

mjr dr inż. Rafał BAZELA  
dr inż. Piotr BRZOZOWSKI  
ppłk dr inż. Mariusz MAGIER  
Wojskowy Instytut Techniczny Uzbrojenia

## **OPIS KONSTRUKCJI I WYKONANIE MODELI FUNKCJONALNYCH LASEROWEGO ZAPALNIKA ZBLIŻENIOWEGO**

**Streszczenie.** W pracy przedstawiono konstrukcję laserowego zapalnika zbliżeniowego do amunicji moździerzowej, który wykonano i przebadano w Zakładzie Uzbrojenia Artyleryjskiego w ramach realizacji projektu badawczego rozwojowego nr R00 0001 06.

## **THE CONSTRUCTION OF THE PROXIMITY LASER FUSE FOR MORTAR AMMUNITION**

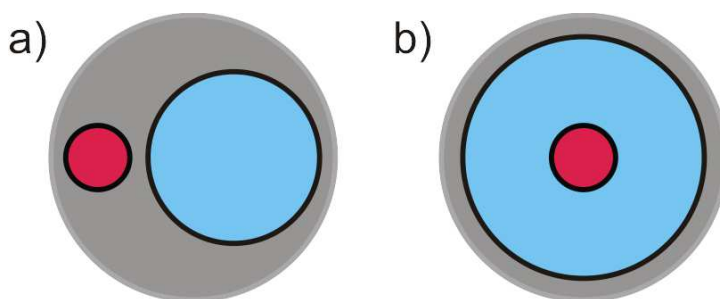
**Abstract.** In this paper we present the construction of the laser proximity fuze for mortar ammunition.

### **1. Wstęp**

Określenie wymagań i opracowanie koncepcji sensora zbliżeniowego pozwoliło na rozpoczęcie prac związanych z fizyczną realizacją zasadniczych elementów sensora laserowego. Prace te przebiegały wielotorowo. Jednocześnie prowadzono prace nad optyką toru nadawczo-odbiorczego, konstrukcją mechaniczną modułu optyki oraz wyborem elementów i schematami elektroniki. Najważniejszymi elementami wykonawczymi układu nadawczo-odbiorczego dalmierza laserowego są dioda laserowa oraz fotodiody lawinowe. Zgodnie z wymaganiami oraz koncepcją, dioda laserowa musiała spełniać kilka warunków. Najważniejsze z nich to zakres widma (prążek widma) diody laserowej, czyli w tym przypadku zakres bliskiej podczerwieni, moc optyczna diody, zdolność do pracy z krótkimi impulsami, maksymalna częstość generacji impulsów, napięcie polaryzacji, prąd maksymalny oraz zakres dopuszczalnych temperatur. Kolejnym kluczowym elementem jest fotodiody. Z racji potrzeby wysokiej czułości wybór musiał być ograniczony do fotodiod lawinowych. Tutaj najważniejsze były: dopasowanie charakterystyk widmowych fotodiody i diody laserowej, wysokie wzmocnienie wewnętrzne i czułość, duża szybkość pracy (niska pojemność struktury), parametry szumowe oraz zakres dopuszczalnych temperatur pracy. W każdym przypadku istotne były gabaryty, cena (ze względu na ograniczone środki projektu zrezygnowano ze specjalistycznych rozwiązań dedykowanych) i dostępność rynkowa (elementy musiały być dostępne w zarówno w małych, jak i dużych ilościach, a ponadto ich zakup nie wiązał się z koniecznością uzyskiwania zgody na import). W przypadku przetwornicy 300V podstawowym kryterium wyboru były: zakres napięć wejściowych i wyjściowych, gabaryty oraz zakres dopuszczalnych temperatur pracy. Pozyskana przetwornica jest jedną z najmniejszych w swojej klasie, a jej objętość ogranicza się do ok. 1,5cm<sup>3</sup>. Ostatnim z kluczowych elementów było źródło zasilania. Z powodu spodziewanego

dużego poboru mocy (głównie za sprawą przetwornicy) konieczne było znalezienie baterii o dużej wydajności prądowej (rzędu 0.5A) w czasie do kilkudziesięciu sekund. Tak duży pobór prądu i jednocześnie szeroki wymagany zakres temperatur pracy dość mocno ograniczały wybór spośród modeli baterii dostępnych na rynku. Poszukiwania zakończone zostały jednak sukcesem gdyż zakupione baterie spełniają wszystkie stawiane im wymagania przy umiarkowanych gabarytach.

