



**dr hab.
Andrzej Z. Kotarba,
prof. CBK PAN**

Klimatolog
zafascynowany
satelitarnymi
badaniami atmosfery,
w szczególności chmur.
Współzałożyciel Light
Pollution Think Tank,
grupy eksperckiej,
która inspirowuje,
podejmuje i wspiera
działania na rzecz
ograniczenia
zanieczyszczenia
światłem.
W wolnych chwilach
popularyzator nauki.
akotarba@cbk.waw.pl

ZDROWA CIEMNOŚĆ

Bierzesz do ręki receptę. Ale zamiast listy medykamentów widzisz zalecenie: „Mrok – zażywać przez mniej więcej osiem godzin na dobę, nocą”. To nie żart, nasze zdrowie zależy w ogromnej mierze od tego, w jakich warunkach śpimy, a tu kluczowe znaczenie ma ciemność.



OPRACOWANIE WŁASNE NA PODSTAWIE DANYCH Z SATELITY

Andrzej Z. Kotarba

Centrum Badań Kosmicznych PAN
w Warszawie

Cykliczność dnia i nocy to odwieczny element środowiska przyrodniczego. W jej obecności ewoluowało ziemskie życie, które ścieżkami selekcji naturalnej przystosowało się do aktywności nocnej (regeneracji w ciągu dnia) bądź dziennej (regeneracji nocą). Rytm dnia i nocy mamy trwale zapisany w genach. Jest częścią naszego ciała do tego stopnia, że gdybyśmy odizolowali się od świata zewnętrznego – np. głęboko w jaskini lub kopalni – wciąż budziłibyśmy się i zasypiali wedle ustalonego schematu.

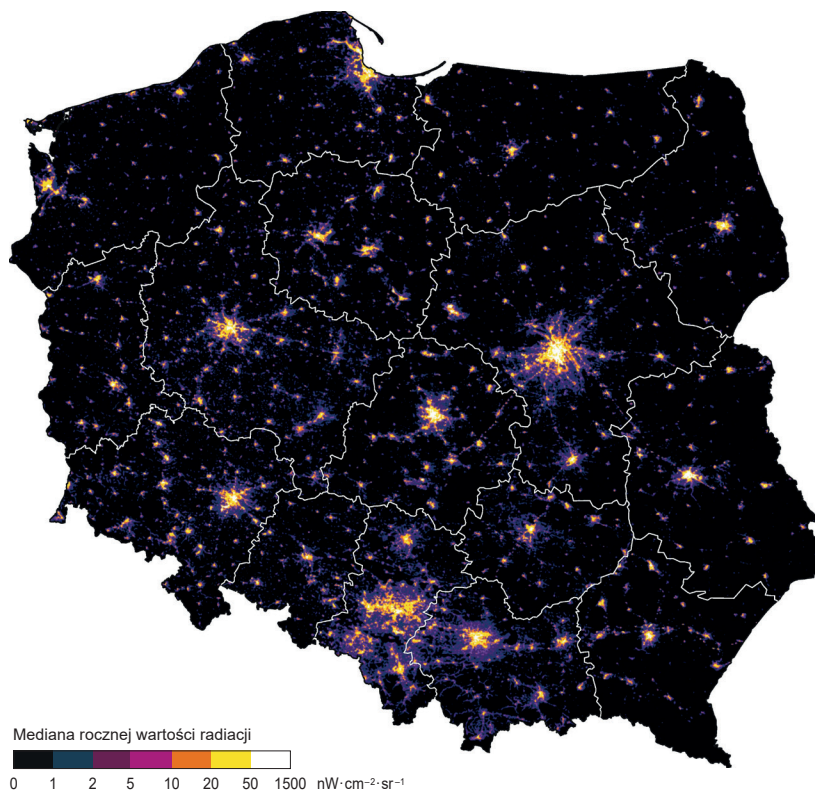
Regularnością procesów fizjologicznych człowieka zawiaduje wewnętrzny zegar biologiczny. By zapewnić zdrowe funkcjonowanie organizmu, musi się on nieustannie synchronizować ze środowiskiem zewnętrznym. Kluczową rolę w tym procesie odgrywa światło. Jego obecność jest dla mózgu sygnałem, by wstrzymać produkcję melatoniny, hormonu ciemności. Organizm wchodzi wtedy w fazę pobudzenia, aktywności. Wieczorem, gdy robi się ciemno, melatonina znów może być produkowana – przychodzi czas na fazę odpoczynku i regeneracji.

