

## PROBLEMY PROJEKTOWANIA OŚWIETLENIA ELEKTRYCZNEGO W CHŁODNIACH SKŁADOWYCH

Stanisław CZAPP<sup>1</sup>, Kornel BOROWSKI<sup>2</sup>

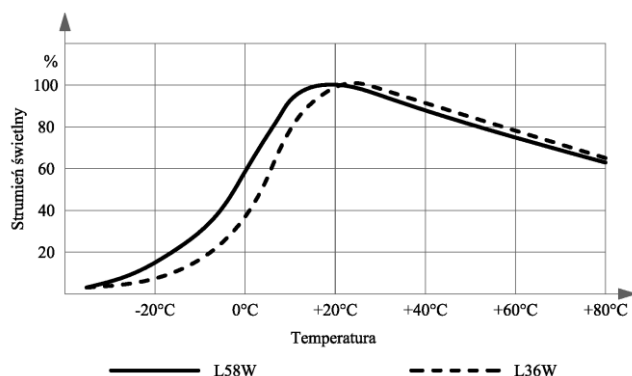
1. Politechnika Gdańska, Wydział Elektrotechniki i Automatyki  
tel.: 347-13-98 fax: 347-18-98 e-mail: s.czapp@ely.pg.gda.pl
2. Politechnika Gdańska, Wydział Elektrotechniki i Automatyki  
tel.: 347-18-27 fax: 347-18-98 e-mail: kborowski@ely.pg.gda.pl

**Streszczenie:** Projektowanie oświetlenia elektrycznego w chłodniach składowych jest zadaniem utrudnionym ze względu na to, że niska temperatura otoczenia bardzo niekorzystnie wpływa na działanie niektórych źródeł światła. Utrzymanie wymaganych przez normę wartości natężenia oświetlenia wiąże się ze stosowaniem kosztownych opraw oświetleniowych lub koniecznością wprowadzania współczynników korekcyjnych wartości strumienia świetlnego. W referacie przedstawiono projekty oświetlenia elektrycznego pomieszczeń chłodni przy wykorzystaniu wybranych typów źródeł światła. Dla każdego przypadku przeprowadzono analizę techniczną-ekonomiczną.

**Słowa kluczowe:** oświetlenie elektryczne, projektowanie, chłodnie składowe.

### 1. WSTĘP

Wewnątrz chłodni składowych, w których długotrwale przechowuje się zamrożoną żywność, panuje bardzo niska temperatura, nawet poniżej  $-25^{\circ}\text{C}$ . Taka temperatura niekorzystnie wpływa na wyładowcze źródła światła, w szczególności świetlówki. Głównym problemem jest spadek i niestabilność ich strumienia świetlnego oraz bardzo długi czas rozświecania. Szeroko stosowane świetlówki, w wykonaniu standardowym osiągają największy strumień świetlny w temperaturze około  $20\div 30^{\circ}\text{C}$  [1].

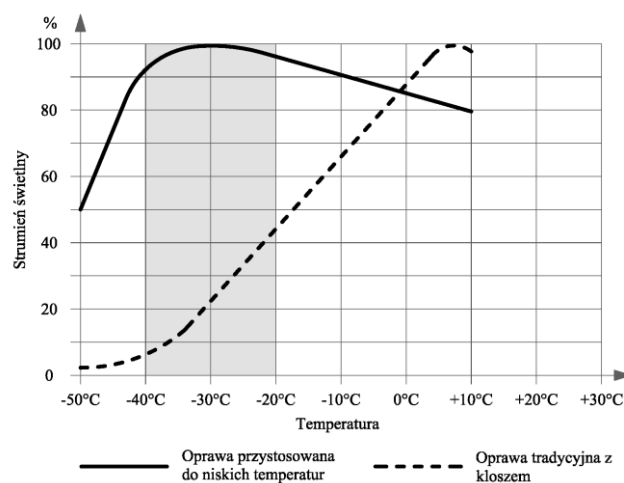


Rys. 1. Zależność strumienia świetlnego świetlówek liniowych o mocy 58 W i 36 W od temperatury otoczenia [1]

Na rysunku 1 przedstawiono charakterystykę zależności strumienia świetlnego świetlówek liniowych od temperatury otoczenia. Zarówno zwiększenie jak i zmniejszenie tej temperatury powoduje spadek strumienia świetlnego lampy. Na kształt charakterystyki nieznacznie wpływa moc znamionowa źródeł światła.

