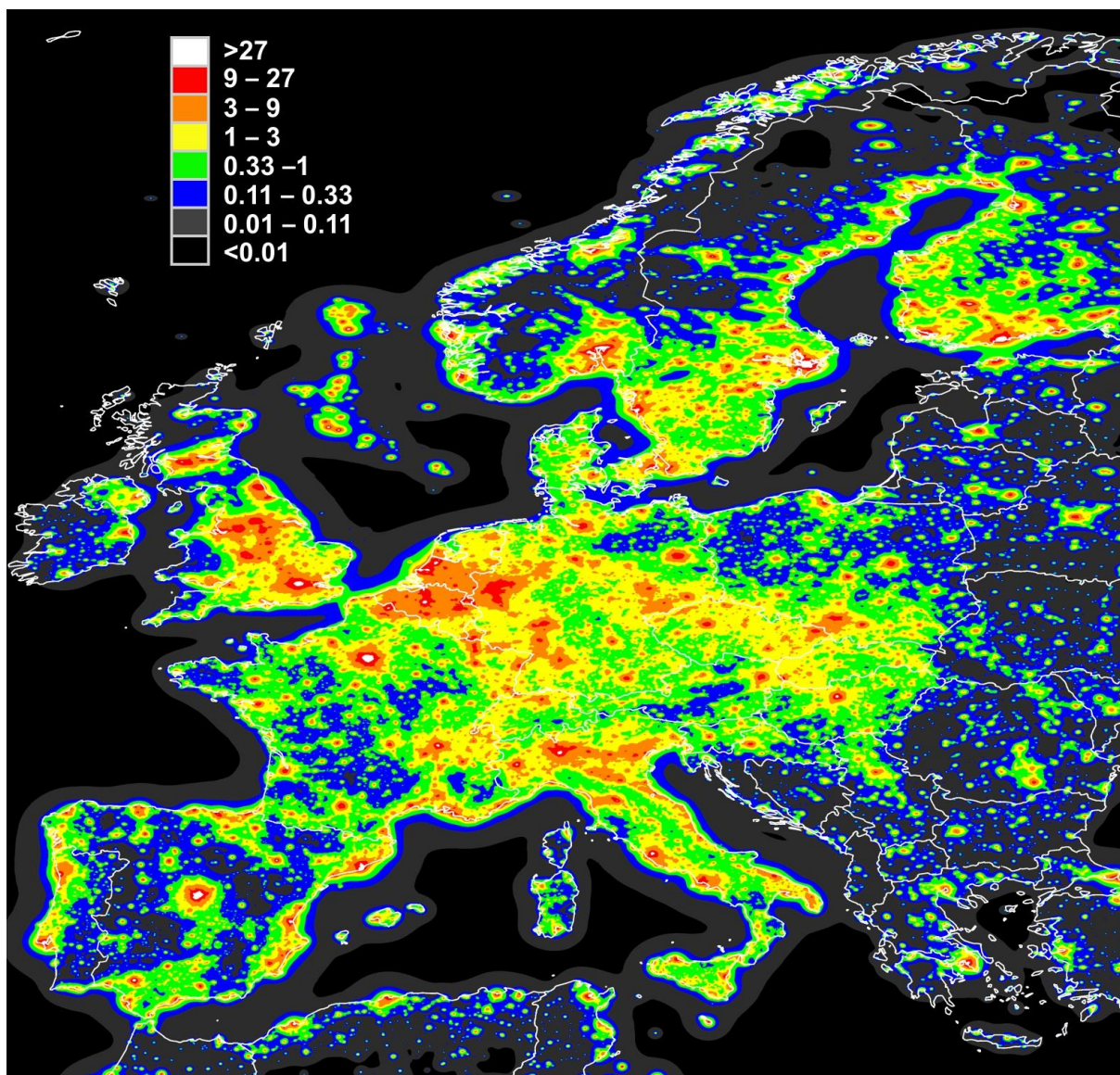
Ryc.3. Nocne zdjęcie Polski wykonane instrumentem VIIRS w 2012 roku. Wizualizację wykonał autor artykułu na podstawie danych z National Geophysical Data Center. Skala barwna nierzeczywista dobrana tak, aby dobrze widoczne były słabe i silne źródła światła. Kolor czarny to obszary, których jasność nie przekracza progu czułości VIIRS. Ciąg kolorów od zielonego do białego oznacza wzrastającą jasność mierzoną w $W/(cm^2 sr)$.