Prace nad modułem optycznym sensora prowadzone były we współpracy z konsorcjantem. Wymagania taktyczne oraz mechaniczne stawiane sensorowi oraz całemu zapalnikowi zbliżeniowemu rzutowały na przyjęte rozwiązania konstrukcyjne. Rozważano dwa warianty. Jeden z nich zakładał, że optyki torów nadawczego i odbiorczego będą umieszczone obok siebie (patrz rysunek 1 wariant a). Rozwiązanie takie jest prostsze w realizacji. Niestety ma kilka wad. Po pierwsze tor optyczny nie wykorzystuje maksymalnej dostępnej powierzchni czoła modułu optycznego. Ilość promieniowania podczerwonego padającego na fotodiode jest wprost proporcjonalna do powierzchni optyki, a to bezpośrednio rzutuje na czułość toru odbiorczego. Kolejną wadą jest brak współbieżności osi obu torów, a stąd problem z efektywnym odbiorem odbitej wiązki laserowej. Optymalne pokrycie toru nadawczego i odbiorczego może być uzyskane tylko dla wąskiego zakresu mierzonych odległości - w przypadku gdyby obie osie zbiegały się w jednym punkcie. Wad tych niema wariant b. Oba tory pokrywają się niezależnie od odległości (tory współosiowe), powierzchnia toru odbiorczego jest maksymalną możliwą do uzyskania. Również to rozwiązanie obciążone jest wadami/niedogodnościami. Przede wszystkim, wykonanie takiego modułu jest trudniejsze z racji konieczności wykonania precyzyjnego otworu w optyce oraz umocowaniu w nim diody laserowej wraz z jej optyką. Ponadto umieszczenie diody laserowej na środku optyki odbiorczej wymusza wydłużenie całego modułu optycznego. Ostatecznie uznano, że wariant b lepiej spełnia wymagania i został zaakceptowany jako podstawa do rozpoczęcia prac związanych z projektowaniem optyki i mechaniki modułu.

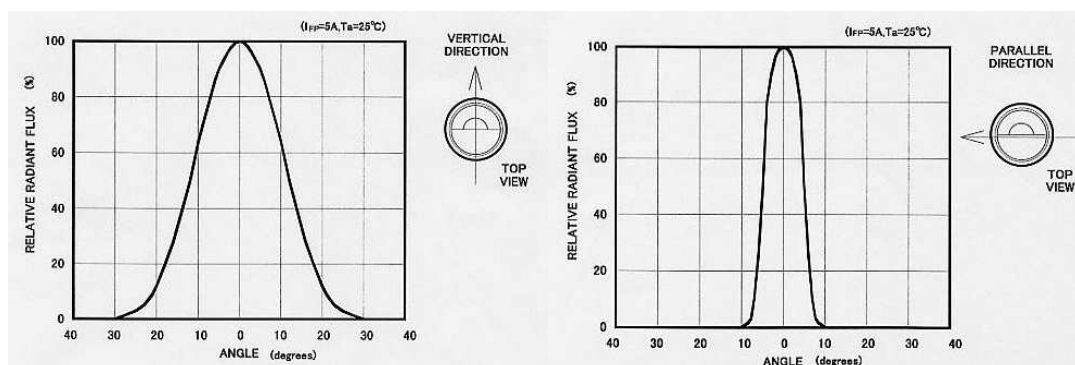


**Rys. 1. Front modułu optycznego. Warianty rozmieszczenia torów nadawczego (kolor czerwony) i odbiorczego (kolor niebieski).**

