

Tadeusz Sidor

Wyższa Szkoła Zarządzania Ochroną Pracy w Katowicach
Katedra Podstaw Techniki i Jakości
ul. Bankowa 8, 40-007 Katowice

Aspekty ekonomiczne instalowania alternatywnych źródeł oświetlenia u indywidualnych odbiorców energii elektrycznej

Economical aspects of installing alternative sources of light at
the premises of private consumers of electricity

Streszczenie

Alternatywne źródła światła wykorzystują inne niż tradycyjne sposoby generowania światła, dlatego można je zaliczyć do kategorii Alternatywnych źródeł energii, gdyż ich zastosowanie powoduje zmniejszenie zużycia energii pozyskiwanej metodami klasycznymi.

O ile duże inwestycje w alternatywne źródła energii mogą liczyć na wsparcie finansowe z różnych funduszy, to zastępowanie klasycznych źródeł światła (żarówek) przez inne energooszczędne źródła światła jest zazwyczaj finansowane przez indywidualnych odbiorców energii.

Dlatego bardzo istotny jest w takim przypadku rachunek ekonomiczny. Energooszczędne źródła światła są bowiem znacznie droższe niż klasyczne żarówki i powstaje wątpliwość czy zysk z oszczędności energii pokryje koszt zakupu takiego zamiennika.

Poniższy artykuł przedstawia przybliżoną analizę ekonomiczną opłacalności zastępowania klasycznych źródeł światła przez źródła alternatywne.

Słowa kluczowe: *alternatywne źródła światła, rachunek ekonomiczny, analiza opłacalności*

Abstract

Alternative light sources employ other than traditional means of generating light, therefore they can be treated as alternative energy sources, as using them leads to saving energy generated by classical methods.

Inasmuch large projects of alternative energy sources usually can count on some financial subsidiary from various funds, but substituting classical light sources by other energy saving devices is usually financed by individuals.

Therefore the economics aspects are very important in this case. Energy saving sources of light are much more expensive than classical bulbs and it might be doubtful whether energy saving would balance the cost of investment.

The paper presents the approximate analysis of economic aspects of substituting classical bulbs by alternative light sources.

Keywords: *alternative light sources, economical analysis*

1. Wprowadzenie

Alternatywne źródła oświetlenia można zaliczyć do kategorii Alternatywnych źródeł energii. Niezależnie od tego jaką interpretację terminu „alternatywne źródła energii” przyjmuje się, istota zastosowania takich źródeł polega na ich wykorzystaniu w celu zmniejszenia zużycia energii pozyskiwanej metodami klasycznymi.

Źródła energii takie jak: energia wiatru, energia geotermalna, energia promieniowania słonecznego są powszechnie dostępne, ale gęstość energii, którą można z nich pozyskać jest niewielka, co wiąże się z bardzo niską mocą takich źródeł. Dlatego żeby uzyskać technicznie przydatne źródła energii, o dużej mocy, niezbędna jest wstępna koncentracja gęstości energii.

Nie ma jednej powszechnie obowiązującej definicji „alternatywnych źródeł energii”. Niektórzy rozumieją pod tą nazwą źródła energii inne niż tradycyjne. W zależności od rodzaju finalnej postaci energii pojęcie „tradycyjnych źródeł energii” może obejmować np. biomasę, węgiel, gaz, ropę naftową, ale także elektrownie ciepłone opalane węglem lub gazem, duże elektrownie wodne i elektrownie jądrowe. Niekiedy pojęcie „alternatywnych źródeł energii” zawęża się jedynie do źródeł odnawialnych.

Stojąc na gruncie I zasady termodynamiki, z której wynika, że energia nie może powstać z niczego istnieją w zasadzie tylko dwa sposoby aby ten cel osiągnąć. Można albo sięgnąć do istniejących darmowych, a niewykorzystywanych, źródeł energii, lub alternatywnie opracować nowe, oszczędne technologie zużycia energii.

Buduje się zatem koncentratory darmowej energii w postaci wirników turbin wiatrowych o dużym promieniu, kolektorów promieniowania słonecznego i wyładowaczy ciepła geotermalnego o dużej powierzchni. Generalnie inwestycje takie są bardzo kosztowne i są zwykle subsydiowane. Do tego typu inwestycji w pełni

odnosi się nazwa „alternatywne źródła energii” i istnieje bogata literatura opisująca różne typy urządzeń wraz z analizą ich opłacalności.