Ogromna ilość zewnętrznych źródeł światła sprawia, że nocne zdjęcia Ziemi usiane są gęsto większymi i mniejszymi wyspami światła. Widać też, że obszary, gdzie noc pozostaje naturalnie ciemna występują tylko na odległych odludziach: pustynie, lasy tropikalne, wysokie góry, obszary polarne i oceany. Chociaż i to też nie jest już regułą – Alpy wcale niewyróżniają się na nocnym zdjęciu Europy. Zdjęcia satelitarne nie uwidaczniają jednak problemu w pełni. Obszary, które wydają się być ciemne na zdjęciach satelitarnych wcale nie

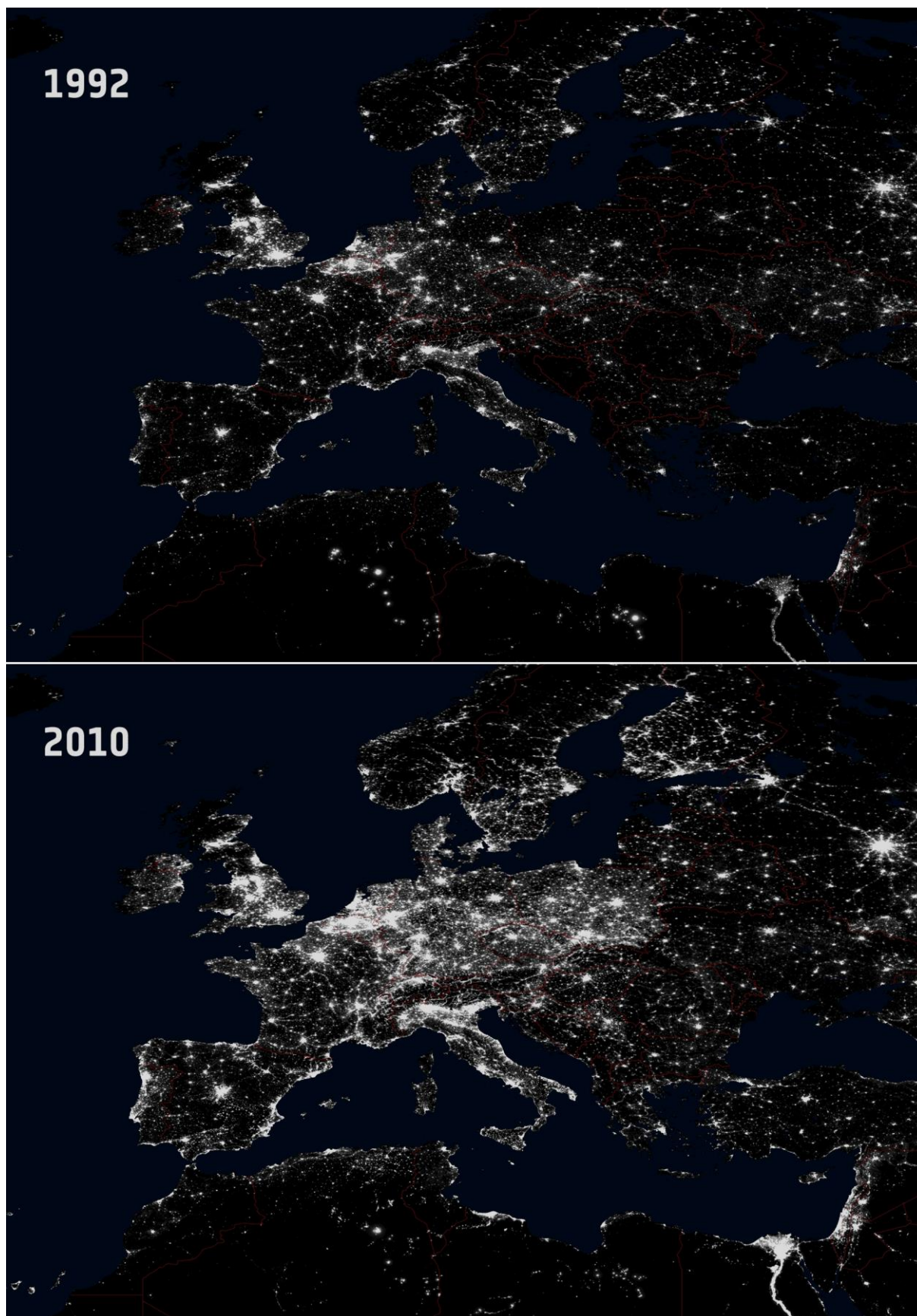
muszą być wolne od zanieczyszczenia światłem. Nocne środowisko (i niebo) może być zaburzone sztucznym światłem nawet wiele dziesiątków kilometrów od centrum dużego miasta. Światło to „wyciekając” z miast lub wsi pokonuje znaczne odległości zanim całkowicie rozproszy się w atmosferze. W skutek tego zanieczyszczenie światłem rozlewa się na duże obszary, sięgając nawet do miejsc zupełnie niezamieszkanym. Pokazuje to doskonale The World Atlas of the Artificial Night Sky Brightness (Światowy atlas sztucznej jasności nocnego nieba), stworzony na podstawie obserwacji DMSP/OLS przez zespół badawczy, w którego skład wchodzi Pierantonio Cinzano, Fabio Falchi oraz Christopher D. Elvidge (Cinzano i in. 2001).

