

Modernizacja źródła światła latarni morskiej w Krynicy Morskiej

1. Przedmiot zamówienia

1.1 Przedmiotem zamówienia jest wykonanie modernizacji systemu świetlnego latarni morskiej obejmującej:

- a) demontaż istniejącego źródła światła żarowego o mocy 1000 W,
- b) dostawę i montaż źródła światła LED dużej mocy,
- c) montaż źródła LED w ognisku istniejącej soczewki Fresnela (średnica ok. 1000 mm)
- d) modernizację układu zasilania i automatyki,
- e) integrację z systemem monitorowania oznakowania nawigacyjnego SyMon II,
- f) wykonanie pomiarów fotometrycznych,
- g) przeprowadzenie odbiorów FAT, SAT oraz odbioru końcowego,
- h) sporządzenie dokumentacji powykonawczej,
- i) zapewnienie możliwości awaryjnego zastosowania tradycyjnego źródła światła (żarówki 1000 W) poprzez rozwiązanie konstrukcyjne umożliwiające jego montaż i uruchomienie w czasie nie dłuższym niż 2 godziny, bez demontażu soczewki Fresnela i bez trwałych zmian instalacji.
- j) Zamawiający umożliwia przeprowadzenie wizji lokalnej obiektu latarni morskiej przed złożeniem oferty, po wcześniejszym uzgodnieniu terminu; Wykonawca ponosi odpowiedzialność za uwzględnienie w ofercie wszystkich warunków technicznych i organizacyjnych realizacji zamówienia, niezależnie od skorzystania z wizji lokalnej.

2. Podstawa opracowania

Zamówienie należy wykonać zgodnie z:

- wytycznymi IALA,
- IALA R0202-Ed2.1,
- IALA R0204-Ed3.0
- IALA G1148-Ed1.1,
- obowiązującymi normami PN,
- wymaganiami administracji morskiej.

3. Stan istniejący

- źródło światła: żarówka żarowa P40/1000 W,
- układ optyczny: soczewka Fresnela (średnica ok. 1000 mm),
- charakterystyka światła: LFl(2) W 12s 2+(2)+2+(6)
- nominalny zasięg światła: 20 Mm,
- system monitoringu: SyMon II.

4. Wymagania funkcjonalne

System musi zapewniać:

- zachowanie charakterystyki światła LFl(2) W 12s,
- osiągnięcie nominalnego zasięgu światła 20 Mm,
- pracę ciągłą 24/7,
- wysoką niezawodność i odporność środowiskową.

Wymiana źródła światła powinna zostać zorganizowana w taki sposób, aby zasadnicze prace montażowe były wykonywane w porze dziennej. W porze nocnej latarnia musi pozostawać w pełni funkcjonalna i emitować światło nawigacyjne zgodnie z wymaganą charakterystyką i zasięgiem. Niedopuszczalne są przerwy w pracy latarni w czasie jej nominalnej pracy nocnej.

5. Parametry fotometryczne

Dobór źródła światła oraz rozwiązania optycznego należy do wykonawcy. Wykonawca zobowiązany jest do przedstawienia obliczeń lub symulacji optycznych potwierdzających spełnienie wymagań określonych w niniejszym SOPZ przed przystąpieniem do realizacji.

Brak przedstawienia powyższych obliczeń stanowi podstawę do odrzucenia rozwiązania na etapie uzgodnień.

5.1 Definicja nominalnego zasięgu

- V - widzialność meteorologiczna, odległość w atmosferze [Mm]
- I - światłość układu optycznego [cd]
- NR - nominalny zasięg przy V = 10 Mm [Mm]
- LR - rzeczywisty zasięg światła [Mm]

5.2 Wymaganie podstawowe

Układ optyczny (LED + soczewka Fresnela) musi zapewnić nominalny zasięg:

NR=20 Mm przy V=10 Mm

5.3 Wymagana światłość

Światłość układu:

$$I [\text{cd}]$$

gdzie:

I – światłość wyrażona w kandelach (cd), powinna wynosić (na podstawie tabel Allarda IALA): $I \geq 100\,000 \text{ cd}$

Światłość źródła LED nie stanowi bezpośredniego parametru decydującego o światłości układu. Wymagana światłość musi być osiągnięta przez cały układ optyczny (LED + soczewka Fresnela) i potwierdzona pomiarami.