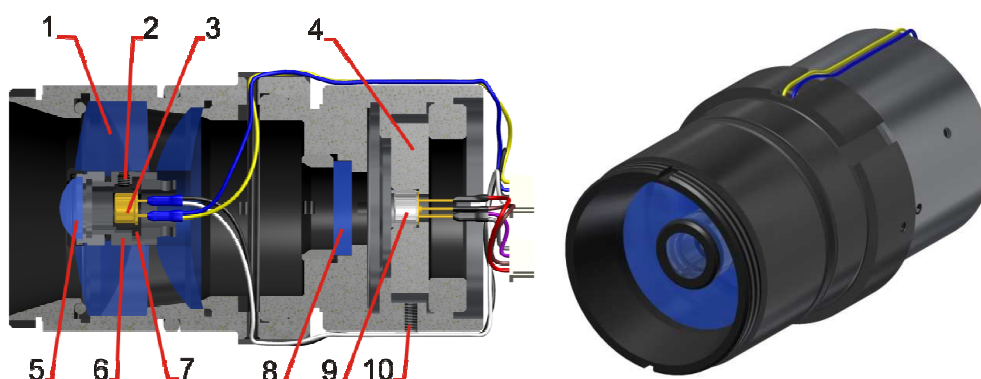
## **2. Opis prac konstrukcyjnych nad laserowym zapalnikiem zbliżeniowym**

Prace konstrukcyjne rozpoczęto od wykonania obsady diody laserowej oraz dobraniem soczewki. Zastosowano diodę impulsową o mocy 5W zapewniającą odpowiedni zakres pomiarowy odległości. Należy w tym miejscu zauważyć, że wiązka półprzewodnikowej diody laserowej nie posiada cech typowych dla wiązki laserów gazowych. Lasery gazowe mogą generować ultrakrótkie impulsy, wysoce spójne wiązki światła o przekroju kołowym. Półprzewodnikowe laserowe nie wykazują takich cech. Powierzchnia struktury półprzewodnikowej lasera emitująca światło ma kształt znacznie wydłużonego prostokąta. Zastosowana dioda laserowa ma strukturę o wymiarach 1x70µm.

Ponadto zbieżność wiązki w diodach laserowych jest daleka od wymaganej. Typowa rozbieżność wiązki i jej anizotropia przedstawiona jest na poniższy rysunku (patrz rysunek 2). Tak silna anizotropia uniemożliwia zastosowanie typowej soczewki sferycznej. Do kolimacji konieczne było dobranie odpowiedniej soczewki asferycznej, która pozwoliła w znaczny stopniu pozbyć się tego efektu. O ile uzyskana zbieżność jest zadowalająca o tyle nie można rozwiązać problemu wydłużonej struktury, wynikiem, czego jest wiązka o przekroju silnie elipsoidalnym a więc niekorzystnym z punktu widzenia dopasowania powierzchni wiązki nadawczej do toru odbiorczego.



**Rys. 2. Wykresy kierunkowości wiązki emitowanej przez półprzewodnikową diodę laserową. (źródło Hamamatsu Photonics „860nm Pulse Laser Diode” datasheet)**



**Rys. 3. Projekt modułu optycznego dla zapalnika laserowego. Cyframi oznaczono elementy składowe: 1-optyka toru odbiorczego, 2-obsada regulacyjna diody laserowej, 3-dioda laserowa, 4-obsada regulacyjna fotodiody, 5-soczewka asferyczna diody laserowej, 6-element regulacyjny osiowy diody laserowej, 7-obsada diody laserowej, 8-filtr optyczny, 9-fotodioda lawinowa, 10-kołki regulacji fotodiody**