Niewłaściwe światło

Co się jednak stanie, gdy światło słoneczne zastąpimy po zmroku sztucznym? Dla organizmu nie będzie to miało większego znaczenia – światło to światło, a skoro jest, to najwyraźniej wciąż trwa dzień. Wymusimy na organizmie pozostanie w nienaturalnie wydłużonym trybie pobudzenia. Po pewnym czasie mogą pojawić się problemy z zasypianiem, bezsennością, jakością snu, a po przebudzeniu trudności w koncentracji, obniżony nastrój aż po depresję. Modyfikacji ulegnie cykl metaboliczny, przez co wzrośnie ryzyko otyłości, insulinooporności, cukrzycy, chorób serca. Przybývá badań wykazujących związek nadmiaru sztucznego światła nocą z występowaniem nowotworów.

Nie mniejsze skutki wywołuje obecność sztucznego światła w nocnym świecie flory i fauny. Zostają zaburzone cykle rozmnażania, żerowanie i migracji – z intensywnością zależną od gatunku. Degradacji ulegają też wzajemne relacje między roślinami i zwierzętami, np. efektywność procesów zapylania roślin przez owady dzienne i nocne.

Sztucznego światła nocą mamy współcześnie tak dużo, że przyrodnicy traktują je już jako jeden z przejawów zanieczyszczenia środowiska. Za zanieczyszczające uznaje się zazwyczaj światło, które jest emitowane



Mediana rocznej wartości radiacji
0 1 2 5 10 20 50 1500 nW·cm⁻²·sr⁻¹

wane w niewłaściwym kierunku, ma niewłaściwe natężenie i niewłaściwą barwę lub jest po prostu zbędne (nikomu ani niczemu nie służy).

Co znaczy „niewłaściwe”? W przypadku kierunku emisji mowa o świeceniu poza obiekt, który ma być oświetlany (najczęściej droga lub chodnik). A więc kierowanie strumienia światła np. na trawniki, rzeki, lasy, fasady budynków i do ich wnętrza, w tym do sypialni. Najgorzej zaprojektowane lampy świecą nawet w górę, w kosmos, oświetlając powietrze i chmury!

Niewłaściwa barwa światła odnosi się do tzw. temperatury barwowej, wyrażanej w kelwinach (K). Im jest ona wyższa, tym silniej hamowane jest wydzielanie melatoniny. Dlatego zaleca się, by nie przekraczać wartości 2000–3000 K, typowej dla ciepłego światła pomarańczowego, takiego jak podczas zachodu Słońca. Tymczasem w wielu miejscach instalowane jest zimne oświetlenie o barwie większej niż 4000 K (7000 K to w zasadzie już warunki dnia).

Pomocne satelity

Tu pojawia się pytanie, ile takiego niewłaściwego światła jest wokół nas? Szerzej – jaki jest stopień zanieczyszczenia światłem w przestrzeni miejskiej oraz w środowisku (względnie) naturalnym?