Dla zapobieżenia skutkom niskiej temperatury otoczenia produkuje się świetlówki w wykonaniu specjalnym, w których zmienia się atmosferę jarznika dobierając odpowiednio amalgamat i podnosząc ciśnienie gazu pomocniczego. Świetlówki tego typu mogą osiągać największy strumień świetlny w temperaturach około  $0^{\circ}\text{C}$ . Wykonanie specjalne jednak znacznie podnosi cenę tego typu źródeł światła.

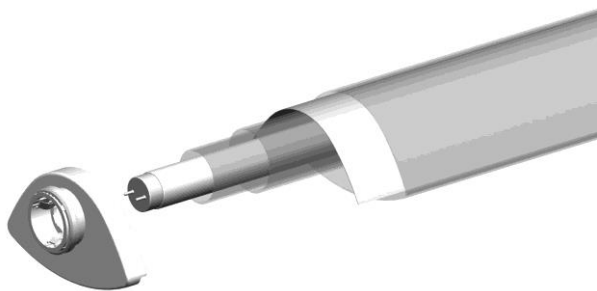
Problem zimnego zapłonu można wyeliminować za pomocą specjalnie przygotowanych świetlówek. Świetlówka TL-M RS (Rapid Start, prod. Philips) wyposażona w wewnętrzną powłokę silikonową oraz zewnętrzną listwę zapłonową, pozwala na pewny zapłon nawet w niskich temperaturach. Tego typu rozwiązanie nie pozostaje bez wad i powoduje pogorszenie wskaźnika oddawania barw.



Rys. 2. Zależność strumienia świetlnego od temperatury otoczenia dla różnych opraw oświetleniowych [2]

Rozwiązaniem większości problemów działania świetlówek w niskich temperaturach jest stosowanie specjalnych opraw oświetleniowych wyposażonych w bariery termiczne niepozwalające na wydostawanie się ciepłego powietrza z wnętrza oprawy. Energia cieplna pochodzi głównie z elementów wyposażenia oprawy oświetleniowej, jak statecznik i zapłonnik. Inaczej niż w przypadku lamp żarowych, sama świetlówka nie nagrzewa się tak bardzo, bo zaledwie o 20÷40 K w stosunku do temperatury otoczenia. Utrzymanie podwyższonej temperatury wewnątrz oprawy powoduje przesunięcie charakterystyki strumienia świetlnego w funkcji temperatury otoczenia, co przedstawia rysunek 2.

Na rysunku 3 przedstawiono przykładową oprawę do zastosowań w chłodniach i mroźniach. Dzięki wykorzystaniu rur ochronnych oraz specjalnego klosza można stosować standardowe świetlówki. Bariery termiczne pozwalają na utrzymanie wewnątrz oprawy parametrów optymalnych do pracy świetlówek.



Rys. 3. Oprawa oświetleniowa marki KRULEN z systemem ochrony przed zimnem TRIPLEX [2]

W ostatnich kilku latach bardzo popularne do zastosowań w oświetleniu stały się diody elektroluminescencyjne (LED). Cechą charakterystyczną LED jest to, że wraz ze wzrastającą ich temperaturą następuje obniżenie skuteczności świetlnej. Jeżeli jednak umieścić lampę LED w niskiej temperaturze, to uzyskuje się efektywne chłodzenie złącza półprzewodnikowego. Nie ma też potrzeby wykonywania opraw o specjalnych barierach cieplnych, jak w przypadku opraw świetlówkowych.

W kolejnych punktach przedstawiono porównanie wykorzystania trzech rozwiązań oświetlenia elektrycznego w chłodniach. Do porównania wybrano trzy rodzaje opraw oświetleniowych: standardowe oprawy świetlówkowe, oprawy świetlówkowe do zastosowań w chłodniach oraz oprawy z lampami LED.

