

# OPTYMALIZACJA PARAMETRÓW KONSTRUKCYJNYCH ŁADUNKÓW OŚWIETLAJĄCYCH

*W artykule przedstawiono metodę racjonalnego wyboru parametrów konstrukcyjnych pirotechnicznych ładunków oświetlających opadających na spadochronach.*

## 1. Wprowadzenie

Mimo pojawienia się na uzbrojeniu coraz doskonalszego sprzętu pozwalającego widzieć w ciemności jak noktowizory, kamery termowizyjne itp. pirotechniczne środki oświetlające zachowały nadal dominującą rolę w oświetleniu pola walki nocą. Ich zaletą jest stosunkowo duży zasięg działania i promień oświetlenia, łatwość stosowania oraz możliwość jednoczesnego korzystania z oświetlenia przez duże ugrupowania wojskowe. Do wad należy zaliczyć krótki czas świecenia pojedynczego ładunku co w przypadku konieczności uzyskania dłuższego efektu wymaga zwiększonego zużycia amunicji oświetlającej.

Realizacja różnorodnych zadań taktycznych przy wykorzystaniu środków oświetlających będzie zawsze skuteczna jeżeli zapewnią one możliwość obserwacji pola walki oraz identyfikację celów w stopniu umożliwiającym prowadzenie ognia kierowanego.

Z punktu widzenia użytkownika głównymi parametrami taktyczno-technicznymi wskazującymi na praktyczną przydatność ładunku oświetlającego jest: minimalne natężenie oświetlenia mierzone na poziomie gruntu, odpowiadający mu promień oświetlenia oraz czas efektywnego oświetlenia tj. czas oświetlenia z natężeniem nie mniejszym od wymaganego. Parametry te powinny stanowić podstawę każdych założeń taktyczno-technicznych (ZTT) dla nowo opracowywanych ładunków oświetlających. Niestety, w praktyce, głównie z powodu powierzchniowej znajomości problemu w ZTT przedstawia się wymagania jedynie odnośnie światłości ładunku oraz czasu jego świecenia, co jak łatwo wykazać nie jest jednoznaczne z czasem efektywnego świecenia. Można bowiem sobie wyobrazić sytuację, kiedy ładunek opadający ze zbyt dużej wysokości w ogóle nie oświetli gruntu z wymaganym natężeniem lub znacznie go oświetlać dopiero w końcowej fazie świecenia. W dostępnej literaturze [1] rozpatrywane są praktyczne zagadnienia eksploatacyjne dotyczące głównie oceny np. odległości widzenia w konkretnych warunkach przejrzystości atmosfery, kontrastowości tła, wielkości obiektu itp. Ponieważ charakterystyki te są zmienne i zależą od konkretnych warunków strzelania, zastosowane tam metody nie mogą stanowić podstawy racjonalnego zaprojektowania ładunku. Ładunek taki powinien bowiem działać optymalnie w każdych warunkach pola walki a nie np. w przypadku założonej przejrzystości atmosfery.

## 2. Obliczenia ładunku oświetlającego

Na ogół przystępując do oceny ładunku oświetlającego jako ruchomego źródła światła znane są jego parametry jak:

- światłość ( $I$ ) wyrażona w candelach;
- czas świecenia ( $T$ ) ładunku;
- wysokość rozpalenia ładunku ( $y_r$ );
- wysokość końca palenia ładunku ( $y_k$ );
- prędkość opadania na spadochronie ( $v$ );
- wymagane natężenie oświetlenia ( $E$ ) wyrażone w luxach.

Parametrami ocenianymi są natomiast:

- promień oświetlenia terenu z zadaniem natężeniem ( $r_i$ )
- czas efektywnego świecenia ładunku ( $T_{ei}$ ).

Gdzie indeksem „i” oznaczono wartość natężenia oświetlenia w luxach odpowiadającą danemu parametrowi.