W skali kraju czy całego świata można to ocenić za pomocą obserwacji z orbity. Szczególnie przydatne są satelity meteorologiczne SNPP i NOAA i zainstalowany na ich pokładzie instrument VIIRS (Visible

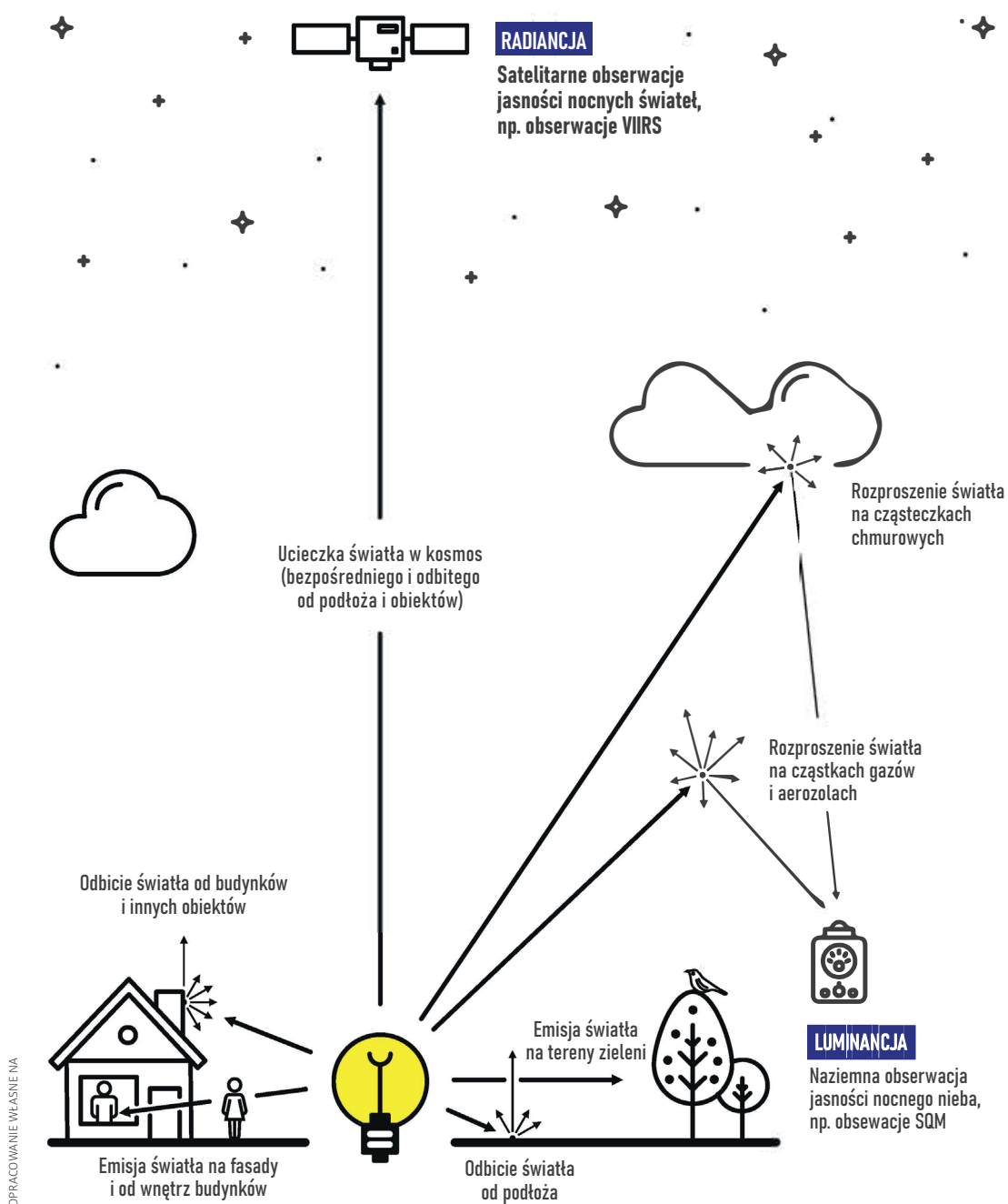
Radiancja światła emitowanego w niebo z obszaru Polski

Infrared Imaging Radiometer Suite). VIIRS bierze na celownik tę część nocnego światła, która ucieka w kosmos. W sensie fizycznym satelita informuje nas o radiancji promieniowania, czyli intensywności strumienia świetlnego. Im większa radiancja, tym więcej uciekającego nocnego światła, a zatem większy stopień zanieczyszczenia światłem.

