

Orbitalny system oświetlenia metropolitalnego

Streszczenie. *Możliwe jest takie rozmieszczenie na orbicie okołoziemskiej satelitów wyposażonych w zwierciadła odbijające promieniowanie słoneczne by zapewnić odpowiednie warunki oświetlenia wybranych aglomeracji. Przeanalizowane zostały możliwości wyboru określonych wysokości orbit, obliczona wymagana wielkość zwierciadeł i przeanalizowane skutki działania systemu.*

Abstract. *It is possible to locate Earth's satellites equipped with mirrors reflecting sunlight to provide adequate lighting conditions for urban areas. The opportunities of orbit heights selection were analyzed, required mirror sizes were calculated and the impact of the system work was shown. (Metropolitan Orbital Lighting System (MOLS)).*

Słowa kluczowe: satelita, zwierciadło, oświetlenie, metropolia.

Keywords: satellite, mirror, lighting system, metropolis.

Wstęp

Potrzeba dbania o środowisko naturalne zmusza do poszukiwania we wszystkich dziedzinach życia, także w oświetleniu, rozwiązań oszczędzających energię elektryczną. Oświetlenie zewnętrzne, a w szczególności oświetlenie dróg w aglomeracjach miejskich jest znaczącym odbiorem energii. Znacząca redukcja zużycia energii elektrycznej w tej dziedzinie byłaby wyraźnie odczuwalna dla środowiska naturalnego. Trzeba w tym momencie zadać pytanie jak daleko można się posunąć, jak bardzo można ograniczyć zużycie energii bez uszczerbku dla jakości życia w mieście. Odpowiedź jest prosta, choć nie oczywista. Najbardziej oszczędnym systemem jest taki, który do swojego działania w ogóle nie potrzebuje zasilania w energię, a w swojej pracy wykorzystuje jedynie czynniki naturalne istniejące w otoczeniu.

W przypadku chęci realizacji super ekologicznego oświetlenia potrzebujemy znaleźć źródło światła, które nie będzie potrzebowało dostarczania energii elektrycznej podczas pracy. Jedynym, pozostającym w zasięgu możliwości technicznych takim źródłem światła jest Słońce. Problem jednak jest w tym, że w nocy znajduje się ono po drugiej stronie Ziemi i przesłanie jego światła w odpowiednie miejsce w odpowiedniej ilości nie jest proste. Magazynowanie światła poprzez zamianę go w energię elektryczną jest już realizowane przez układy ogniw słonecznych i akumulatorów. Proces ten jest na tyle mało efektywny i w efekcie drogi, że opłacalny tylko tam, gdzie doprowadzenie linii zasilającej jest jeszcze droższe. Budowa systemu, który przesyłałby światło na bieżąco, bez jego przetwarzania i magazynowania byłby najbardziej wydajny, jednak wymaga stworzenia odpowiednich urządzeń kierujących światło słoneczne z obszarów oświetlonych w obszary znajdujące się po ciemnej stronie Ziemi. Realizacja tego pomysłu wymaga budowy olbrzymich światłowodów, które opłatałyby całą kulę ziemską nie pozostawiając miejsca do życia ludziom, a tym bardziej innym stworzeniom lub sięgnięcia po technologię kosmiczną. To ostatnie rozwiązanie zaczyna być w zasięgu możliwości technicznych ludzkości.

Idea systemu

Jedną z dzieciennych zabaw znanych zapewne każdemu dorosłemu jest puszczanie „zajaczków” przy użyciu lusterka. Tę niewinną zabawę, zaprzęgając do pracy przemysł kosmiczny, można wykorzystać w skali globalnej do darmowego oświetlenia wybranych miast. W tym celu należy na orbicie okołoziemskiej umieścić satelity wyposażone w odpowiednio duże zwierciadła, które będą odbijały promienie słoneczne kierując je w wybrane punkty

Ziemi. Wielkość i położenie zwierciadeł zależą od wymaganego poziomu oświetlenia danego obszaru, jego wielkości, położenia geograficznego i założonego cyklu oświetlenia. Brzmi nierealnie? Nie bardziej niż w momencie ogłaszania w 1945 roku teoria sir Arthura Charlesa Clarke'a stanowiąca dziś podstawę doskonale funkcjonującej łączności globalnej [1]. Obecne tempo rozwoju technologii podróży okołoziemskich daje szansę, by taki system powstał za kilka może kilkanaście lat. Został on nazwany orbitalnym systemem oświetlenia metropolitalnego (ang. Metropolitan Orbital Lighting System w skrócie MOLS).