Ponieważ inne urządzenia, które „tylko” optymalizują zużycie energii w istocie spełniają podobną funkcję, można je zatem potraktować jako alternatywne źródła alternatywnej energii. Co prawda nie pozyskują energii z innych źródeł, ale zmniejszają zużycie energii produkowanej metodami klasycznymi.

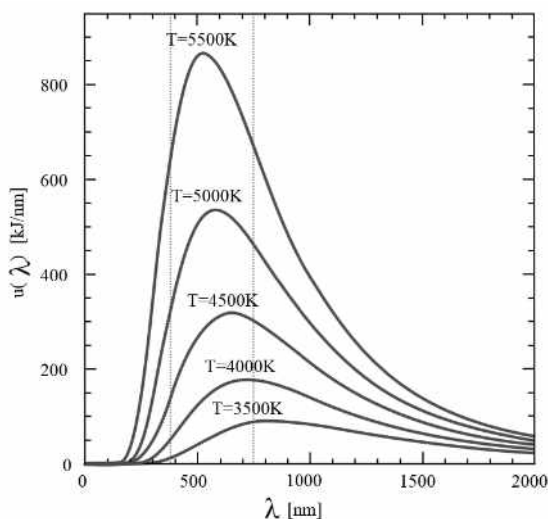
Jest wiele urządzeń tego typu. Są to np. współcześnie produkowane silniki spalinowe, sprzęt AGD, nowoczesne piece z fluidalnymi paleniskami i inne. Wspólną cechą takich urządzeń jest to, że wykorzystują klasyczne paliwa – źródła energii, ale w sposób oszczędny. Nieco inny charakter mają współczesne źródła światła, które również można do takich urządzeń zaliczyć, gdyż wykorzystują zupełnie inną, energooszczędną technologię do wytwarzania światła podobnego do wytwarzanego przez klasyczne żarówki.

Jakość źródeł światła charakteryzuje się za pomocą wielkości nazywanej „skutecznością świetlną” (light efficacy), która jest miarą sprawności z jaką źródło wytwarza światło widzialne z energii elektrycznej. Jednostką skuteczności świetlnej jest lumen/wat [lm/W] tj. stosunek strumienia światła wytwarzanego przez źródło do pobranej z sieci mocy elektrycznej. Wielkość ta różni się od tradycyjnie rozumianej sprawności, która wyrażana jest w procentach energii uzyskiwanej z urządzenia w stosunku do energii pobranej, ponieważ część strumienia świetlnego produkowana przez źródło jest zawsze w paśmie długości fal niewidzialnych dla oka ludzkiego (podczerwień i nadfiolet).

Skuteczność świetlna może być podawana także procentowo, w porównaniu do wartości 683 [lm/W], tj. przypadku źródła idealnego, które całą dostarczoną energię oddaje w zakresie widzialnym światła.

Źródła światła, które działają na zasadzie emisji cieplnej z żarnika, takie jak klasyczna żarówka, mają zwykle niską skuteczność świetlną, gdyż idealny promienNIK najlepiej wytwarza promieniowanie w zakresie fal promieniowania widzialnego w temperaturach bliskich 6500 K. Żadna znana substancja nie wytrzymuje tak wysokich temperatur i nie może być użyta jako żarnik. W niższych temperaturach, takich jakie może wytrzymać żarnik wolframowy (3800 K) większa część emisji żarnika jest w zakresie promieniowania podczerwonego.

Rysunek 1 przedstawia rozkład spektralnej radiacji ciała doskonale czarnego w funkcji temperatury, zgodnie z prawem Plancka.



Rys.1. Rozkład spektralnej radiancji ciała doskonale czarnego w funkcji temperatury. Pionowe linie przerywane wyznaczają pasmo promieniowania widzialnego wg [1]

Fig. 1. Spectral distribution of ideal black body radiation as function of its temperature. The vertical dotted lines mark the band of visible radiation acc. to [1]

Można więc oczekiwać, że inne źródła światła będą miały lepszą skuteczność świetlną.