Zgodnie z danymi zachodnimi przyjęto, że do prowadzenia obserwacji pola walki wymagane jest oświetlenie terenu o natężeniu 1÷2 lx., natomiast do identyfikacji celów umożliwiającej prowadzenie ognia kierowanego, minimum 5 lx. W tym przypadku wymieniony indeks „i” przyjmuje wartości odpowiednio: 1, 2 lub 5 lx.

Stosując przyjęte oznaczenia oraz traktując ładunek oświetlający jako punktowe źródło światła, natężenie oświetlenia w punktach na powierzchni sfery o promieniu  $R$  określimy ze znanej zależności fotometrycznej:

$$E = \frac{I}{R^2}; \quad (1)$$

Stąd promień sfery o stałym natężeniu oświetlenia ( $E_i$ ) wyniesie:

$$R_i = \sqrt{\frac{I}{E_i}}; \quad (2)$$

Wykorzystując związki geometryczne przedstawione na rys. 1, zależność na promień oświetlenia terenu ( $r_i$ ) z natężeniem nie mniejszym niż  $E_i$  można zapisać w postaci:

$$r_i = \sqrt{R_i^2 - y^2}; \quad (3)$$

gdzie:  $y$  – bieżąca wysokość ładunku.

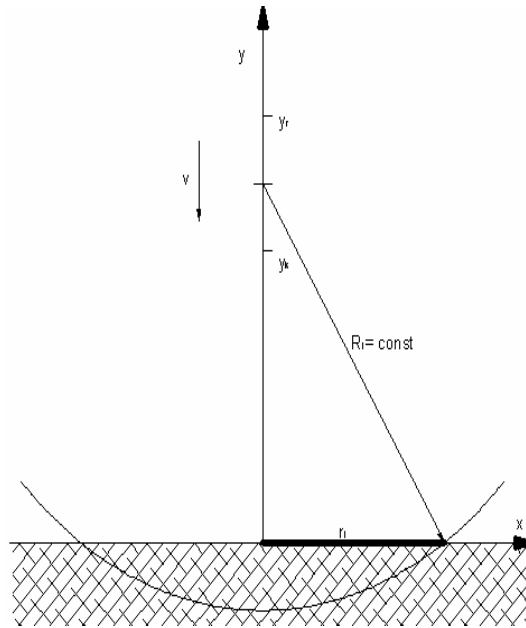
$$R_i \geq y$$

Dla stałej prędkości opadania ładunku zależność (3) przyjmie postać:

$$r_i = \sqrt{\frac{I}{E_i} - (y_r - vt)^2}; \quad (4)$$

gdzie:  $0 \leq t \leq T$ ;

$$\frac{I}{E_i} \geq (y_r - vt)^2.$$



Rys.1 Określenie promienia oświetlenia terenu  $r_i$ .

$$r_i = \sqrt{R_i^2 - y^2}; \quad (3)$$

gdzie:  $y$  – bieżąca wysokość ładunku;

$$R_i \geq y$$

Dla stałej prędkości opadania ładunku zależność (3) przyjmie postać:

$$r_i = \sqrt{\frac{I}{E_i} - (y_r - vt)^2}; \quad (4)$$

gdzie:  $0 \leq t \leq T$

$$\frac{I}{E_i} \geq (y_r - vt)^2.$$

Ze związku (3) wynika, że promień oświetlenia terenu jest funkcją wysokości świecenia ( $y$ ), która jest zmienna. W praktyce operuje się zwykle pojęciem średniego promienia oświetlenia:

$$\bar{r}_i = \frac{r_{ir} + r_{ik}}{2}; \quad (5)$$

gdzie:  $r_{ir}$ ;  $r_{ik}$  – promień oświetlenia odpowiadający początkowi i końcowi świecenia.

Czas efektywnego oświetlenia terenu z natężeniem nie mniejszym niż  $E_i$  wyniesie odpowiednio:

$$\left. \begin{array}{l} \text{a) } T_{ei} = 0; \quad \text{dla } y_k \geq R_i \\ \text{b) } T_{ei} = T; \quad \text{dla } y_r \leq R_i \\ \text{c) } T_{ei} = \frac{R_i - y_k}{v}; \quad \text{dla } y_r \geq R_i \geq y_k \end{array} \right\} \quad (6)$$

gdzie:  $y_k$  - wysokość końca świecenia ładunku.