Światło słoneczne docierające do orbity ziemskiej pada na satelitę wyposażonego w odpowiednio duże i właściwie nakierowane płaskie zwierciadło, odbija się od niego i pokonując warstwę ziemskiej atmosfery dociera do oświetlanego obszaru. Od wzajemnych zależności położenia Słońca i Ziemi, położenia satelity względem oświetlanego miejsca oraz wielkości i nakierowania zwierciadła zależy kąt oświetlenia powierzchni Ziemi i rozmiar oświetlanego pola. Na uzyskany poziom oświetlenia ma wpływ dodatkowo przepuszczalność ziemskiej atmosfery.

Analizując wzajemne relacje geometryczne poszczególnych elementów systemu należy pamiętać, że ulegają one nieustającym zmianom w cyklu zarówno dobowym jak i rocznym. Oś obrotu Ziemi nachylona jest do osi orbity okołoziemskiej o kąt równy $23,44^\circ$. Powoduje to roczne cykle zmian kąta oświetlenia powierzchni Ziemi skutkujące zmianami pór roku. Ziemia wykonuje pełny obrót w 23 godziny, 56 minut i 4 sekundy. Nakładając go na ruch obrotowy dookoła Słońca uzyskuje się czas trwania doby równy 24 godziny.

Mogą być rozważane dwa cykle oświetlenia: całonocny, gdy system orbitalny dostarcza światła przez całą noc od zmierzchu do świtu oraz okresowy, dostarczający światła tylko wieczorem przedłużając zmierzch i rano przyspieszając świt. Każdy z cykli wymaga wprowadzenia innych założeń geometrycznych. Istnieje wiele dogodnych orbit, z czego trzy zasługują na szczególną uwagę.

Całonocny cykl pracy systemu wymaga, by zwierciadło orbitalne nigdy nie znalazło się w cieniu Ziemi. W cyklu okresowym wyłączenie światła mogłoby być realizowane poprzez obrócenie zwierciadła tak, by odbijało promienie poza Ziemię lub właśnie poprzez przejście zwierciadła przez cień Ziemi lub takie ich rozmieszczenie na orbicie, by w środku nocy żadne z nich nie oświetlało wyznaczonego rejonu.

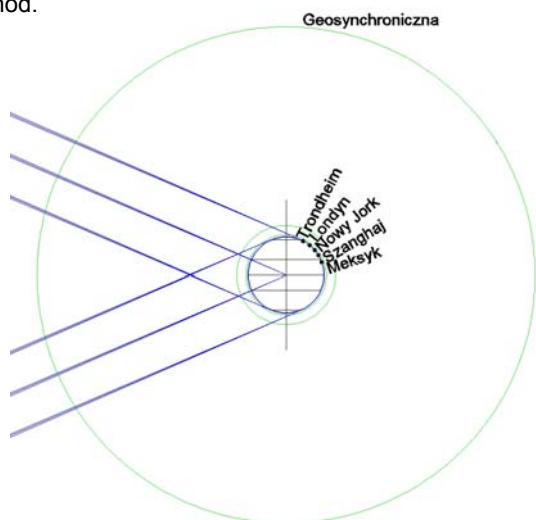
W celu uproszczenia analizy zostało przyjęte wstępne założenie, że orbita, po której porusza się satelita jest kołowa, a ruch jednostajny. Wykorzystanie orbity

eliptycznej, na której ruch nie jest jednostany, co prawda daje pewne korzyści ale równocześnie pociąga za sobą dodatkowe konsekwencje konstrukcyjne i obliczeniowe.