5.4 Światłość nie mniejsza niż 100 000 cd. Wymaganiem nadrzędnym jest osiągnięcie nominalnego zasięgu światła $NR = 20 \text{ Mm}$ przy widzialności $V = 10 \text{ Mm}$, natomiast wymagana światłość $I \geq 100\,000 \text{ cd}$ stanowi warunek minimalny, który musi być spełniony niezależnie od wyniku obliczeń zasięgu.

5.5 Wymagania dodatkowe

- regulacja światłości,
- stabilność $\pm 5\%$,
- ograniczenie olśnienia.

6. Wymagania dla źródła LED

- żywotność $\geq 75\,000 \text{ h}$,
- skuteczność źródła światła LED powinna wynosić co najmniej 120 lm/W jako parametr jakościowy, przy czym nie stanowi ona kryterium oceny spełnienia wymagań dotyczących światłości i zasięgu światła.,
- zakres temperatury pracy: od -30°C do $+50^\circ\text{C}$, przy czym w całym zakresie temperatur musi być zapewnione spełnienie wymagań dotyczących światłości ($I \geq 100\,000 \text{ cd}$) oraz stabilności pracy układu.
- zabezpieczenia termiczne,
- stopień ochrony min. IP65,
- możliwość regulacji mocy.

7. Trwałość i niezawodność systemu oświetlenia

7.1 Wymagania ogólne

System oświetlenia latarni morskiej musi być zaprojektowany i wykonany w sposób zapewniający:

- wysoką niezawodność pracy w warunkach morskich,
- ograniczenie konieczności obsługi serwisowej,
- stabilność parametrów świetlnych w czasie,
- ciągłość działania oznakowania nawigacyjnego.

7.2 Trwałość źródła światła LED

Wymaga się, aby źródło światła LED spełniało następujące wymagania:

- minimalna trwałość:

$$\geq 75\,000\text{ h}$$

- określona dla poziomu utrzymania strumienia świetlnego:

$$L70$$

co oznacza, że po wskazanym czasie pracy strumień świetlny nie spadnie poniżej 70% wartości początkowej.

7.3 Utrzymanie wymaganej światłości

Wykonawca zobowiązany jest do takiego doboru źródła światła LED oraz parametrów jego pracy, aby:

$$I \geq 100\,000\text{ cd}$$

gdzie:

I – światłość układu optycznego [cd]

była zapewniona przez okres co najmniej:

10 lat eksploatacji

7.4 Uwzględnienie degradacji

Projekt musi uwzględniać:

- naturalną degradację strumienia świetlnego LED w czasie,
- wpływ temperatury pracy,
- starzenie elementów optycznych.

W szczególności dopuszcza się przewymiarowanie początkowej światłości układu w celu spełnienia wymagań w całym okresie eksploatacji.

7.5 Warunki środowiskowe

System musi być przystosowany do pracy w środowisku morskim, w tym:

- wysokiej wilgotności,

- zasolenia powietrza,
- zmiennych temperatur,
- działania wiatru i drgań.

7.6 Stabilność parametrów

Układ oświetleniowy musi zapewniać:

- stabilność światłości na poziomie:

$$\pm 5\%$$

w warunkach ustalonej pracy,

- powtarzalność charakterystyki światła w czasie.

7.7 Niezawodność systemu

Wymaga się, aby:

- system posiadał zabezpieczenia przed przegrzaniem,
- zastosowane były układy ochrony elektrycznej (przebiecia, podłączenie z odwrotną polaryzacją)
- zapewniona była odporność na krótkotrwałe zaniki zasilania,
- zapewniona była stabilna praca przy dopuszczalnych wahaniach napięcia zasilania.

7.8 Utrzymanie ciągłości działania

System musi umożliwiać:

- szybkie przywrócenie pracy w przypadku awarii,
- zastosowanie źródła światła rezerwowego (np. żarowego),
- prowadzenie prac serwisowych bez długotrwałego wyłączenia latarni.