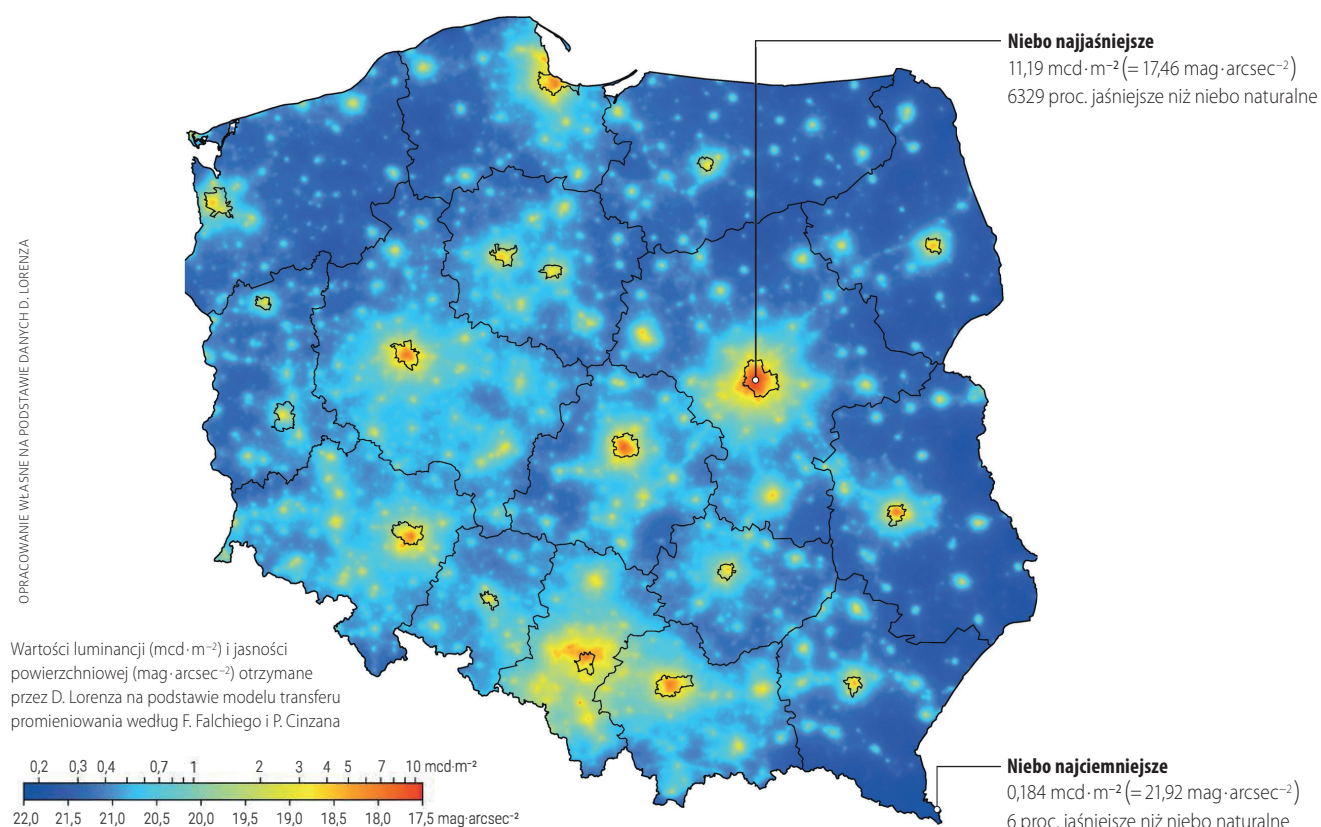
Co mówi VIIRS o nocnych światłach Polski? Odpowiedź przyniosły pierwsze tego typu badania w naszym kraju, zrealizowane w Zakładzie Obserwacji Ziemi w Centrum Badań Kosmicznych PAN. Analiza objęła ponad 4 tys. nocnych zobrażeń wy-

konanych w latach 2012–2022 i dostarczyła statystyk na poziomie województw, gmin oraz dla 2,4 mln indywidualnych lokalizacji.