Satelita zwierciadlany musi być umieszczony na orbicie okołoziemskiej nachylonej względem równika o wybrany kąt, wynikający z oczekiwań jego położenia nad powierzchnią Ziemi w określonych momentach. Zarówno średnia prędkość liniowa jak i kątowa satelity zależy od wysokości orbity. Prędkość chwilowa zależy jeszcze od mimośrodowości orbity i aktualnego położenia na niej satelity. Satelita ze zwierciadłem musi znaleźć się możliwie jak najbardziej pionowo nad oświetlanym punktem w określonych momentach. W związku z tym nie może przyjmować dowolnej orbity. Powinien znajdować się na orbicie geosynchronicznej lub jednej z orbit harmonicznych o takim nachyleniu, by przechodziła nad oświetlanym obszarem.

Najlepsze warunki wykorzystania promieniowania słonecznego uzyskuje się, gdy na oświetlaną powierzchnię świeci się pionowo z góry. Poza równikiem jest to jednak niemożliwe do zrealizowania przez cały czas oświetlania, ponieważ orbita, na której może być umieszczone zwierciadło musi dwukrotnie przejść przez płaszczyznę równika, a czas przebywania nad każdą z półkul jest w przybliżeniu równy. Optymalnym wydaje się być układ, w którym satelita w najwyższym punkcie swojej trajektorii będzie znajdował się pionowo nad oświetlanym miejscem.

Umieszczenie satelity na kołowej orbicie geosynchronicznej spowoduje, że będzie on znajdował się przez całą dobę na pozycji o stałej długości geograficznej, a jego położenie na niebie będzie oscylować w kierunku północ - południe. Jeżeli satelita znajdzie się na orbicie eliptycznej dojdzie jeszcze oscylacja w kierunku wschód - zachód.



Rys 1. Rozmieszczenia wybranych do analizy miast wzdłuż południka

Umieszczenie satelity na niższej orbicie spowoduje, że będzie on obiegał Ziemię w krótszym czasie niż doba. Dla obserwatora umieszczonego w oświetlanym punkcie będzie on wschodził i zachodził. Dobierając odpowiednio wysokość orbity można spowodować, że wschody i zachody satelity każdego dnia będą następować o tej samej porze. Jeżeli satelita będzie krążył z prędkością 3 obrotów wokół Ziemi na jeden jej obrót będą następowały dwa szczytowania satelity w ciągu 12 godzin.

Do analizy zostały wybrane trzy punkty charakterystyczne: przesilenie letnie, przesilenie zimowe i równonoc wiosenna i jesienna. Rozważania można jednak ograniczyć do momentu przesilenia zimowego, jako

najtrudniejszego momentu do oświetlania miast położonych na półkuli północnej. Pozostałe punkty są analizowane tylko kontrolnie.

W celu zobrazowania sytuacji wybrane zostało 5 miast znajdujących się na półkuli północnej: Trondheim (63°23'N) jako miasto położone najbliższej koła podbiegunowego, Londyn (51°30'N), Nowy Jork (40°43'N) jako miasta leżące w szerokościach średnich, Szanghaj (31°12'N) leżący blisko zwrotnika i Meksyk (19°25'N) leżący między zwrotnikiem a równikiem. Położenie poszczególnych wybranych miast na uśrednionym południku przedstawia rysunek 1.

Orbita geosynchroniczna

Pierwszym rozważanym układem jest umieszczenie satelity na orbicie geosynchronicznej. Ma ona promień 42 160 km, czyli znajduje się na wysokości 35 786 km nad powierzchnią Ziemi. Satelita znajdujący się na niej oscyluje wokół stałego punktu na Ziemi. Amplituda oscylacji względem długości geograficznej zależy od mimośrodowości orbity, dla orbity kołowej wynosi ona zero. Amplituda oscylacji względem szerokości geograficznej zależy od nachylenia orbity względem płaszczyzny równika ziemskiego. Dla miast położonych powyżej 32°56' szerokości geograficznej (Trondheim, Londyn, Nowy Jork) satelita, który w zenicie jest pionowo nad miastem nigdy nie wchodzi w cień Ziemi. Dla miast położonych między zwrotnikiem a 33 stopniem szerokości geograficznej (Szanghaj) zwierciadło przechodzące pionowo nad miastem w okresie zimowym przejdzie przez cień Ziemi. Dla miast leżących pomiędzy zwrotnikami (Meksyk) zależnie od pory roku satelita przechodzi nad, przez lub poniżej cienia rzucanego przez Ziemię.