## 2. ZAŁOŻENIA PROJEKTOWE

Obliczenia przeprowadzone zostały dla przykładowej komory chłodni składowej o wymiarach 18×36 metrów i wysokości 8 metrów. Temperaturę pracy chłodni ustalono na -20 C. W programie komputerowym DIALux 4.11 zamodelowano regały magazynowe i wytyczono ścieżki o szerokości 3 m. Oprawy oświetleniowe umieszczono w osi ścieżek dla ich optymalnego oświetlenia (rys. 4). W każdym z trzech projektów (1 – standardowe oprawy świetlówkowe, 2 – oprawy świetlówkowe do zastosowań w chłodniach, 3 – oprawy z lampami LED) zastosowano odpowiedni model fotometryczny oprawy. W przypadku oprawy tradycyjnej strumień świetlny został zmniejszony do około 20% wartości znamionowej. Jak wynika z rysunku 1, strumień powinien być zmniejszony do wartości około 18%, lecz ciepło

wydzielane przez świetlówkę oraz osprzęt nieznacznie ogrzewa wnętrze oprawy tworząc lepsze warunki do pracy tradycyjnej świetlówki. Zastosowana oprawa LED pochodzi z tej samej rodziny produktów, co oprawa przystosowana do niskich temperatur przez co ich krzywe rozsyłu światłości są bardzo zbliżone.



Rys. 4. Wizualizacja 3D pomieszczenia chłodni składowej w programie DIALux

Zgodnie z aktualną normą PN-EN 12464-1:2012P Światło i oświetlenie. Oświetlenie miejsc pracy. Część 1: Miejsca pracy we wnętrzach [3] (tablica 5.4, numer referencyjny 5.4.1 Składy i magazyny) najmniejsze dopuszczalne średnie natężenie oświetlenia  $\bar{E}_m$  wynosi 100 lx, wartość współczynnika UGR powinna być nie większa niż 25. Równomierność oświetlenia w polu zadania wzrokowego  $U_0$  powinna być nie mniejsza niż 0,4; a wskaźnik oddawania barw  $R_a$  powinien być nie mniejszy niż 60.

Powyższe wymagania oświetleniowe stanowiły podstawę do opracowania projektów w programie komputerowym DIALux. Dla każdego z rozwiązań technicznych wykonano oddzielne projekty wraz z obliczeniami, a wyniki przedstawiono w kolejnym punkcie.

## 3. ANALIZA TECHNICZNA

Wyniki obliczeń średniego natężenia oświetlenia przedstawiono w tablicy 1. Zestawiono w niej średnie natężenie oświetlenia na płaszczyźnie roboczej (0,85 metra nad powierzchnią podłogi) oraz wartość natężenia oświetlenia wymagane przez normę [3].

Tablica 1. Zestawienie średniego natężenia oświetlenia powierzchni obliczeniowych (ścieżek) dla trzech przypadków i porównanie z wymaganiami normy PN-EN 12464-1:2012P [3].