Projektując nowy ładunek oświetlający należy dążyć, aby czas efektywnego świecenia dla rozpatrywanego natężenia oświetlenia był równy całkowitemu czasowi spalania ładunku (T). Dobór taki pozwoli bowiem na racjonalne wykorzystanie całej masy pirotechnicznej

W oparciu o wyznaczone zależności, w tablicy 1 zamieszczono porównanie 120 mm i 80 mm amunicji moździerzowej oświetlającej produkcji krajowej oraz amunicji szwedzkiej. Z tablicy wynika, że krajowe ładunki oświetlające posiadają 3÷5 razy niższą światłość oraz 1,5÷1,8 razy dłuższy czas świecenia. Ponadto ładunki krajowe zapalają się na wysokości 500 m natomiast ładunki szwedzkie na wysokości 300 m. Prędkość opadania ładunków krajowych na spadochronie jest ok. 1,5 raza większa niż ładunków szwedzkich. Wyniki obliczeń analizowanej amunicji w formie graficznej przedstawiono na rys. 2÷5. Zamieszczone tam nomogramy umożliwiają wizualną ocenę jakości ładunków, prawidłowości doboru wysokości rozpalenia ładunków oraz prędkości ich opadania na spadochronie.

Tablica 1

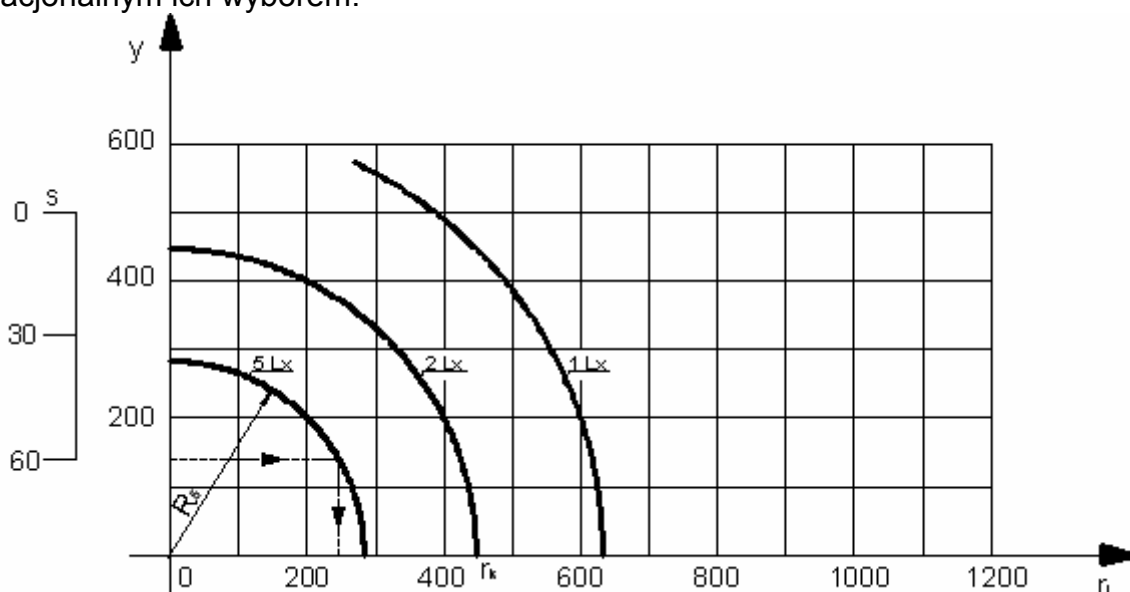
Parametr \ Rodzaj pocisku	120 mm Os-843	120 mm STELLA	82 mm Os-832	81 mm LOTTA
Wysokość $y_r / y_k$ ; m	500/140	300/140	500/170	300/180
Czas świecenia ładunku T; s	60	40	55	30
Światłość ładunku I; cd	400000	1300000	170000	900000
Prędkość opadania v; m/s	6	4	6	4
Promień sfery o natężeniu 1 lx $R_1$ ; m	632	1140	412	948
Promień sfery o natężeniu 2 lx $R_2$ ; m	447	806	291	670
Promień sfery o natężeniu 5 lx $R_5$ ; m	283	510	184	424
Czas efektywnego oświetlenia $T_{e1}$ ; s	60	40	40	30
Czas efektywnego oświetlenia $T_{e2}$ ; s	51	40	20	30
Czas efektywnego oświetlenia $T_{e5}$ ; s	24	40	2	30
Promień oświetlenia terenu $r_1$ ; m	386÷616	1100÷1131	0÷375	900÷931
Promień oświetlenia terenu $r_2$ ; m	0÷425	748÷794	0÷237	600÷646
Promień oświetlenia terenu $r_5$ ; m	0÷246	412÷490	0÷71	300÷384
Średni promień oświetlenia $\bar{r}_1$ ; m	501	1115	187	916
Średni promień oświetlenia $\bar{r}_2$ ; m	212	771	118	623
Średni promień oświetlenia $\bar{r}_5$ ; m	123	451	36	342