Jeśli orbita będzie pochylona względem równika o kąt równy szerokości geograficznej oświetlanego punktu w szczytowym momencie satelita będzie w zenicie. Można dobrać położenie orbity tak, by szczytowanie następowało dokładnie o północy. Przejście satelity przez płaszczyznę równika będzie wtedy następowało o godzinie 18 i 6. Między tymi godzinami wybrany obszar będzie oświetlany. Przy takim wyznaczeniu orbity dla Trondheim, Londynu i Nowego Jorku jest ona zawsze oświetlona światłem słonecznym. W przypadku Szanghaju w okresie otaczającym przesilenie zimowe satelita będzie na krótko wchodził w cień Ziemi. Satelita oświetlający Meksyk pionowo z góry będzie przechodził przez cień Ziemi przez około 100 nocy w roku.

Płaszczyzna orbity może być pochylona o kąt większy niż szerokość geograficzna oświetlanego punktu, wtedy satelita będzie w zenicie dwa razy jednej nocy, pomiędzy którymi będzie odchyłony w kierunku bieguna północnego. Godzina stanięcia w zenicie będzie zależała od kąta nachylenia orbity i szerokości geograficznej oświetlanego punktu. Orbita satelity oświetlającego każde z miast może być tak ustalona, by oświetlenie działało przez całą noc.

Orbita niska

Satelitę ze zwierciadłem można umieścić na orbicie niższej, o znacznie krótszym czasie obiegu. Będzie się on przemieszczał względem oświetlanego punktu z zachodu na wschód. Wysokość orbity nie jest jednak dowolna. Oczekiwanie, że satelita będzie pojawiał się nad oświetlanym punktem każdej nocy o tej samej porze powoduje, że orbita musi mieć czas obiegu harmoniczny z czasem obrotu Ziemi.

Najniższa możliwa do wykorzystania orbita, na której satelita nie przechodzi przez cień Ziemi, a w zenicie jest dokładnie w pionie nad oświetlanym punktem zależy od szerokości geograficznej oświetlanego miejsca. Jednak ze względu na powtarzalność przechodzenia satelity przez

zenit w wyznaczonych momentach powinna zostać wybrana orbita o okresie będącym podwielokrotnością doby. Dla poszczególnych miast minimalna wysokość orbity, czas jej obiegu oraz dane orbity użytecznej podane są w tabeli 1.

Tabela 1. Położenie minimalnych i optymalnych orbit zwierciadeł

miasto	Wysokość	czas	Wysokość	czas	liczba satelitów
	[tys. km]	obiegu [h]	[tys. km]	obiegu [h]	
	minimalna	minimalny	użyteczna	użyty.	użyty.
Trondheim	3,77	2,8265	4,19	3	5
Londyn	7,52	4,5303	10,39	6	3
Nowy Jork	15,77	9,1132	20,24	12	2
Szanghaj	45,18	32,6667	60,68	48	2
Meksyk	Nie istnieje				

Wymóg realizacji oświetlenia przez całą noc wymaga zastosowania kilku satelitów nierównomiernie rozmieszczonych wokół Ziemi. Należy zwrócić uwagę, że tak określona orbita niska dla Szanghaju znajduje się znacznie wyżej niż orbita geosynchroniczna.