Ryc. 4 przedstawia mapę sztucznej jasności nocnego nieba dla Europy. Mapa ta umożliwia ocenę stopnia zanieczyszczenia światłem, który przedstawiono jako iloraz R jasności sztucznej nieba (wynikającej z obecności zanieczyszczenia światłem) do jasności naturalnej. Iloraz R został policzony dla zenitu bez uwzględnienia wysokości na jakiej znajduje się dany obszar, czyli tak jakby cała powierzchnia Ziemi położona była na poziomie morza. Dzięki takiemu podejściu można ocenić i porównać poziom zanieczyszczenia światłem w różnych miejscach. Mapa sztucznej jasności nieba wydaje się być rozmyta, nieostra. Nie jest to jednak wina niskiej rozdzielczości obliczeń czy wizualizacji wyników, ale wynika z faktu, że samo zjawisko rozchodzenia się i rozpraszania światła ma charakter dyfuzyjny. Należy pamiętać, że nieuwzględnienie rzeczywistych wysokości n.p.m. nie pozwala z tej mapy dokładnie odczytać jak widoczne jest nocne niebo w danym miejscu. Wraz ze wzrostem wysokości n.p.m. spada gęstość atmosfery, a zatem wzrasta jej przejrzystość i niebo staje się ciemniejsze. Z tego względu widoczność obiektów astronomicznych będzie lepsza np. w Alpach niż na Pojezierzu Zachodniopomorskim pomimo tego, że oba obszary znajdują się w strefie $R=0.11-0.33$. Na podstawie swoich obliczeń, autorzy atlasu podają, że:

- Granica pomiędzy obszarem czarnym a szarym oznacza $R=0.1$ i jest jednocześnie definiowana przez Międzynarodową Unię Astronomiczną jako granica pomiędzy niebem niezanieczyszczonym a zanieczyszczonym. Według tej definicji jedynym miejscem w Europie wolnym od zanieczyszczenia światłem jest północna Skandynawia. To oznacza, że prawie 100% mieszkańców Unii Europejskiej żyje na obszarach, gdzie nocne niebo jest zanieczyszczone światłem.