Istnieje bardzo wiele źródeł światła działających na innej zasadzie. Wydaje się, że należy wprowadzić tu pewne rozgraniczenie. Pewne alternatywne źródła światła mają zastosowanie wyłącznie w specyficznych urządzeniach, lub służą do oświetlania dużych obszarów takich jak obiekty sportowe, place lub ulice miast. Takie źródła są od dawna wykorzystywane i trudno, w takim kontekście, nazywać je źródłami alternatywnymi. Natomiast inne źródła, opracowane i spopularyzowane stosunkowo niedawno pomyślane są jako źródła światła, które mogą zastąpić tradycyjne żarówki. Dlatego są produkowane w kształtach przypominających klasyczne żarówki.

Do takich źródeł można z pewnością odnosić się jako do alternatywnych źródeł energii.

Są to:

- żarówki halogenowe
- miniaturowe świetlówki
- żarówki LED.

Ponieważ takie energooszczędne źródła światła są znacznie droższe niż klasyczne żarówki a ich instalacja jest, poza nielicznymi wyjątkami, finansowana przez indywidualnych odbiorców energii, bardzo ważną kwestią jest opłacalność takich inwestycji i to pod warunkiem, że energooszczędne źródło światła zapewni taki sam komfort świetlny.

Odcienie bieli generowanej przez różne źródła światła określa się podając zastępczą temperaturę bezwzględną danego źródła. Jest to temperatura zastępczego ciała doskonale czarnego, które generuje światło białe o takim samym odcieniu. I tak źródło o odcieniu niebieskim charakteryzuje się temperaturą wyższą (5000 K), a źródło o odcieniu żółto – czerwonym niższą (3000 K).

Dzienne światło słoneczne charakteryzuje się temperaturą około 6500 K i podobnie światło emitowane przez żarówki halogenowe. Tradycyjne żarówki dają światło o niższej temperaturze ok. 2700 K, czyli o odcieniu żółtym. Zwykłe świetlóówki dają światło niebieskawe „zimne” o temperaturze 5000 K i powyżej, a miniaturowe znacznie cieplejsze o temperaturze około 3000 K. Żarówki LED dają światło w szerokich granicach temperatury ok. 2700 K do 3500 K.

Generalnie czas użytkowania współczesnych alternatywnych źródeł światła jest znacznie dłuższy niż klasycznych żarówek, ale zależy też silnie od sposobu ich używania, czyli częstotliwości załączania i wyłączania. Dotyczy to zresztą również klasycznych żarówek. Im częściej źródło światła jest załączane tym czas jego żywotności jest krótszy. Natomiast nie jest zgodny z prawdą, popularny pogląd, że podczas włączania ilość zużytej energii znacznie rośnie i dlatego nie opłaca się załączać i wyłączać oświetlenia zbyt często. Można sformułować pewne zalecenia dla konkretnych typów alternatywnych źródeł światła w zależności od zasady ich funkcjonowania.

2. Najpopularniejsze alternatywne źródła światła

2.1 Żarówki halogenowe

Żarówki halogenowe podobnie jak klasyczne żarówki wykorzystują żarnik wolframowy jako element wytwarzający promieniowanie widzialne, ale dzięki specjalnej mieszaninie gazowej otaczającej żarnik (gaz szlachetny z domieszką halogenu np. jodu) można podgrzewać go do wyższej temperatury (3200 K, wobec 2600 K klasycznej żarówki), co powoduje zwiększenie radiancji w paśmie widzialnym i w konsekwencji poprawę skuteczności świetlnej takich żarówek. Halogen tworzy związek chemiczny z parami wolframu, które krążą w bańce, a następnie w pobliżu żarnika rozpada się na halogen i wolfram, którego cząsteczki zostają z powrotem przeniesione na żarnik. Proces ten nazywa się halogenowym cyklem regeneracyjnym

Ze względu na wyższą temperaturę bańki takich żarówek wykonywane są z kwarcu, a dla bezpieczeństwa żarówki halogenowe zwykle posiadają dodatkową przezroczystą osłonę np. w kształcie przypominającej klasyczne żarówki.

Zaletą lamp halogenowych są niewielkie rozmiary, naturalne i białe światło co jest zdrowe i przyjemne dla ludzkiego oka, szybki zapłon i brak efektu migania światła.