Orbita 13 920 km

Ciekawie zachowa się satelita wykonujący trzy obiegi dookoła Ziemi w ciągu doby. Odpowiednie zsynchronizowane położenia satelity z położeniem oświetlanego punktu spowoduje, że będzie on szczytował dwa razy na dobę. Pora widzialności go na niebie i szczytowania będzie zależała od pochylecia orbity i położenia punktu oświetlanego. W przypadku takiej orbity, o okresie obiegu 7 godzin, 58 minut 41 sekund płaszczyzna orbity powinna być bardzo mocno pochylona względem płaszczyzny równika, wręcz powinna przebiegać ponad biegunami. Układ taki spowoduje, że oświetlenie będzie działało w godzinach wieczornych i porannych, a w środku nocy będzie naturalnie wygaszone. W przypadku poszczególnych miast pory wschodów i zachodów satelity są różne. Na przykład dla Londynu (rysunek 2) i orbity przebiegającej nad biegunem oświetlenie będzie działało od około 17:30 do około 20:30 i od około 3:30 do około 6:30. Dane dla pozostałych miast zawiera tabela 2. Godziny podawane są według czasu słonecznego. Realizacja oświetlenia przez całą noc wymaga zastosowania kilku (co najmniej 2 lub 3) satelitów o odpowiednio przesuniętych orbitach.

Tabela 2. Pory wschodów i zachodów satelity na orbicie 13 920 km

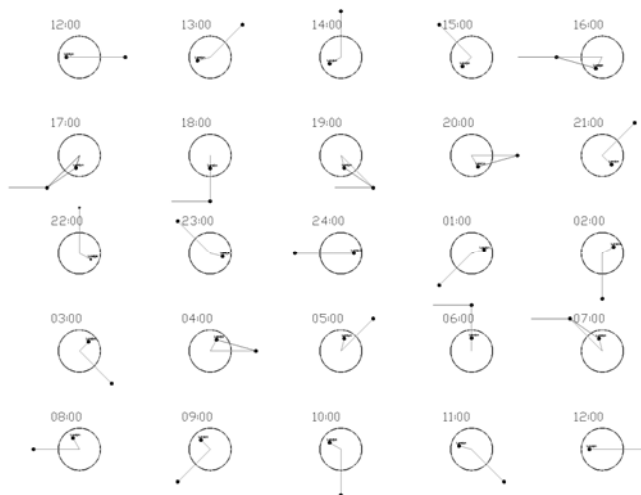
miasto	godzina wschodu wieczorne -go	godzina zachodu wieczorne -go	godzina wschodu poranne -go	godzina zachodu poranne -go
Trondheim	17:50	20:50	3:10	6:10
Londyn	17:30	20:30	3:30	6:30
Nowy Jork	17:20	20:20	3:40	6:40
Szanghaj	17:05	20:05	3:55	6:55
Meksyk	16:50	19:50	4:10	7:10

Wielkość oświetlanego terenu

Wielkość plamy świetlnej zależy przede wszystkim od wysokości orbity, na której znajduje się zwierciadło i kąta pomiędzy kierunkiem pionowym przechodzącym przez centralny punkt oświetlanego obszaru a kierunkiem do satelity. Jej szerokość w kierunku prostopadłym do linii rzutu orbity na powierzchnię Ziemi będzie w przybliżeniu stała, za to długość mierzona wzdłuż tej linii będzie zmieniała się w funkcji kąta, pod jakim promienie świetlne padają na powierzchnię Ziemi.

Zakładając, że zwierciadło można traktować jako punktowe w porównaniu do wielkości Słońca i odległości od

powierzchni Ziemi plama będzie przyjmowała kształt elipsy o małych zmianach długości osi małej i wysokozmiennym mimośrodkie. W celu uzyskania rzeczywistych rozmiarów oświetlanego obszaru do wymiarów teoretycznych, wyznaczonych dla zwierciadła punktowego należy dodać rozmiar zwierciadła.



Rys. 2. Ruch Londynu i satelity na orbicie na wysokości 13 920 km. Fazy co 1h



Rys. 3. Zarys plam świetlnych wokół Londynu i Nowego Jorku. Okrąg czerwony oznacza granicę plamy od zwierciadła na orbicie niskiej, okrąg niebieski oznacza granicę plamy od zwierciadła na orbicie na wysokości 13 920 km.

Szerokość wiązki świetlnej na wysokości powierzchni Ziemi uzyskanej przy użyciu zwierciadła na orbicie geosynchronicznej wynosi 335 km. Szerokości wiązek dla niskich orbit oświetlających poszczególne miasta zawiera tabela 3. Wiązka światła realizowana przez zwierciadło umieszczone na orbicie 13 920 km ma szerokość 130 km. Rysunek 3 przedstawia wielkość oświetlanego pionowo z góry obszaru wokół a) Londynu, b) Nowego Jorku.