Ryc.4. Mapa sztucznej jasności nocnego nieba dla Europy. Kolory oznaczają różne wartości ilorazu jasności sztucznej nieba (wynikającej z obecności zanieczyszczenia światłem) do jasności naturalnej. Autorzy: P. Cinzano, F. Falchi (University of Padova), C. D. Elvidge (NOAA National Geophysical Data Center, Boulder). Prawa autorskie: Royal Astronomical Society. Reprodukacja z Monthly Notices of the RAS za pozwoleniem Blackwell Science.



Ryc.5. Zmiana ilości światła pochodzącego od oświetlenia zewnętrznego w latach 1992-2010 w Europie. Zdjęcia wykonane instrumentem OLS na satelitach DMSP. Źródło: www.esa.int

- Granica pomiędzy obszarem zielonym a żółtym ($R=1$) to miejsca, gdzie jasność sztuczna jest równa naturalnej, czyli całkowita jasność nieba jest podwojona.
- Od $R=6$ (obszary pomarańczowe bliżej czerwonych i następne) Drogę Mleczną trudno jest dostrzec lub nie jest ona widoczna. Tak jasne niebo nocne w warunkach naturalnych występuje w czasie pełni Księżyca. Obszary z tak znacznym poziomem zanieczyszczenia światłem są dość rozległe i zamieszkuje je około 50% mieszkańców UE.
- W obszarach czerwonych i białych ($R \geq 9$) ilość widocznych gołym okiem gwiazd spada poniżej 500 (na prawdziwie ciemnym niebie widać ich 2000-3000). W centrach dużych miast (obszary białe) jasność nocnego nieba znacznie przekracza jasność nieba, która w warunkach naturalnych występuje podczas pełni Księżyca.

Należy pamiętać, że atlas sztucznej jasności nocnego nieba był opublikowany ponad 10 lat temu. Zdjęcia satelitarne pokazują jednak, że w wielu miejscach na Ziemi sztucznego światła przybywa. **Rys. 5** pokazuje te zmiany dla Europy w latach 1992-2010. Zdecydowana większość tego kontynentu robi się coraz jaśniejsza, a szczególnie dotyczy to krajów Europy Środkowej, np. Polski. W wielu miejscach naszego kraju poziom zanieczyszczenia światłem jest obecnie wyraźnie wyższy niż pokazują to mapy z omawianego atlasu.

Rozwiązywanie problemu

Skutki i zasięg zanieczyszczenia światłem sprawiają, że jest to bardzo poważny problem, porównywalny z chemicznym zanieczyszczeniem atmosfery, wody i gleby. Konieczne jest zatem podjęcie działań prowadzących do zmniejszenia poziomu tego zanieczyszczenia. Zakaz używania oświetlenia zewnętrznego w nocy nie jest rozwiązaniem. Światło w nocy jest nam potrzebne nawet, jeśli jesteśmy miłośnikami obserwowania nocnego nieba. Pożądane jest racjonalne rozwiązanie, które da nam dobrze oświetlone ulice i jednocześnie zminimalizuje negatywne skutki używania sztucznego światła. Główne zasady takiego racjonalnego oświetlania są następujące.

- Należy używać źródeł światła o jasności nie większej niż jest potrzebna do bezpiecznego korzystania np. z ulic czy chodników. Właściwy poziom oświetlenia powinien być dobierany odpowiednio do typu miejsca i natężenia ruchu oraz w

oparciu o wiedzę dotyczącą działania ludzkiego oka. Zmniejszając jasność oświetlenia do właściwego, odpowiedniego poziomu zmniejszamy też ilość światła trafiającego np. w niebo po odbiciu od oświetlanych powierzchni. Poza tym należy oświetlać równomiernie tak, aby nie występował efekt zmniejszonej zdolności widzenia przy przejściu z obszaru jaśniejszego do ciemniejszego i na odwrót.