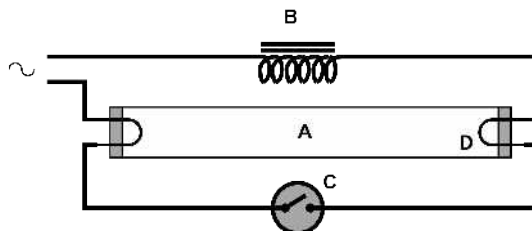
2.2 Miniaturowe świetłówki kompaktowe

Miniaturowe świetłówki, produkowane obecnie w kształtach zbliżonych do klasycznych żarówek, działają na takiej samej zasadzie jak znane i stosowane od lat klasyczne świetłówki liniowe. Procesy wykorzystywane w takich źródłach światła są dosyć skomplikowane. Obudowa szklana świetłówki (rura wyładowcza) wypełniona jest parami rtęci, które pod wpływem przepływu prądu wytwarzają strumień promieniowania głównie w paśmie ultrafioletu. Obudowa świetłówki pokryta jest od wewnątrz warstwą substancji (luminofor), która oświetlona ultrafioletem świeci światłem w paśmie widzialnym.

Rura wyładowcza świetłówki jest pod względem własności elektrycznych elementem silnie nieliniowym. Potrzebuje wysokiego napięcia aby zainicjować wyładowanie a gdy już zapłonie wymaga ograniczenia prądu, który przez nią płynie (znaczej redukcji napięcia). Dlatego, aby wykorzystywać świetłówkę jako źródło światła trzeba wyposażyć każdą świetłówkę w dodatkowe elementy elektroniczne, które z jednej strony umożliwiają zapłon świetłówki a po zapłonie ograniczają wartość prądu.

Zarówno klasyczne świetłówki jak i kompaktowe muszą posiadać takie elementy połączone w układzie elektrycznym przedstawionym na rysunku 2.

Rura wyładowcza A jest wypełniona parami rtęci i posiada na obu końcach katody D wykonane z drutu oporowego. Zapłonnik C jest wypełniony neonem i posiada normalnie rozwarpte elektrody wykonane z bimetalu. Po załączeniu napięcia sieciowego prąd przez rurę wyładowczą nie płynie i pełne napięcie sieciowe pojawia się na elektrodach zapłonnika. Zapłonnik, który jest neonówką o małej szczelinie pomiędzy elektrodami zaświeca się. Temperatura gazu zapłonnika rośnie co powoduje nagrzewanie bimetalu, które zwierają się. Powoduje to gwałtowny wzrost prądu w obwodzie, którego wartość ogranicza dławik B. Ponieważ po zwarciu elektrod zapłonnik gaśnie, temperatura gazu spada, co powoduje po chwili rozwarpcie bimetalicznych elektrod i przerwanie prądu płynącego w obwodzie. Na skutek zjawiska samoindukcji na zaciskach dławika pojawia się impuls wysokiego napięcia, podobnie jak na cewce zapłonowej silnika spalinowego.



Rys. 2. Schemat układu elektrycznego świetłówki wg [1,2]

A – Rura wyładowcza

B – Dławik

C – Zapłonnik

D – Elektrody

Fig. 2. General circuit diagram of fluorescent tube acc. to [1, 2]

A - Fluorescent tube

B - Ballast

C - Starter

D - Filaments

Napięcie to jest na tyle wysokie, że powoduje zapłon rury wyładowczej świetlówki. Napięcie na rurze wyładowczej spada, gdyż jest zmniejszone o spadek napięcia na dławiku, który ogranicza wartość prądu płynącego przez rurę wyładowczą. Napięcie na rurze wyładowczej jest na tyle niskie, że nie powoduje zapłonu zapłonika i stan taki utrzymuje się dopóki napięcie zasilania świetlówki nie zostanie wyłączone.

W miniaturowych świetlówkach kompaktowych tradycyjny zapłonnik został zastąpiony układem elektronicznym realizującym identyczną procedurę zapłonu, a znacznie mniejszy dławik wraz z elektronicznym zapłonikiem jest umieszczony wewnątrz żarówko - podobnej obudowy z gwintem pasującym do klasycznych opravek.

2.3 Żarówki LED (light emitting diodes)

Żarówki LED (light emitting diodes) to źródła światła oparte na diodach elektroluminescencyjnych (LED), umieszczonych w obudowie pozwalającej zastosować je w oprawie oświetleniowej przeznaczonej dla klasycznych żarówek.