Wynika z nich niewątpliwa wyższość amunicji szwedzkiej nad amunicją krajową. Oprócz bardzo małych promieni oświetlenia terenu, co jest wynikiem małej światłości ładunków, amunicja krajowa charakteryzuje się dużą wysokością rozpalenia oraz stosunkowo dużą prędkością opadania ładunku na spadochronie, co w konsekwencji powoduje, że czas efektywnego oświetlenia terenu z zadaniem natężeniem jest

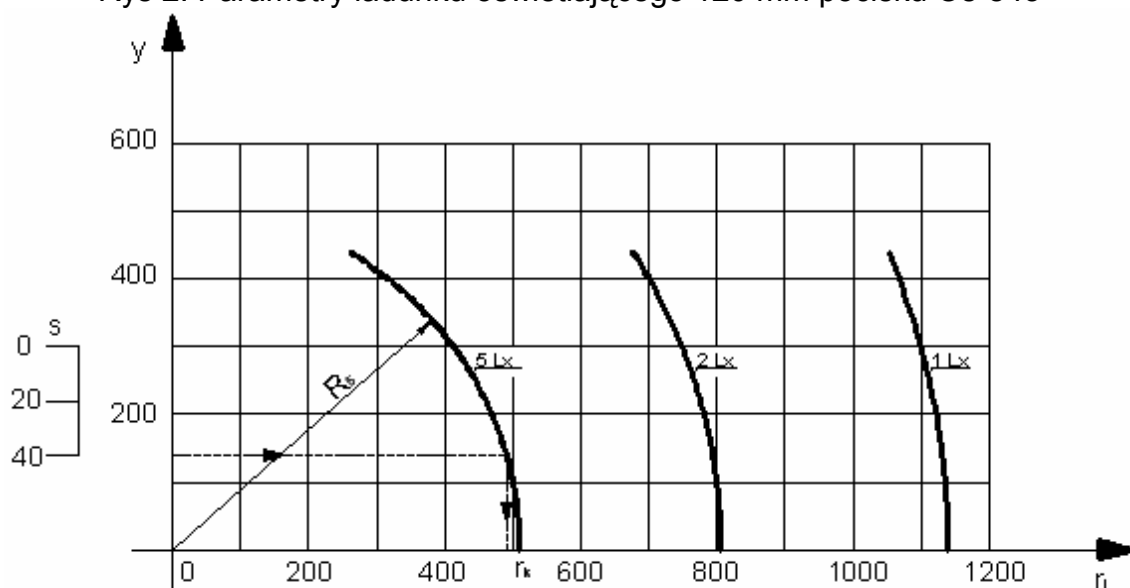
mniejszy od całkowitego czasu świecenia ładunku. W praktyce oznacza to, że część ładunku w początkowym okresie spala się bezproduktywnie. Na przykład w przypadku ładunku z pocisku Os-843 (rys. 2) efektywny czas oświetlenia terenu z natężeniem powyżej 5 lx obejmuje zaledwie ostatnie 24 s. Z rysunku wynika, że pewną poprawę efektywności świecenia tego ładunku można uzyskać obniżając wysokość rozcalenia pocisku np. do 400 m oraz zmniejszając prędkość opadania na spadochronie do 3 m/s. Podobne wnioski dotyczą również pocisku Os 832.