- Należy wyłączać oświetlenie lub zmniejszać jego jasność, gdy jest to możliwe. Przykładem mogą być późne godziny nocne, kiedy iluminacja obiektów zabytkowych może być wyłączona a jasność oświetlenia ulicznego można nieco zmniejszyć.
- Należy stosować obudowy lamp kierujące światło tylko w dół i tylko na obszar, który jest celem oświetlania. Nie należy świecić wprost w niebo. Dobra obudowa, poprawnie zamontowana, powinna całkowicie osłaniać lampę od góry i uniemożliwiać ucieczkę jej światła powyżej płaszczyzny horyzontu oraz pod małymi kątami względem tej płaszczyzny. Światło rozchodzące się z lampy prawie horyzontalnie przebywa długą drogę w atmosferze i rozpraszając się powoduje większe rozjaśnienie nocnego środowiska niż światło kierowane pionowo do góry.
- Należy używać lamp o odpowiednim widmie emisji, zawierającym mało składowej niebieskiej i dużo składowej zielonej-żółtej. To zalecenie wynika z trzech powodów.
(1) Za wzrost jasności nocnego środowiska (i nieba) odpowiada częściowo rozpraszanie sztucznego światła w atmosferze. Zjawisko to ma tę własność, że silnie zależy od długości fali (rozpraszanie Rayleigha) i światło niebieskie jest rozpraszane znacznie bardziej niż czerwone. Mniejsze rozpraszanie to również lepsza widoczność.
(2) Oko ludzkie najbardziej czułe jest na światło zielone*, dlatego źródła światła mające maksimum emisji w świetle zielonym będą najbardziej efektywne – dostajemy najjaśniejsze oświetlenie przy najmniejszej mocy źródła. **(3)** Fotoreceptor biorący udział w regulacji rytmu dobowego u człowieka ma maksimum czułości przypadające na światło niebieskie (Brainard i in. 2001). Dlatego światło takie obecne w nocy będzie zaburzać najmocniej ten rytm. Zaburzenia rytmu dobowego ma negatywne skutki dla organizmu człowieka. Wszystkie powyższe punkty wskazują, że najodpowiedniejsze do nocnego oświetlania zewnętrznego są źródła światła mające jak najmniej składowej niebieskiej (światło o dł. fali <500nm) i jak najwięcej zielono-żółtej. Dobierając widmo emisji sztucznego światła warto brać pod uwagę wrażliwość

zwierząt i roślin na światło z poszczególnych zakresów widma promieniowania widzialnego. Dzięki temu można jeszcze bardziej zmniejszyć środowiskowe skutki zanieczyszczenia światłem.

*) Maksimum czułości oka przypada na światło od długości fali między 505 a 550 nm. Dokładne położenie tego maksimum zależy od natężenia oświetlenia i wraz z jego spadkiem przesuwa się w stronę fal krótszych.

Rozwiązania techniczne, ograniczające negatywne skutki używania sztucznego światła, pomogą również zwiększyć efektywność wykorzystywania energii elektrycznej i zredukować emisję zanieczyszczeń chemicznych powstających przy wytwarzaniu tej energii. Ponad 20% ogólnie produkowanej energii elektrycznej na świecie zużywane jest na wytwarzanie światła, a wydatki na oświetlenie uliczne są jednymi z najkosztowniejszych w budżecie każdej gminy. Zatem redukcja zanieczyszczenia światłem powinna przynieść znaczące i wymierne zyski oraz oszczędności.