Okazało się, że nocna Polska jaśnieje. W 2022 roku radiancja światła emitowanego z terytorium kraju była o 6 proc. większa niż średnio w latach 2012–2021. Rok 2022 był też najjaśniejszy z wszystkich, choć niewiele jaśniejszy niż lata 2017 i 2019. W oczy rzucało się też silne pociemnienie Polski w 2020 roku, co miało związek z epidemią COVID-19, gdy w czasie kwarantanny gminy wyłączały zbędne oświetlenie. W efekcie 2020 rok był aż o 20 proc. ciemniejszy niż 2022 rok.



OPRACOWANIE WŁASNE NA



Najjaśniejsze na mapie Polski są największe aglomeracje. Co ciekawe, pięć z nich (Warszawa, Łódź, Kraków, Gdańsk, Poznań) odpowiadało aż za 10 proc. sumarycznej jasności Polski. Każda emitowała ponad 100 razy więcej światła niż przeciętna gmina w naszym kraju i ponad 1500 razy więcej niż gmina najciemniejsza. Gdy spojrzeć nie na gminy, ale poszczególne obiekty infrastruktury, w 2022 roku najwięcej w niebo świeciły wielkopowierzchniowe szklarnie. Prym wiodła ta zlokalizowana w Goczałkowicach-Zdroju i była aż 600 proc. jaśniejsza niż okolice Pałacu Kultury i Nauki w Warszawie (tj. najjaśniejsza lokalizacja miejska w Polsce).

Wskazanie trendu zanieczyszczenia światłem w sensie radiancji mierzonej przez VIIRS jest trudne, gdyż zmiany te nie są liniowe. Gdy za wyznacznik przyjąć jasność w 2022 roku względem średniej z lat 2021–2021, okazuje się, że istotne statystycznie pojaśnienie wystąpiło na prawie jednej czwartej powierzchni Polski (23,3 proc.). Z kolei spadek zaobserwowano na 5,2 proc. terytorium kraju.

Najintensywniejszego pojaśnienia doświadczyła Małopolska (radiancja wzrosła na 40 proc. powierzchni tego województwa, spadła na 8 proc.), najmniejszego – Podkarpacie (wzrost na 13 proc. obszaru województwa, spadek na 4 proc.). W każdym z województw obszarów jaśniejących było 2–9 razy więcej niż ciemniejących. Gdy spojrzeć na gminy, wzrost radiancji dominował aż w 1927 z nich (78 proc. ogółu).

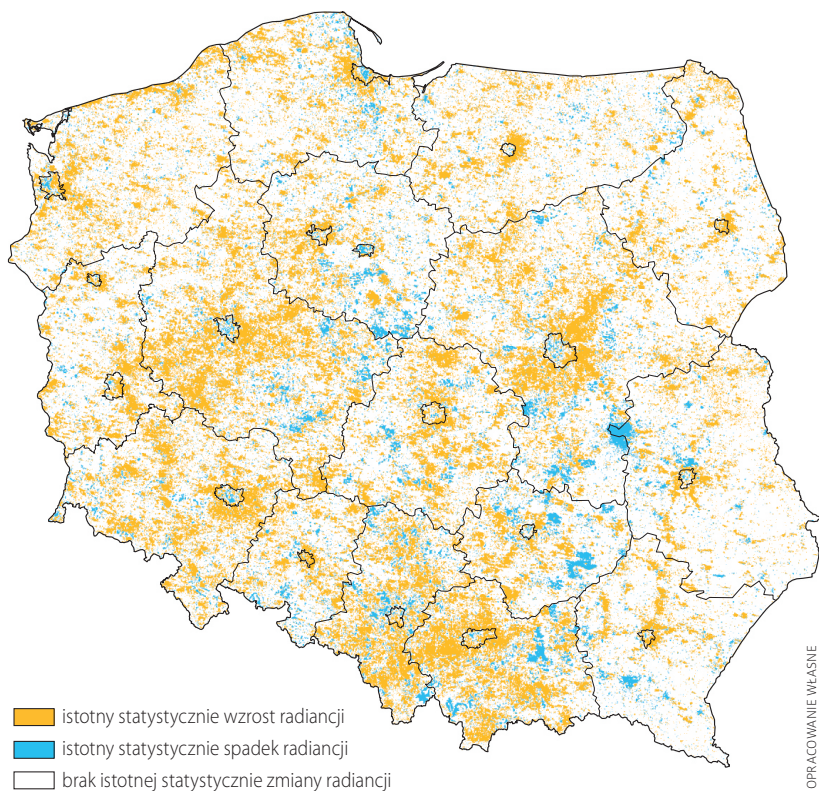
Przytoczone statystyki należy uznać za scenariusz optymistyczny. VIIRS nie jest bowiem czuły na cały zakres światła, lecz jedynie jego niskoenergetyczną część. Ujmując to liczbami: VIIRS rejestruje promieniowanie w zakresie 500–900 nm, podczas gdy światło to fale w przedziale 380–780 nm. Satelitarne oko VIIRS nie widzi więc światła niebieskiego, obecnego m.in. w coraz powszechniej stosowanym oświetleniu LED. Niektóre obszary oznaczone przez VIIRS jako nieznacznie ciemniejące lub bez wyraźnego trendu w rzeczywistości najprawdopodobniej również pojaśniały.