7.9 Wymagania konstrukcyjne i termiczne

- konstrukcja modułu świetlnego musi zapewniać skuteczne odprowadzanie ciepła, gwarantujące stabilną pracę źródła światła LED w całym zakresie temperatur pracy,
- układ chłodzenia musi być zaprojektowany w sposób zapewniający utrzymanie parametrów świetlnych (w szczególności światłości) bez istotnej degradacji wynikającej z przegrzewania,
- dopuszcza się wyłącznie pasywne systemy chłodzenia (bez elementów aktywnych, takich jak wentylatory),

- rozwiązania konstrukcyjne powinny zapewniać wysoką efektywność odprowadzania ciepła (np. zastosowanie materiałów o wysokiej przewodności cieplnej, radiatorów o odpowiedniej powierzchni).

7.10 Wymagania dokumentacyjne

Wykonawca zobowiązany jest do przedstawienia:

- kart katalogowych źródła LED,
- deklaracji trwałości (L70),
- danych dotyczących degradacji strumienia świetlnego w czasie,
- zaleceń eksploatacyjnych producenta.

8. Wymagania optyczne

- montaż LED w ognisku soczewki Fresnela,
- tolerancja ustawienia: ± 1 mm, wymagane jest wykonanie regulacji położenia źródła światła w trakcie pomiarów w celu uzyskania maksymalnej światłości układu.
- brak ingerencji w optykę,
- dywergencja pionowa wiązki światła: ok. 2° musi być ograniczona w sposób zapewniający koncentrację strumienia świetlnego w płaszczyźnie horyzontalnej i osiągnięcie wymaganej światłości oraz zapewniać możliwość wykonania pomiarów światłości z poziomu morza w odległości ok 3-4 km od latarni.

9. Automatyka i sterowanie

System musi zapewniać:

- charakterystykę światła LFl(2) W 12s,
- tryb dzień/noc, automatyczne załączanie i wyłączanie światła latarni na podstawie sygnału z fotokomórki zainstalowanej na zewnątrz latarni (progi załączania i wyłączania fotokomórki muszą być regulowane), oraz umożliwiać zdalne sterowanie (załączenie/wyłączenie, wymuszenie trybu pracy) poprzez system SyMon II, przy zachowaniu ciągłości pracy i wymaganej charakterystyki światła
- monitoring pracy urządzenia, obejmujący sygnalizację stanu pracy: „świeci” / „brak emisji światła” oraz stanu technicznego: „praca poprawna” / „błąd lub awaria”; sygnały te muszą być dostępne w postaci wyjść binarnych (np. styki bezpotencjałowe lub sygnały logiczne) umożliwiających integrację z

systemem SyMon II. Sygnały te muszą być jednoznaczne i przypisane do konkretnych stanów pracy urządzenia.

Szczegółowy sposób integracji, w tym przypisanie sygnałów oraz sposób ich transmisji, podlega uzgodnieniu z Zamawiającym na etapie realizacji zamówienia.

10. Odbiory

10.1 FAT (Factory Acceptance Test) obejmuje badania i testy urządzeń przed ich montażem na latarni, w szczególności:

- test źródła światła LED,
- test układu zasilania i sterowania,
- test funkcjonalny automatyki,
- test komunikacji z systemem SyMon II.

10.2 SAT (Site Acceptance Test) obejmuje badania po montażu systemu na latarni, w szczególności:

- montaż i osiowanie źródła LED w ognisku soczewki,
- weryfikację działania automatyki i charakterystyki światła,
- pomiary fotometryczne,
- weryfikację integracji z systemem SyMon II.

10.3 Wykonawca zobowiązany jest do opracowania szczegółowych procedur odbiorowych FAT oraz SAT, uwzględniających specyfikę systemu oświetleniowego latarni. Procedury te podlegają uzgodnieniu i zatwierdzeniu przez Zamawiającego przed rozpoczęciem odbiorów.

10.4 Procedury FAT i SAT muszą zawierać opis metody wyznaczania światłości oraz zasięgu światła

11. Procedura pomiaru światłości

11.1 Metoda

Pomiar natężenia oświetlenia:

$$E [lx]$$

gdzie:

E – natężenie oświetlenia wyrażone w luksach [lx].