### 3. Zasady racjonalnego wyboru parametrów

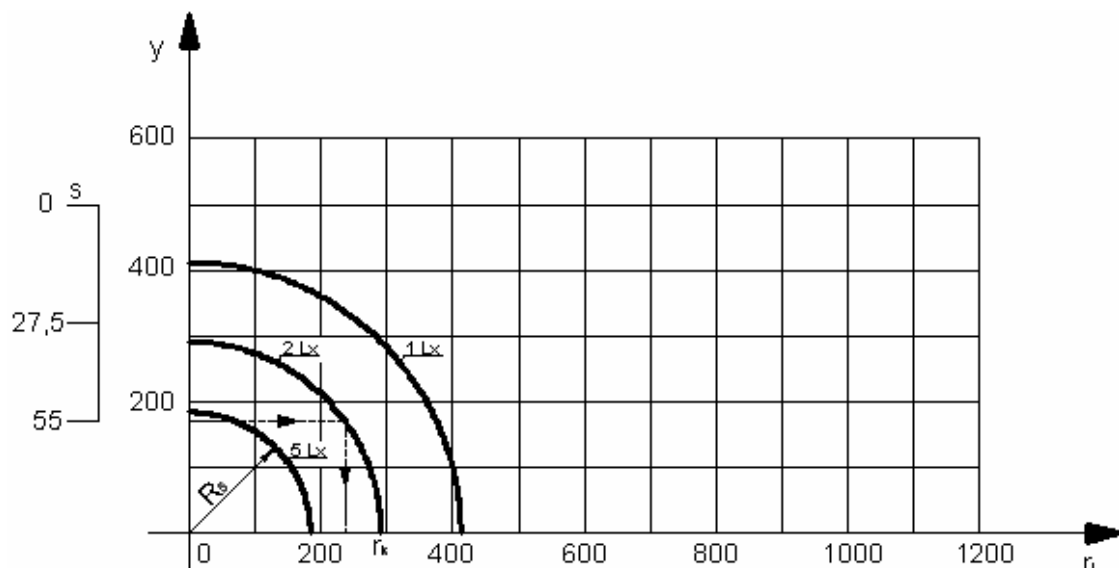
Przeprowadzone obliczenia wykazały, że wielkość promienia oświetlenia ( $r_i$ ) jest monotonicznie rosnącą funkcją światłości ładunku. Z tego względu mamy tu do czynienia nie tyle z zagadnieniem optymalizacji parametrów ładunku co z racjonalnym ich wyborem.