Polska jaśnieje

Wróćmy na Ziemię. Stopień zanieczyszczenia światłem możemy szacować także z jej powierzchni, patrząc na niebo. Światło, zanim trafi w kosmos, musi bowiem przejść przez atmosferę, w której jest rozpraszane przez powietrze, aerozole i chmury. W ten sposób nocne niebo, które powinno być czarne, nienaturalnie jaśnieje, a nad miastami powstaje charakterystyczna łuna. W określaniu jej intensywności (a więc i stopnia zanieczyszczenia światłem) pomagają obserwacje fotometryczne.

Pomiar fotometryczny jest pomiarem punktowym i informuje o jasności nieba wyłącznie nad miejscem dokonywania obserwacji. By uzyskać dane dla całej Polski, konieczne jest modelowanie jasności nieba.

Jasność nocnego nieba nad Polską w 2022 roku



Tendencja zmiany intensywności emisji światła w niebo. Wyrażona przez różnicę wartości radiancji w 2022 roku i wartości przeciętnej w dekadzie 2012–2021

Umożliwia to model transferu promieniowania, opracowany przez włoskich astronomów Fabio Falchiego i Pierantonio Cinzana. Model jest zasilany danymi VIIRS, które wskazują intensywność i lokalizację źródeł światła. Finalne szacunki są kalibrowane punktowymi, naziemnymi pomiarami fotometrycznymi z lokalizacji na całym świecie.

Opracowana w taki sposób mapa pokazała, że typowe bezchmurne nocne niebo nad Polską w 2022 roku było średnio 147 proc. jaśniejsze niż w warunkach braku zanieczyszczenia światłem. Najciemniejsze niebo można było zaobserwować nad Bieszczadami, choć i tak było ono tam 6–8 proc. jaśniejsze niż niebo naturalne. Co za tym idzie – to naturalne w Polsce już w ogóle nie występuje. Im bliżej skupisk ludzkich, tym nocny nieboskłon jaśniejszy. Skrajnym przypadkiem jest Warszawa, konkretnie okolice pł. Defilad, nad którymi w 2022 roku nocne niebo było aż 6329 proc. jaśniejsze niż niebo naturalne.

Po zestawieniu mapy sztucznego rozjaśnienia nieba z mapą zaludnienia Polski okazało się, że aż 58 proc. populacji kraju ma nad sobą niebo tak jasne, że nie sposób dostrzec na nim Drogi Mlecznej. Pod tym względem sytuacja jest najgorsza w województwie śląskim (89 proc. populacji nie widzi tam nocą naszej galaktyki) i mazowieckim (72 proc.). Najlepsza na Podkarpaciu (28 proc.).