11.2 Warunki

- pomiar nocny,
- brak mgły i opadów,
- stabilna atmosfera,
- pomiary należy wykonywać po ustabilizowaniu pracy źródła światła (minimum 30 minut pracy),
- pomiary muszą być wykonane przy użyciu przyrządów pomiarowych posiadających aktualne świadectwo wzorcowania,
- wszystkie pomiary wchodzące w skład jednej serii były wykonane w możliwie krótkim odstępie czasu,
- pomiary muszą być przeprowadzone w obecności przedstawiciela Zamawiającego, przy zastosowaniu uzgodnionej metodyki i sprzętu pomiarowego. Wyniki pomiarów niepotwierdzone obecnością Zamawiającego mogą zostać uznane za nieważne

11.3 Geometria

Odległość pomiarowa powinna wynosić $3 \div 4$ km, co zapewnia spełnienie warunków pola dalekiego oraz minimalizuje wpływ tłumienia atmosferycznego na wynik pomiaru

$$d=3 \div 4 \text{ km}$$

gdzie:

d – odległość pomiarowa.

Dopuszcza się wybór lokalizacji pomiarowej w sposób zapewniający bezpośrednią widoczność źródła światła oraz możliwość wykonania pomiaru w wymaganej odległości, w tym z wykorzystaniem terenu lub jednostki pływającej.

11.4 Obliczenie światłości

Pomiar światłości należy wykonać poprzez rejestrację serii pomiarów natężenia oświetlenia E w płaszczyźnie horyzontalnej, obejmującej co najmniej 10 pomiarów wykonanych w sposób zapewniający przecięcie głównej wiązki światła.

Do obliczeń światłości należy przyjąć maksymalną wartość natężenia oświetlenia E z serii pomiarowej, pod warunkiem że pomiary zostały wykonane w sposób ciągły i powtarzalny, a różnice pomiędzy kolejnymi pomiarami nie przekraczają 10%.

W przypadku większych rozbieżności pomiary należy powtórzyć.

$$I=E \cdot d^2$$

11.5 Uwzględnienie wpływu tła świetlnego

W przypadku występowania tła świetlnego (np. oświetlenie miejskie, portowe, inne źródła światła) pomiary natężenia oświetlenia należy wykonywać z uwzględnieniem jego wpływu na wynik. W tym celu należy wykonać pomiar natężenia oświetlenia całkowitego E_{total} przy włączonym źródle światła latarni, a następnie pomiar natężenia oświetlenia tła E_{tlo} przy wyłączonym źródle światła latarni lub w fazie wygaszenia charakterystyki światła.

Natężenie oświetlenia wykorzystywane do obliczenia światłości należy wyznaczyć jako:

$$E = E_{total} - E_{tlo}$$

gdzie:

E – natężenie oświetlenia od źródła światła latarni [lx],

E_{total} – zmierzone natężenie oświetlenia przy włączonym źródle światła [lx],

E_{tlo} – zmierzone natężenie oświetlenia tła [lx].

Wyniki pomiarów natężenia oświetlenia tła oraz sposób ich uwzględnienia muszą być udokumentowane w raporcie pomiarowym.

11.6 Interpretacja wyników pomiarów światłości

Pomiar światłości wykonywany z poziomu morza (na wysokości kilku metrów nad poziomem morza) nie jest realizowany w osi optycznej wiązki światła latarni, lecz pod pewnym kątem względem tej osi. W związku z tym rejestrowana wartość odpowiada światłości w kierunku obserwacji $I(\theta)$, a nie maksymalnej światłości układu I_{max}

Nie stanowi to błędu pomiarowego. Taki sposób pomiaru odpowiada rzeczywistym warunkom obserwacji światła nawigacyjnego, ponieważ użytkownik (obserwator) znajduje się na poziomie morza, a nie w osi optycznej latarni.

W związku z powyższym do obliczeń zasięgu światła przyjmuje się światłość wyznaczoną na podstawie pomiarów terenowych, odpowiadającą rzeczywistemu kierunkowi obserwacji. Obliczenia wykonane z wykorzystaniem tej światłości, w tym metodą Allarda, uznaje się za prawidłowe.