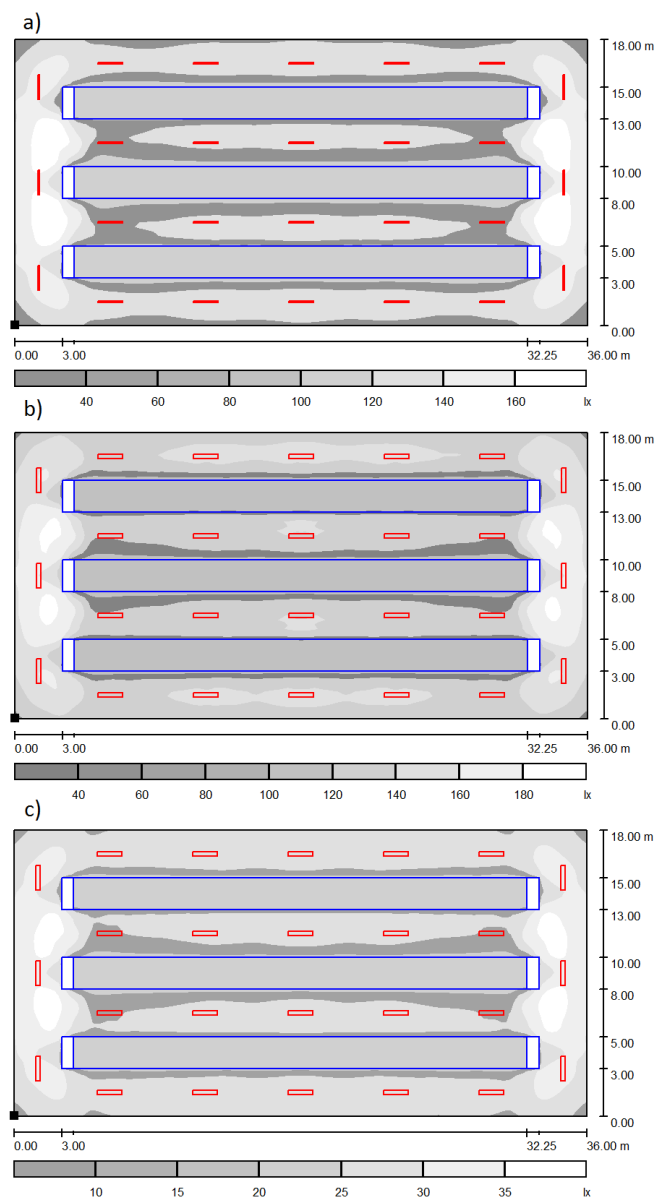
Lp.	Oprawa LED [lx]	Oprawa świetlówkowa do niskich temperatur [lx]	Oprawa świetlówkowa tradycyjna [lx]	Wymagania normy PN-EN 12464 [lx]
1	128	140	34	100
2	129	142	33	100
3	129	141	33	100
4	128	141	33	100
5	147	158	33	100
6	147	159	34	100

Kolorem szarym w tablicy 1 zaznaczono komórki, w których wartości średniego natężenia oświetlenia były mniejsze niż wymaga tego norma [3]. W tablicy 1 nie zestawiono wyników równomierności oświetlenia, ponieważ

we wszystkich rozpatrywanych przypadkach była ona większa od wymaganej przez normę  $U_0 \geq 0,4$ .

W przypadku zastosowania tradycyjnych opraw świetłkowych, nieprzystosowanych do pracy w niskich temperaturach, średnie natężenie oświetlenia na ścieżkach wynosi około 30 lx, co jest wartością niewystarczającą (norma [3] wymaga co najmniej 100 lx). Na rysunku 5 przedstawiono rozkład natężenia oświetlenia dla trzech rozpatrywanych przypadków. Na podstawie przedstawionych wyników obliczeń można stwierdzić, jak znacznie obniża się natężenie oświetlenia w przypadku zastosowania niewłaściwych opraw oświetleniowych (rys. 5c).

Stosunkowo nowym rozwiązaniem są oprawy wyposażone w diody LED. Ich parametry w niskich temperaturach są porównywalne z parametrami opraw świetłkowych przystosowanych do pracy w niskich temperaturach. Dodatkowo lampy LED wydzielają niewiele ciepła, dzięki czemu tylko nieznacznie ogrzewają wnętrze chłodni. Przyczynia się to do zmniejszenia zużycia energii potrzebnej do schłodzenia powietrza w jej wnętrzu.



Rys. 5. Wyniki obliczeń natężenia oświetlenia przedstawione w stopniach szarości dla: a) oprawy LED, b) oprawy świetłkowej do niskich temperatur, c) oprawy świetłkowej tradycyjnej

W tabelicy 2 zestawiono wyniki specyfikacji mocy przyłączeniowej dla każdego z trzech rozwiązań. Dla każdego rozwiązania podano po dwa wyniki. Pierwszy wskazuje wielkość mocy przypadającej na jeden metr kwadratowy powierzchni, natomiast drugi – bardziej obrazowy i miarodajny – wielkość mocy przypadającej na jeden metr kwadratowy powierzchni na każde 100 lx wytworzonego natężenia oświetlenia. W pierwszym przypadku wynik jest identyczny dla obu rozwiązań z oprawami świetłkowymi, ponieważ nie uwzględnia się natężenia oświetlenia, jakie zostało wytworzone przez oprawy.