Wielkość zwierciadeł

Uzyskiwane natężenie oświetlenia na powierzchni ziemi zależy od wielkości zwierciadła, wysokości orbity i kąta pomiędzy kierunkiem pionowym w centrum oświetlanego obszaru a kierunkiem do środka zwierciadła oraz stanu przejrzystości atmosfery. Aby obligatoryjnie nie narzucać realizowanego poziomu oświetlenia obliczenia zostały przeprowadzone w przeliczeniu na 1 lx. Tabela 3 zawiera powierzchnię zwierciadła wymaganą do zrealizowania oświetlenia przy oświetleniu pionowym i idealnej przejrzystości atmosfery. Wymiary uwzględniają kąt nachylecia zwierciadła względem kierunku łączącego środek Słońca ze zwierciadłem.

Tabela 3. Wielkość (średnica) oświetlanego pola, wielkość (powierzchnia) zwierciadeł na orbicie niskiej i geosynchronicznej realizujących natężenie 1 lx na powierzchni Ziemi.

Miasto	Położenie	minimalna średnica oświetlanego pola z orbity niskiej	minimalna powierzchnia zwierciadła na orbicie niskiej	minimalna powierzchnia zwierciadła na orbicie 13 920 km	Minimalna powierzchnia zwierciadła na orbicie geosynchronicznej
		[km]	[m ² / lx]	[m ² / lx]	[m ² / lx]
Trondheim	63°23'	35	9 422	128521	849143
Londyn	51°30'	70	33 014	113120	747384
Nowy Jork	40°43'	147	134 049	104443	690053
Szanghaj	31°12'	334	981 198	101125	668127
Meksyk	19°25'	334	85960	100124	661513

Z obliczeń wynika, że powierzchnia zwierciadła umieszczonego na orbicie geostacjonarnej przypadająca na 1 lx natężenia w warunkach idealnych w zależności od położenie oświetlanego obszaru powinna wynosić kwadrat o boku 813 do 922 metrów. W przypadku orbity na wysokości 13 920 km rozmiar ten jest zdecydowanie mniejszy i wynosi kwadrat o boku 316 – 358 metrów. Wielkość zwierciadła na orbicie niskiej jest bardzo zależny od położenia oświetlanego obiektu i zmienia się od kwadratu o boku 97 m dla Trondheim do kwadratu o boku 991 m dla Szanghaju.

Obliczona wartość jest minimalną powierzchnią zwierciadła realizującą założone natężenie w idealnych warunkach przy idealnie pionowym świeceniu. Do obliczenia rzeczywiście wymaganej powierzchni zwierciadła należy uwzględnić rzeczywiste warunki oświetleniowe. Natężenie oświetlenia maleje z kosinusem kąta padania światła na powierzchnię. Przezroczystość czystej, niezachmurzonej atmosfery ziemskiej przy padaniu promieniowania prostopadle do powierzchni Ziemi wynosi około 0,8. Wraz ze wzrostem kąta padania rośnie długość drogi światła przebytej w atmosferze. Wzrost ten jest także w przybliżeniu proporcjonalny do kosinusa kąta. Natomiast kąt ten zmienia się w szerokim zakresie, zależnym od parametrów geometrycznych orbity.

Z danych literaturowych [2] wiadomo, że natężenie oświetlenia przy pełnym zachmurzeniu może wynosić 0,1 wartości mierzonej przy pełnym nasłonecznieniu. Należy spodziewać się co najmniej 10-krotnych zmian natężenia oświetlenia pomiędzy nocą bezchmurną i przy pełnym, ciężkim zachmurzeniu.

Przyjmując warunki graniczne należy brać pod uwagę konieczność zastosowania 50 razy większych zwierciadeł niż obliczone teoretycznie.