Przyjęta metodyka pomiaru światłości w warunkach terenowych, w tym pomiar z poziomu morza poza osią optyczną układu, jest zgodna z praktyką stosowaną

w oznakowaniu nawigacyjnym oraz wytycznymi IALA i stanowi podstawę oceny parametrów użytkowych światła nawigacyjnego.

Wartości światłości wyznaczone w ten sposób uznaje się za reprezentatywne dla rzeczywistych warunków eksploatacji i są one wiążące przy ocenie spełnienia wymagań określonych w SOPZ.

12. Weryfikacja zasięgu (metoda Allarda)

12.1 Zasada

Zasięg światła:

$$LR [Mm]$$

gdzie:

LR – rzeczywisty zasięg światła,

wyznacza się z zależności:

$$LR = f(I, V)$$

12.2 Równanie Allarda

Zależność pomiędzy światłością, a zasięgiem światła opisana jest równaniem:

$$E_t = \frac{I}{d^2} e^{-\sigma d}$$

gdzie:

- E_t – natężenie oświetlenia na oku obserwatora [lx],
- I – światłość źródła światła (układu optycznego) [cd],
- d – odległość od źródła światła [km],
- e – podstawa logarytmu naturalnego (liczba Eulera, $e \approx 2,718$),
- σ (sigma) – współczynnik tłumienia atmosferycznego [1/km],

Przyjmuje się próg widzialności:

$$E_t = 2 \cdot 10^{-7} lx$$

zgodnie z IALA.

$$\sigma = \frac{3,912}{V}$$

gdzie:

V – widzialność meteorologiczna [km]

Do wyznaczania nominalnego zasięgu światła przyjmuje się widzialność meteorologiczną $V = 10 \text{ Mm}$ (18,52 km), zgodnie z wytycznymi IALA. Wartość ta ma charakter normatywny i nie podlega pomiarowi w trakcie odbioru

Równanie Allarda należy rozwiązywać metodą iteracyjną lub przy użyciu tabel/diagramów IALA

12.3 Kryterium odbioru

Warunek spełnienia wymagań:

$LR \geq 20 \text{ Mm}$ dla $V=10 \text{ Mm}$

W przypadku rozbieżności pomiędzy wynikami pomiarów a deklaracjami producenta, decydujące są wyniki pomiarów terenowych

12.4 Metody praktyczne

Dopuszcza się:

- stosowanie diagramów IALA,
- stosowanie tabel przeliczeniowych Allarda.

12.5 Ograniczenia

Ocena zasięgu nie może być wykonywana wyłącznie na podstawie obserwacji wizualnej.

12.6 Weryfikacja terenowa (uzupełniająca)

Zamawiający dopuszcza możliwość przeprowadzenia weryfikacji zasięgu światła z wykorzystaniem jednostki pływającej Urzędu Morskiego w Gdyni, w warunkach rzeczywistych od strony morza. Weryfikacja ta może być wykorzystana jako uzupełnienie pomiarów i obliczeń, przy czym decydujące pozostają wyniki uzyskane metodą Allarda.

13. Kryteria akceptacji

- światłość układu optycznego nie mniejsza niż 100 000 cd,
- osiągnięcie $NR = 20 \text{ Mm}$,
- zgodność charakterystyki światła,
- poprawna integracja systemowa.

W przypadku rozbieżności pomiędzy wynikami pomiarów, obliczeń, symulacji lub deklaracjami Wykonawcy, decydujące znaczenie mają wyniki pomiarów terenowych wykonanych zgodnie z zatwierdzoną procedurą FAT/SAT, w obecności przedstawiciela Zamawiającego.

Procedura pomiarowa zatwierdzona przez Zamawiającego przed rozpoczęciem badań stanowi wiążącą podstawę oceny spełnienia wymagań

14. Dokumentacja

- raport pomiarowy,
- wyniki obliczeń,
- dokumentacja techniczna,
- instrukcja eksploatacji.

15. Odbiór końcowy

Warunki:

- spełnienie wymagań IALA,
- osiągnięcie nominalnego zasięgu 20 Mm,
- poprawna charakterystyka światła,
- komplet dokumentacji.