Obok wprowadzania racjonalnych zasad wykorzystania oświetlenia zewnętrznego, drugim ważnym kierunkiem działań jest ochrona obszarów mało zaburzone lub niezaburzone przez sztuczne światło w stanie nie gorszym niż obecny. Działania takie zostały już podjęte w kilku miejscach na świecie, skutkując powstawaniem tzw. obszarów ciemnego nieba, swoistych „rezerwatów ciemności”. Takie obszary pełnią kilka ważnych funkcji.

- **[popularyzacja wiedzy o zanieczyszczeniu światłem]** Największym problemem z zanieczyszczeniem światłem jest to, że nie istnieje ono w świadomości przeważającej części społeczeństwa. Jeśli chcemy skutecznie zmniejszać zanieczyszczenie światłem, musimy w pierwszej kolejności przekazać społeczeństwu wiedzę na ten temat.
- **[astroturystyka]** Obszary ciemnego nieba przyciągają miłośników astronomii oferując im dobre warunki do prowadzenia obserwacji nieba i astrofotografii. Takie miejsca mogą być także ciekawą atrakcją turystyczną dla innych osób. Dodanie do istniejącej oferty turystycznej możliwości obserwacji prawdziwego nocnego nieba pomaga choć częściowo przywrócić zanikający związek między człowiekiem a tym niebem i jest doskonałym sposobem na popularyzację wiedzy o Wszechświecie. Ale nie tylko. Oglądanie nocnego nieba jest bowiem dobrym punktem wyjścia do mówienia o zanieczyszczeniu światłem.

- **[ochrona przyrody]** Ciemność nocna jest elementem środowiska naturalnego i dlatego powinniśmy ją chronić tak, jak chronimy inne części przyrody żywej i nieożywionej. Obszary ciemnego nieba często powstają na terenach ochrony przyrodniczej takich, jak parki narodowe, krajobrazowe czy rezerваты. Ochrona nocy przed nadmiarem sztucznego światła staje się częścią programu ochrony przyrody. Takie działanie wydaje się nie tylko logiczne, ale i niezbędne, jeśli przyrodę chcemy chronić całościowo i skutecznie.

Powyższe funkcje często łączą się ze sobą. Jeden obszar może być jednocześnie miejscem ochrony ciemności i celem astroturystycznych wypraw. Tak samo funkcje ochronne, edukacyjne i turystyczne łączą się na terenach rezerwatów przyrody czy parków narodowych.

Obszary ciemnego nieba różnią się jednak od tych przyrodniczych zasadami tworzenia i funkcjonowania. Obszar, który ma być parkiem narodowym musi spełniać pewne normy a aktywności takie jak, np. ruch turystyczny czy korzystanie z zasobów naturalnych są regulowane przez odpowiednie przepisy. Z obszarami ciemnego nieba bywa różnie. Na przykład przepisy regulujące oświetlenie zewnętrzne tak, by minimalizować zanieczyszczenie światłem, istnieją obecnie w niewielu miejscach na świecie. Dlatego głównym problem dla obszarów ciemnego nieba jest brak prawnej ochrony przed światłem okolicznych miejscowości. W tej sytuacji pozostaje tylko dobrosąsiedzka współpraca. Korzyści takiej współpracy mogą być dwustronne. Dbłość o zachowanie ciemnego nieba idzie w parze z racjonalnym użytkowaniem oświetlenia zewnętrznego. Społeczność mieszkająca w sąsiedztwie obszaru ciemnego nieba może więc zyskać lepsze i mniej energochłonne oświetlenie ulic oraz nietypową atrakcję turystyczną – rozgwieżdżone niebo.