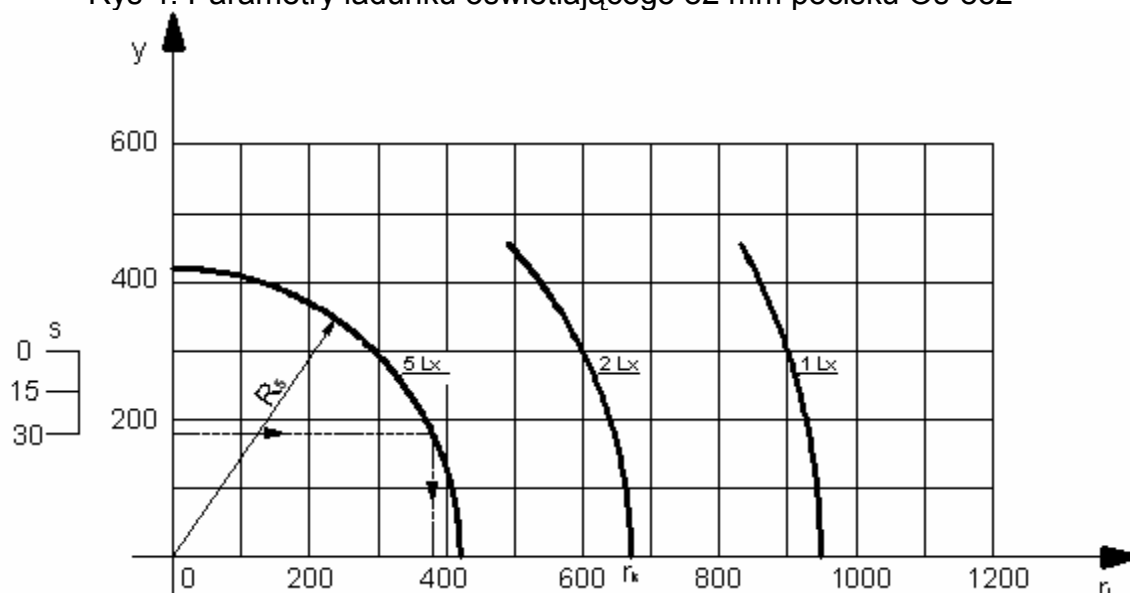
Rys 2. Parametry ładunku oświetlającego 120 mm pocisku Os-843



Rys 3. Parametry ładunku oświetlającego 120 mm pocisku STELLA



Rys 4. Parametry ładunku oświetlającego 82 mm pocisku Os-832



Rys 5. Parametry ładunku oświetlającego 81 mm pocisku LOTTA

Proces wyboru parametrów jest zagadnieniem wielokryterialnym i powinien być przeprowadzony według niżej przedstawionych etapów.

W pierwszym etapie projektowania ładunku należy metodą odpowiedniego doboru składu masy pirotechnicznej zapewnić jak największą światłość ładunku przy możliwie małej prędkości spalania co między innymi sprzyja wzrostowi promienia oświetlenia terenu. Przy doborze składników masy pirotechnicznej należy brać pod uwagę zarówno istniejące już rozwiązania w tym zakresie jak i realne możliwości materiałowo-technologiczne.

W drugim etapie, przy istniejących ograniczeniach konstrukcyjnych ładunku (w zakresie wysokości, masy, itp.) wyliczeniu podlega całkowity czas świecenia w oparciu o przewidywaną prędkość spalania masy pirotechnicznej. Określone w ten sposób parametry podlegają praktycznej weryfikacji metodą stacjonarnych badań modeli rzeczywistych.

W ostatnim, trzecim etapie dla rzeczywistych wartości światłości i czasu świecenia sporządza się nomogramy  $r_i = f(R_i)$ , na podstawie których dobiera się wysokość rozcalenia pocisku, wysokość końca świecenia oraz czas opadania na spadochronie.

Przy określaniu wysokości rozcalenia pocisku należy dążyć aby ona była nie większa od promienia  $R_5$  co zapewni pełne wykorzystanie czasu świecenia ładunku.

Wysokość końca świecenia ładunku powinna być jak najniższa. Przy jej doborze należy kierować się głównie zapewnieniem bezpieczeństwa oświetlanego terenu przed zapaleniem. W tym kontekście powinno się uwzględnić dokładność sporządzenia tabel strzelniczych, tolerancję czasu palenia ładunku oraz dokładność działania zapalnika.

Prędkość opadania na spadochronie określa się z zależności:

$$v = \frac{y_r - y_k}{T} \quad (7)$$

#### 4. Podsumowanie

Przedstawiona metoda dotyczy racjonalnego doboru głównych parametrów, rzutuujących na jakość projektowanego ładunku oświetlającego. Generalnie w procesie tym uwzględniając ograniczenia konstrukcyjne i bezpieczeństwa należy dążyć do zapewnienia możliwie jak największej światłości ładunku, małej wysokości rozcalenia oraz małej prędkości opadania na spadochronie.

#### Literatura

1. Pirotechniczne środki oświetlające, *Instrukcja Uzbrojenia MON sygn. Uzbr.143/61.*