Kluczowe wymagania odbiorowe

Nominalny zasięg 20 Mm (NR) przy widzialności $V = 10$ Mm musi być potwierdzony poprzez pomiar światłości I [cd] oraz wyznaczenie zasięgu rzeczywistego LR [Mm] na podstawie obliczeń metodą Allarda.

Spełnienie wymagania NR nie zwalnia z obowiązku spełnienia minimalnej światłości I .

Decydujące są wyniki pomiarów terenowych i obliczeń metodą Allarda, a nie obserwacja wizualna.

Spełnienie wymagań musi być wykazane w sposób jednoznaczny i niebudzący wątpliwości interpretacyjnych.

W przypadku niespełnienia któregośkolwiek z wymagań, system uznaje się za niezgodny z SOPZ.

ZAŁĄCZNIK DO SOPZ

Przykład weryfikacji zasięgu światła metodą Allarda

1. Cel załącznika

Celem niniejszego załącznika jest przedstawienie przykładowej procedury obliczeniowej służącej do weryfikacji spełnienia wymaganego nominalnego zasięgu światła.

2. Podstawa metody

Obliczenia wykonano zgodnie z metodą Allarda i dla widzialności meteorologicznej $V = 10$ Mm wg IALA.

3. Dane wejściowe (pomiarowe)

Przykładowe dane z pomiaru terenowego:

- natężenie oświetlenia:

$$E=0,005 \text{ lx}$$

- odległość pomiarowa musi zapewniać przecięcie głównej wiązki światła latarni z punktem pomiarowym; pomiary wykonane poza główną wiązką nie mogą być podstawą do wyznaczania światłości. W szczególności pomiary wykonane w odległościach mniejszych niż 3 km mogą prowadzić do zaniżenia wyników z uwagi na geometrię propagacji światła i nie powinny być stosowane.

$$d=3500 \text{ m}$$

4. Obliczenie światłości

Światłość układu (I – światłość w kandela [cd]) oblicza się ze wzoru:

$$I = E \cdot d^2$$

$$I = 0,005 \cdot (3500)^2$$

$$I = 0,005 \cdot 12\,250\,000 = 61\,250 \text{ cd}$$

5. Parametry atmosferyczne

- widzialność meteorologiczna:

$$V=10 \text{ Mm}=18,52 \text{ km}$$

- próg widzialności:

$$E_t = 2 \cdot 10^{-7} \text{ lx}$$

- współczynnik tłumienia atmosferycznego:

$$\sigma = \frac{3,912}{V}$$

$$\sigma = \frac{3,912}{18,52} \approx 0,211 \text{ km}^{-1}$$

6. Wyznaczenie zasięgu światła

Zasięg światła LR rzeczywisty zasięg światła wyznacza się z równania Allarda:

$$E_t = \frac{I}{d^2} e^{-\sigma d}$$

Rozwiązując równanie względem odległości d, otrzymuje się:

$$d \approx 31 \text{ km}$$

7. Przeliczenie na mile morskie

$$1 \text{ Mm} = 1,852 \text{ km}$$

$$LR = \frac{31}{1,852} \approx 16,7 \text{ Mm}$$

8. Ocena wyniku

- wymagany nominalny zasięg NR:

$$NR = 20 \text{ Mm}$$

- uzyskany zasięg:

$$LR = 16,7 \text{ Mm}$$

Wniosek:

$NR > LR$ wymaganie niespełnione.

dodatkowo: $I < 100\,000 \text{ cd}$ (warunek minimalny niespełniony)

9. Przykład spełnienia wymagań

Dla natężenia oświetlenia:

$$E = 0,02 \text{ lx}$$

Po obliczeniach:

$$I = 245\,000 \text{ cd}$$

otrzymuje się:

$$LR \approx 21,1 \text{ Mm}$$

Wniosek:

$LR > NR$ wymaganie spełnione

10. Uwagi końcowe

Spełnienie wymaganego zasięgu 20 Mm należy potwierdzić poprzez pomiar światłości oraz obliczenie zasięgu metodą Allarda przy widzialności meteorologicznej $V = 10$ Mm.

Przykłady pokazują, że przy zachowaniu właściwej geometrii pomiaru (3–4 km), wartość natężenia oświetlenia E bezpośrednio determinuje światłość układu I , a tym samym osiągalny zasięg światła.