Obecnie na świecie istnieje ponad 30 obszarów ciemnego nieba i wciąż powstają kolejne. Wśród już istniejących jest polsko-czeski Izerski Park Ciemnego Nieba (IPCN) położony w Górach Izerskich. Powołany w 2009 roku, IPCN był pierwszym parkiem ciemnego nieba w Europie. Powstał on dzięki współpracy astronomów i leśników z Polski i Republiki Czeskiej. Taka nietypowa współpraca, sprawdzona już w kilku miejscach na świecie, doskonale działa przy ochronie ciemności. Główny powodem utworzenia IPCN jest potrzeba przekazywania społeczeństwu wiedzy o zanieczyszczeniu światłem, która zarówno w Polsce, jak i w Republice Czeskiej, jest wciąż mała. Pierwszym krokiem, na drodze do ograniczenia zanieczyszczenia światłem i ochrony nocnego środowiska, jest edukacja.

Problemy na drodze ku ciemnej nocy

Wiemy, że zanieczyszczenie światłem to poważny problem. Wiemy jak można je ograniczać. Pomimo to zanieczyszczenie to wciąż szybko rośnie, jak widać na przykładzie Europy. Dlaczego? Przyczyn jest wiele.

Społeczeństwo w większości nie jest świadome istnienia tego typu zanieczyszczenia. Wynika to z wciąż zbyt małego przepływu wiedzy o tym zjawisku od środowisk naukowo-popularyzatorskich. Sytuację bardzo utrudnia wspomniana na początku symbolika światło-ciemność. Nadmiar światła przypomina nadmiar dźwięku, czyli hałas. Jednak ludzkie odczucie dźwięk-cisza jest inne. Nie istnieją powszechne złe skojarzenia z ciszą, a jednocześnie każdy może sam odczuć uciążliwość hałasu. W przypadku światła nie jest już tak łatwo. Negatywne oddziaływanie nadmiaru światła w nocy jest z reguły znacznie trudniejsze do zauważenia bez prowadzenia badań naukowych. Dodatkowo wskutek istnienia wspomnianej symboliki światło nie jest kojarzone z zagrożeniem czy choćby dyskomfortem. Pokonanie osadzonego głęboko w nas schematu „światło-dobro, ciemność-zło” jest niestety, trudne, ale niezbędne do zrozumienia, że nadmiar światła może szkodzić a ciemność jest niezbędna całej przyrodzie, w tym człowiekowi.

Popularyzacja wiedzy o zanieczyszczeniu światłem również nie jest prosta. Skutki tego zanieczyszczenia czynią z niego zagadnienie interdyscyplinarne. Osoby, które chcą przekazywać wiedzę o zanieczyszczeniu światłem muszą wykazać się przynajmniej podstawową znajomością zjawisk i pojęć z różnych dziedzin nauki i techniki. I trzeba to robić rzetelnie, bo w przeciwnym wypadku skutek działań popularyzatorskich może być przeciwny do zamierzonych. Brak wiedzy, przekazywanie niesprawdzonych informacji i posługiwanie się niewłaściwym (nieprofesjonalnym) językiem może zniechęcić społeczeństwo i media do problemu oraz utrudnić angażowanie specjalistów z dziedzin wiążących się z zanieczyszczeniem światłem w prace badawcze nad nim. Trudnością jest też mała ilość osób zaangażowanych w proces przekazywania wiedzy, co skutkuje niewystarczającym przepływem tej wiedzy do społeczeństwa.

Nim jednak wiedzę przekażemy, musimy ją najpierw zdobyć. Nasza wiedza o skutkach zanieczyszczenia światłem jest już spora, ale wciąż jeszcze jest wiele musimy się dowiedzieć. Jeśli chcemy, aby nasze rozumienie tego zjawiska było pełne a działania przeciwko niemu skuteczne to konieczna jest współpraca interdyscyplinarna. To nie jest proste zwłaszcza, że

dziedziny wiążące się z zanieczyszczeniem światłem są dość od siebie odległe. Interdyscyplinarność to jednak również zaleta tego zjawiska dająca wyjątkową szansę na zdobycie nowej, pasjonującej wiedzy i pozwalająca bardziej całościowo poznać otaczający nas świat.