Początkowo diody, złącza p-n, wytwarzano wyłącznie jako elementy małej mocy emitujące monochromatyczne (czerwone) promieniowanie elektromagnetyczne, kiedy pracowały w kierunku przewodzenia. Nie nadawały się więc do budowy źródeł białego światła, które jest mieszaniną różnych barw. Jednak z upływem czasu opracowywano diody LED emitujące światło o innych barwach w oparciu o inne kryształy półprzewodnikowe, zestawione w tabeli 1.

Tabela 1. Zestaw barw diod LED
Table 1. Colours of LED diodes

Nazwa materiału	Barwa
Arsenek galu GaAs	podczerwień
Fosforek galu GaP	czerwona, zielona, żółta
Fosforo-arsenek galu GaAsP	czerwona, pomarańczowa, żółta
Azotek galu GaN	niebieska

Umożliwiło to budowę diod emitujących światło białe. Obecnie istnieją dwie różne konstrukcje takich diod. Albo umieszcza się we wspólnej obudowie trzy diody emitujące trzy podstawowe barwy RGB (Red, Green, Blue) czyli czerwoną, zieloną i niebieską, które zmieszane w odpowiednich proporcjach dają światło białe. Alternatywny sposób polega na wykorzystaniu diody niebieskiej, pokrytej luminoforem, który wzbudzany przez niebieskie światło diody z azotku galu świeci przykładowo na żółto, co w efekcie daje barwę białą z widocznym lekkim niebieskim odcieniem.

Odmienne niż w innych źródłach światła promieniowanie LED jest silnie kierunkowe dlatego w żarówkach LED używa się dużej liczby diod małej mocy emitujących promieniowanie w różnych kierunkach zamiast pojedynczej LED dużej mocy. Można co prawda zastosować w przypadku LED dużej mocy filtr rozpraszający, ale trzeba wówczas zapewnić efektywne chłodzenie LED ponieważ cała moc wydziela się wówczas na małym obszarze złącza. Dlatego rozwiązania z użyciem wielu diod małej mocy są najczęściej stosowane.

Diody LED wymagają zasilania napięciem stałym w zależności od barwy od 1.2 V (czerwona) do 3.6 V (niebieska) dlatego żarówki LED przeznaczone do zastosowania w standardowych oprawkach oświetleniowych muszą zawierać elektroniczny układ prostujący - przekształcający umieszczany w podstawie żarówki. Zazwyczaj jest to rodzaj zasilacza impulsowego w różnych wersjach w zależności od rodzaju szeregowo-równoległego połączenia diod.

3. Zasady użytkowania alternatywnych źródeł światła

Oczywiście największej oszczędności w zużyciu energii na oświetlenie przynosi wyłączenie źródeł światła wówczas kiedy nie są potrzebne. Nie należy jednak włączać i wyłączać oświetlenia zbyt często, gdyż wpływa to niekorzystnie na czas „życia” źródeł światła.

Niektóre źródła są bardzo na to wrażliwe np. świetlówki, a inne praktycznie wcale nie np. zestawy LED. Klasyczne żarówki jak i halogenowe są gdzieś pośrodku.

Dlatego rekomendowany sposób operowania źródłami światła typu „świetlówki” wg Amerykańskiego Departamentu Energii jest aby wyłączać oświetlenie jeżeli przewidujemy, że nie będzie potrzebne w ciągu najbliższych 15 minut. W przeciwnym razie należy oświetlenie pozostawić włączone. Klasyczne żarówki tak jak i halogenowe, oraz „żarówki LED” należy zawsze wyłączać kiedy nie są potrzebne. [3]. Jest dosyć oczywiste, że świetlówek nie należy w związku z tym instalować np. w łazienkach lub innych pomieszczeniach, w których oświetlenie włączane jest często i na krótko.

Oczekiwany czas „życia” źródła światła jest definiowany jako liczba godzin bezawaryjnej pracy 50% źródeł danego typu, lub w przypadku żarówek LED kiedy w 50% ich światłość spadnie poniżej 70%.

Ponieważ czas życia źródeł światła zależy od cykli włączania i wyłączania standardowy test przeprowadza się załączając źródło na 3 godziny a następnie wyłączając go na 20 minut. Cykle takie powtarza się aż do uszkodzenia źródła i rejestruje się całkowity czas poprawnej pracy [4].