Wnioski

Realnym wydaje się zastosowanie zwierciadła na niskiej orbicie, które w obszarach okołobiegunowych rozświetlałoby stosunkowo niewielki obszar wokół miast przez całą noc lub wydłużałoby zmierzch i przyśpieszały świt w obszarach szerokości średnich i okołozwrotnikowych. W przypadku tak umieszczonych zwierciadeł można tak dobrać orbity, by oświetlenie było wygaszane w środku nocy poprzez przejście satelitów przez cień Ziemi. Wielkość plamy światła w przybliżeniu odpowiada rozmiarom takich miast jak Londyn czy aglomeracja Nowego Yorku.

Zastosowanie zwierciadła na orbicie geosynchronicznej pociągnęłoby zbyt poważne konsekwencje ekologiczne. Oświetlony obszar ma średnicę co najmniej 334 kilometrów, czyli jest porównywalny z ¼ powierzchni Polski. Poza tym wymagałoby to skonstruowania zwierciadła o bardzo dużej powierzchni. Przy założeniu wartości natężenia oświetlenia

na poziomie 10 lx na powierzchni Ziemi w warunkach idealnych potrzebne byłoby zwierciadło o wymiarach 7 x 7 km lub o średnicy 8 km.

Wprowadzenie zwierciadeł na eliptyczną orbitę geosynchroniczną pozwoliłoby na chwilową zmianę ich wysokości zawieszenia nad Ziemią. Wykorzystanie takiej orbity, by satelita w zenicie znajdował się w perygeum pozwoliłoby obniżyć jego wysokość nad Ziemią, a tym samym zmniejszyć oświetlany obszar i zmniejszyć wymagany rozmiar zwierciadła. Należy jednak pamiętać, że perygeum jest punktem, w którym satelita porusza się z największą prędkością.

System zastosowany w odniesieniu do największych aglomeracji na świecie niewątpliwie dałby znaczące oszczędności energetyczne. Uzyskanie dzięki niemu ograniczenie czasu pracy oświetlenia elektrycznego nie mówiąc o całonocnym wyłączeniu spowodowałoby zmniejszenie zapotrzebowania na energię liczone w gigawatogodzinach rocznie.

Analizując przesłanki za i przeciw instalacji systemu oświetlenia satelitarnego należy brać pod uwagę skutki środowiskowe. Na niebie pojawiłby się obiekt o co prawda niewielkim rozmiarze kątowym, wynoszącym około 40 sekund kątowych (1/50 rozmiaru tarczy Słońca), jednak o bardzo wysokiej, porównywalnej ze słoneczną luminancją. Obiekt ten realizowałby mierzalne natężenie oświetlenia. Będzie on widoczny nie tylko na oświetlanym obszarze ale także daleko poza nim, choć ze znacznie mniejszą luminancją. Należy zastanowić się jak wpłynie on na życie nie tylko ludzi ale także innych organizmów żywych. Jak będzie wyglądało życie populacji ludzi niezaznajających mroku, jak to odbije się na ich psychice. Należy pamiętać, że oświetlenie to będzie oddziaływało na wszystkie objekty w oświetlanym polu bez możliwości ich zacielenia. W związku z tym trzeba postawić pytanie, czy nie zaburzy on metabolizmu roślin rosnących na oświetlanym obszarze i jak wpłynie na życie i orientację w przestrzeni zwierząt nocnych.

Przed podjęciem decyzji o realizacji pomysłu nawet, gdy jego realizacja stanie się wykonalna i ekonomicznie uzasadniona należy dobrze rozważyć, czy tak pomyślana energooszczędność nie przyniesie więcej szkody niż pożytku.

LITERATURA

- [1] Clarke A. C. "Extra-Terrestrial Relays — Can Rocket Stations Give Worldwide Radio Coverage?" *Wireless World*, October 1945
- [2] Illuminating Engineering Society: *The Lighting Handbook*, Tenth Edition: Reference & Application, IESNA, New York, 2011

Autorzy: dr inż. Sławomir Zalewski, Politechnika Warszawska, Instytut Elektroenergetyki, ul. Koszykowa 75, 00-661 Warszawa, E-mail: slawomir.zalewski@ien.pw.edu.pl.