Nad 0,7 proc. powierzchni naszego kraju niebo jest jednak jeszcze jaśniejsze – tam nie tylko nie widać Drogi Mlecznej, większości gwiazd, ale w ogóle nie

widać nocy! Intensywność świecenia nocnego nieba jest na tyle duża, że ludzkie oczy nie wchodzi w typowy dla nocy (skotopowy) tryb widzenia. To tak, jakby noc nigdy nie nastawała, a wraz z nią warunki, których organizmy żywe (w tym ludzie) potrzebują do należytego wypoczynku i regeneracji.

Wydawać by się mogło, że 0,7 proc. powierzchni kraju to niewiele. Są to jednak tereny najgęściej zaludnione, w efekcie czego problem dotyczy aż 20 proc. Polek i Polaków. Niemal wszystkich mieszkańców Warszawy, Łodzi, Poznania, Krakowa, Gdańska, Lublina.

Jak w przypadku VIIRS tak i tu scenariusz jest optymistyczny. Modelowe szacunki dotyczą bowiem tylko nieba w zenicie (prosto nad naszymi głowami) oraz wyłącznie nocy bezchmurnych. Im dalej od zenitu, tym niebo zazwyczaj jest jaśniejsze, więc w rzeczywistości doświadczamy znacznie jaśniejszego nieboskłonu. Pojawienie się chmur dodatkowo zwiększa jasność nieba kilka, kilkanaście, a nawet kilkadziesiąt razy. Ponieważ bezchmurne niebo nad Polską jest raczej rzadkością, faktyczna skala zanieczyszczenia światłem jest w naszym kraju większa, niż wynika z map jasności nieba.

Analizy przeprowadzone w Centrum Badań Kosmicznych PAN prowadzą do konkluzji, że zanieczyszczenie światłem w Polsce jest zjawiskiem powszechnym i się nasila. Wskazały na to zarówno obserwacje satelitarne, jak i dane o sztucznym rozjaśnieniu nieboskłonu.

Z punktu widzenia zdrowia Polek i Polaków trudno nad taką diagnozą przejść do porządku dziennego. A jednak przechodzimy. Polski system prawny nie uznaje nadmiarowego światła za zanieczyszczenie, w odróżnieniu od np. toksyn, szkodliwych gazów i pyłów, smogu, ścieków, hałasu – w równym stopniu szkodzących naszemu zdrowiu.

Ustawy oczywiście można zmienić. Ale wcześniej powinna zmienić się mentalność społeczeństwa. Musimy przełamać pewną psychologiczną barierę. Kulturowo wpaja się w nas, że światło oznacza dobro, a ciemność zło. Zła trzeba unikać, zwalczać je. W takim kontekście noc staje się naszym wrogiem. Badania dowodzą, że jest wręcz przeciwnie. Naturalnie ciemna noc to nasz sojusznik, oaza, w której ludzkie ciała regenerują się i nabierają sił do zdrowej aktywności za dnia.

Co zatem powinno być receptą na przypadłość znaną jako zanieczyszczenie światłem? Bynajmniej nie wyłączenie wszelkich instalacji oświetleniowych po zmroku! Rozwiązania należy szukać w polityce zrównoważonego oświetlenia, czyli takiego, które zapewni nam oszczędności, komfort i bezpieczeństwo po zachodzie Słońca, ale nie kosztem zdrowia ludzi i kondycji ekosystemu. Jak głosi stare porzekadło – co za dużo, to niezdrowo. Wiemy już, że dotyczy to także światła. ■

Chcesz wiedzieć więcej?

Bogard P., *The End of Night: Searching for Natural Darkness in an Age of Artificial Light*, 2014.

Eklöf J., *Manifest ciemności. O sztucznym świetle i zagrożeniu dla odwiecznego rytmu dobowego*, 2024.

Zanieczyszczenie światłem *Polsce. Raport 2023*, A.Z. Kotarba (red.), 2023, lptt.org.pl