4. Analiza porównawcza opłacalności instalowania alternatywnych źródeł światła

Dla oceny porównawczej opłacalności instalowania alternatywnych źródeł oświetlenia należy uwzględnić szereg czynników, takich jak: cenę zakupu, okres użytkowania, strumień świetlny, moc pobieraną i cenę energii elektrycznej. Aby sensownie porównać koszty użytkowania takich alternatywnych źródeł oświetlenia trzeba więc przyjąć pewną metodykę uwzględniającą te różne parametry.

Całkowite koszty wymiany klasycznej żarówki na alternatywne źródło światła obliczono przyjmując pewien umowny okres czasu użytkowania takiego źródła. W zależności od typu źródła określa to koszt wymiany (w średnich obecnie cenach) i koszt zużytej energii elektrycznej przy przyjętej wartości strumienia świetlnego 1000 [lm].

Porównanie przeprowadzono dla dwóch różnych przedziałów czasu 2 i 10 lat.

W poniższej tabeli zestawiono takie dane dla najpopularniejszych alternatywnych źródeł światła w porównaniu do klasycznych żarówek.

Przyjęto średnie wartości dla źródeł światła określonego typu od różnych producentów.

Tabela 2. Porównawcze zestawienie własności alternatywnych źródeł oświetlenia wg [5]

Table 2. Comparison of the properties of alternative light sources acc. to [5]

	Klasyczna żarówka	Żarówka halogenowa	Miniaturowa świetlówka	Żarówka LED
Koszt zakupu [zł]	1.80	8	16	20
Skuteczność świetlna [lm/W]	14	16.9	82.2	86.7
Moc elektryczna na 1000 lm [W]	71.4	59.2	12.1	11.5
Temperatura koloru [K]	2700	2900	3000	3000
Czas życia [h]	1000	4000	10000	30000
Czas życia żarówki przy użyciu 6 h/ dzień, w latach [latach]	0.5	1.8	4.5	10

Tabela 3. Koszty eksploatacji alternatywnych źródeł oświetlenia w ciągu 10 lat

Table 3. Total expenses of using alternative light sources during 10 years of exploitation

10 lat	Klasyczna żarówka	Żarówka halogenowa	Miniaturowa świetlówka	Żarówka LED
Koszt wymiany w czasie 10 lat [zł]	36	44,5	35.5	20
Energia zużyta przez 10 lat [kWh] przy użyciu 6 h/dzień	1564	1296	265	252
Koszt energii przy cenie 0.5 zł/kWh	782	648	132	126
Całkowity koszt użytkowania przez 10 lat [zł]	818	692	168	146

Tabela 4. Koszty eksploatacji alternatywnych źródeł oświetlenia w ciągu 2 lat
 Table 4. Total expenses of using alternative light sources during 2 years period of exploitation

2 lata	Klasyczna żarówka	Żarówka halogenowa	Miniaturowa świetlówka	Żarówka LED
Koszt wymiany w czasie 2 lat [zł]	4	16	16	20
Energia zużyta przez 2 lata [kWh] przy użyciu 6 h/dzień	313	260	53	50.4
Koszt energii przy cenie 0.5 zł/kWh	156	130	27	25.2
Całkowity koszt użytkowania przez 2 lata [zł]	160	146	42,5	45.2

Jak widać z zestawienia przy długotrwałym okresie użytkowania (10 lat po 6 h dziennie) najbardziej ekonomiczne są żarówki z diodami LED pomimo ich dość wysokiego kosztu zakupu. Najmniej opłacalne jest użytkowanie klasycznych żarówek. Prawie równorzędne ekonomicznie, w porównaniu do żarówek LED, jest użytkowanie miniaturowych świetlówek, które mogą być preferowane ze względu na odcień generowanego światła.

W krótszym okresie eksploatacji nieco bardziej ekonomiczne są miniaturowe świetlówki, ale ich przewaga jest minimalna, tak że można zaryzykować twierdzenie, że najbardziej ekonomiczne jest zastępowanie klasycznych żarówek żarówkami typu LED.

LITERATURA

- [1] Bąk J.: *Technika oświetlenia*, WNT, Warszawa 1981.
- [2] Zagan W.: *Podstawy techniki świetlnej*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2005.
- [3] https://en.wikipedia.org/wiki/Luminous_efficacy
- [4] <http://energy.gov/energysaver/when-turn-your-lights>
- [5] <https://en.wikipedia.org/wiki/Electriclight>
- [6] https://en.wikipedia.org/wiki/LED_lamp