Tabela 2. Zestawienie mocy przyłączeniowych dla analizowanych projektów

Specyfikacja mocy przyłączeniowej	Oprawa LED	Oprawa świetłkowa do niskich temperatur	Oprawa świetłkowa tradycyjna
$W/m^2$	2,53	5,30	5,30
$W/m^2/100lx$	2,41	4,60	23,15

Analizując dane z tabelicy 2 można stwierdzić, że w przypadku opraw świetłkowych tradycyjnych w pomieszczeniach o temperaturze  $-20^\circ C$  należy zużyć prawie 10 razy więcej energii niż w przypadku zastosowania opraw ze źródłami LED.

#### 4. ANALIZA EKONOMICZNA

Najbardziej energooszczędnym rozwiązaniem jest oświetlenie z wykorzystaniem opraw LED. Jednakże oprawy tego typu są najdroższe w zakupie. Dla prawidłowej oceny opłacalności stosowania lamp LED należy przeprowadzić analizę ekonomiczną. Podstawą jest zastosowanie równania (1), które opisuje koszty całkowite z uwzględnieniem nakładów inwestycyjnych oraz kosztów eksploatacyjnych, zależnych od czasu użytkowania oświetlenia

$$K_c(t) = K_e(t) + K_i \quad (1)$$

gdzie:  $K_c(t)$  – koszty całkowite dla czasu pracy  $t$ ,  $K_e(t)$  – koszty eksploatacyjne dla czasu pracy  $t$ ,  $K_i$  – nakłady inwestycyjne.

Ze względu na identyczną liczbę opraw w każdym z projektów, koszty inwestycyjne jak i eksploatacyjne obliczane są dla jednej oprawy oświetleniowej. W pomieszczeniach, w których rzadko korzysta się z oświetlenia, zasadne wydaje się zastosowanie opraw świetłkowych przystosowanych do pracy w niskich temperaturach, ze względu na ich cenę zakupu niższą niż opraw LED. Każdorazowo należy przeprowadzić obliczenia pozwalające stwierdzić, gdzie leży granica opłacalność dla danego czasu użytkowania oświetlenia w ciągu doby. Granicą opłacalności jest punkt wspólny na przecięciu się wykresów kosztów całkowitych (rys. 6) w funkcji czasu użytkowania oświetlenia w ciągu doby. Zależność (2) przedstawia sposób obliczenia kosztów eksploatacyjnych [4].

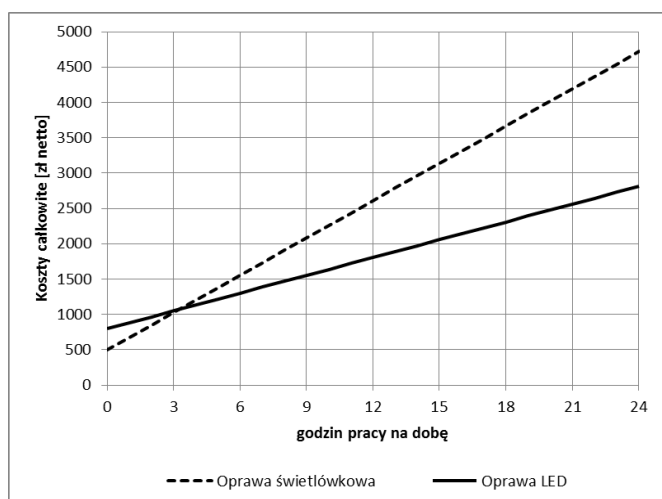
$$K_e(t) = t * C_{ee} * P * T \quad (2)$$

gdzie:  $K_e(t)$  – sumaryczne koszty eksploatacyjne dla czasu pracy  $t$ ,  $t$  – czas użytkowania oświetlenia, w godzinach na dobę,  $C_{ee}$  – cena energii elektrycznej, w zł/kWh,  $P$  – moc pobierana przez oprawę oświetleniową, w kW,  $T$  – okres analizy lub przewidywany czas amortyzacji instalacji oświetleniowej, w dniach.