Pomimo tych problemów przybywa przykładów pokazujących, że zanieczyszczenie światłem można redukować z korzyścią dla wszystkich. Przybywa miejsc, w których obowiązują przepisy regulujące oświetlenie w sposób przyjazny dla ludzi i nocnej ciemności. Wzrasta też ilość obszarów ciemnego nieba a z nią powiększa się strumień wiedzy o skutkach nadmiaru światła w nocy płynący do społeczeństwa. Jedyne, czego potrzebujemy to intensyfikacja tych procesów, aby jak najszybciej zatrzymać i może nawet odwrócić niekorzystny trend ubywania ciemności. Oby nasze bezkrytyczne uwielbienie światła i irracjonalna niechęć do ciemności nie sprawiły, że rozgwieżdżone niebo stanie się tylko mglistym wspomnieniem z przeszłości.

Deklaracja bielsko-bialska

W dniach 13-15. września 2012 roku w Bielsko-Białej odbyło się 12. European Symposium for the Protection of the Night Sky. Sympozjum to od 12 lat gromadzi naukowców zajmujących się zanieczyszczeniem światłem. Na zakończenie sympozjum, jego uczestnicy uchwalili deklarację, której treść jest pewnym podsumowaniem naszej obecnej wiedzy o tym zanieczyszczeniu. Poniżej przedstawiamy tę deklarację.

My, uczestnicy 12. European Symposium for the Protection of the Night Sky

- *Zachęcamy wszystkie organy ustawodawcze do wprowadzenia prawa ograniczającego do zera ilość światła emitowanego bezpośrednio do górnej półsfery.*
- *Zalecamy wygaszanie lub zmniejszanie jasności oświetlenia zewnętrznego o czynnik co najmniej 3 w czasie, gdy nikt lub prawie nikt z niego nie korzysta.*
- *Zwracamy uwagę, że wszelkie źródła światła o luminancji przekraczającej ponad 10-krotnie luminację obszaru docelowego oświetlenia i znajdujące się w polu widzenia użytkownika powodują znaczny dyskomfort i zmniejszają poziom bezpieczeństwa ruchu ulicznego. Jest to zatem sytuacja sprzeczna z celem istnienia oświetlenia zewnętrznego.*

- *Uważamy, że ograniczenie natężenia oświetlenia okien budynków mieszkalnych do 0.2 lx powinno być uznane za podstawowe prawo człowieka.*

Bielsko-Biała, 15.09.2013

Literatura

Björkstén K., Kripke D., i Bjerregaard P. 2009, Accentuation of suicides but not homicides with rising latitudes of Greenland in the sunny months, *BMC Psychiatry*, 9, s.20-29.

Brainard G.C., Hanifin J.P., Greeson J.M., Byrne B., Glickman G., Gerner E., i Rollag M.D. 2001, Action spectrum for melatonin regulation in humans: evidence for a novel circadian photoreceptor, *The Journal of Neuroscience*, 21(16), s.6405-6412.

Cinzano P., Falchi F. i Elvidge C.D. 2001, The first world atlas of the artificial night sky brightness, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 328, s.689-707.

Elvidge C.D., Imhoff M.L., Baugh K.E., Hobson V.R., Nelson I., Safran J., Dietz J.B. i Tuttle B.T. 2001, Nighttime lights of the world: 1994-95, *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 56, s.81-99.

Miller S.D., Mills S.P., Elvidge C.D., Lindsey D.T., Lee T.F., i Hawkins J.D. 2012, Suomi satellite brings to light a unique frontier of nighttime environmental sensing capabilities, *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 109(39), 15706-15711.

Navara K.J., Nelson T.J. 2007, The dark side of light at night: physiological, epidemiological, and ecological consequences, *Journal of Pineal Research*, 43, s.215-224.

Rich C. i Longcore T. (red.) 2006, *Ecological consequences of artificial night lighting*, Island Press.