Na podstawie (1) i (2) można obliczyć minimalny dobowy czas użytkowania oświetlenia w chłodni (3), po którym rozwiązanie z oprawami LED staje się opłacalne. Założenia przyjęte do obliczeń: cena energii elektrycznej 0,37 zł netto/kWh (taryfa C11), moc oprawy LED 0,063 kW, moc oprawy świetlówkowej 0,132 kW, cena oprawy LED 800 zł, cena oprawy świetlówkowej 500 zł, analizowany okres 15 lat przy 240 dniach pracy w roku, co daje 3600 dni pracy opraw.

$$t = \frac{K_{iL} - K_{iS}}{T * C_{ee} * (P_S - P_L)} \quad (3)$$

gdzie:  $K_i$  – nakłady inwestycyjne,  $t$  – czas pracy instalacji oświetleniowej, w godzinach na dobę,  $C_{ee}$  – cena energii elektrycznej, w zł/kWh,  $P$  – moc pobierana przez oprawę oświetleniową, w kW,  $T$  – okres analizy lub przewidywany czas amortyzacji instalacji oświetleniowej. Indeksy:  $L$  – dotyczy oprawy LED,  $S$  – dotyczy oprawy świetlówkowej przystosowanej do pracy w niskich temperaturach.



Rys. 6. Wykres kosztów całkowitych przedstawiony dla jednej oprawy oświetleniowej

W rozpatrywanym przypadku minimalny czas pracy opraw, gwarantujący opłacalność stosowania lamp LED wynosi 3,26 godziny na dobę. W przypadku stosowania lamp LED możliwe jest zastosowanie czujników ruchu pozwalających na dalsze zmniejszenie kosztów zużytej energii elektrycznej.

## 5. WNIOSKI KOŃCOWE

W przypadku projektowania oświetlenia elektrycznego pomieszczeń, w których temperatura otoczenia znacząco różni się od 20°C, należy wziąć pod uwagę jej wpływ na strumień świetlny źródeł światła. W programie projektowym należy zastosować specjalne współczynniki korekcyjne zależne od temperatury.

Jak zaprezentowano w niniejszym opracowaniu, oświetlenie LED nie zawsze jest rozwiązaniem najbardziej opłacalnym. Każdorazowo należy przeprowadzić stosowne obliczenia techniczno-ekonomiczne pozwalające wybrać najbardziej korzystne rozwiązanie do rozpatrywanego przypadku.

## 6. BIBLIOGRAFIA

1. Musiał E.: Przegląd elektrycznych źródeł światła. Główne właściwości i tendencje rozwojowe. INPE: Informacje o Normach i Przepisach Elektrycznych, Miesięcznik SEP, 2006, nr 79, s. 3-66.
2. KRULEN Technika Światła – katalog produktów.
3. PN-EN 12464-1:2012P Światło i oświetlenie. Oświetlenie miejsc pracy. Część 1: Miejsca pracy we wnętrzach.
4. Borowski K.: Analiza porównawcza wybranych wariantów oświetlenia elektrycznego ulic. Praca dyplomowa magisterska, Politechnika Gdańska, Gdańsk 2012.

## PROBLEMS OF ELECTRICAL LIGHTING DESIGNING IN COLD STORAGEES

**Key-words:** electrical lighting, designing, cold storages

Designing of the electrical lighting in cold storages is difficult task because of the negative effect of low ambient temperature on lamps. In order to achieve illuminance required by the standard special luminaries or correction factor of luminous flux should be applied. In the paper the projects of electrical lighting in cold storages with selected types of lamps are described. In every case technical and economic analysis is presented.