Tor odbiorczy modułu optycznego składa się z trzech elementów optycznych (patrz Rys. 3). Pierwsza dwa z nich to soczewki, które w zestawie tworzą soczewkę płasko-wypukłą (element 1). Wraz z kolejną wypukło-wypukłą soczewką skupiają na aktywnej powierzchni fotodiody lawinowej światło wpadającego od frontu modułu. Światło przechodzi dalej przez ostatni z elementów toru odbiorczego tj. filtr (oznaczony cyfrą 8). Zadaniem filtru (wykonanego ze szkła barwionego) jest usunięcie/stłumienie z widma zakresu odpowiadającego długościom fali światła widzialnego. Filtr przepuszcza promieniowanie z zakresu bliskiej i dalekiej podczerwieni. Widzialny zakres widma jest w tym przypadku tylko i wyłącznie źródłem niepożądanego sygnału zakłócającego pracę dalmierza. Istotne jest, aby dla uzyskania maksymalnej czułości toru odbiorczego wiązka formowana przez soczewki

w całości była odwzorowana na fotodiodzie. Regulacja położenia fotodiody wzdłuż osi optycznej w module odbywa się za pomocą wkrętki (element 4) natomiast regulacja w płaszczyźnie prostopadłej do osi wykonywana jest za pomocą trzech kołków regulacyjnych (element 10).

W projekcie mechanicznym zadbano o szczelność i wytrzymałość na udary.

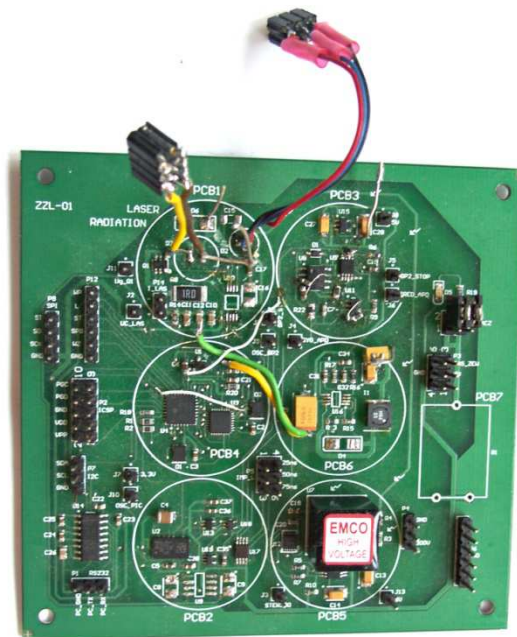


**Rys. 4. Zdjęcia jednego z wykonanych modułów optyki dla laserowego zapalnika zbliżeniowego**

Mechaniczne elementy składowe oraz soczewki optyki toru odbiorczego modułu zostały wykonane w całości w kraju. Pozostałe elementy, w tym soczewka asferyczna dla diody laserowej oraz elementy elektroniczne (dioda laserowa i fotodioda lawinowa), pochodzą z importu. Zdjęcia jednego z wykonanych modułów optycznych przedstawiono na rysunku 4.

## **2.1. Wykonanie wstępnego modelu modułu elektroniki do badań laboratoryjnych**

Dla potrzeb pierwszych testów działania sensora zbliżeniowego wykonano wstępny model modułu elektroniki (nie przystosowany do montażu w zapalniku). Model ten zawierał wszystkie podzespoły rozwiązania docelowego (patrz rysunek 5). W roli nośnika elementów wykorzystano klasyczny laminat do obwodów drukowanych (FR4). Schemat połączeń i projekt płytki opracowano w WITU. Wykonanie fizyczne płytki drukowanej oraz montaż elementów zlecono partnerowi konsorcjum. Elementy elektroniczne potrzebne do projektu (poza nielicznymi wyjątkami) pochodzą z importu. Za dostarczenie elementów niezbędnych do wykonania płytek również odpowiadał konsorcjant. Krajowy przemysł produkcji elementów tego typu nie istnieje. Po wlutowaniu elementów gotowa płytka została sprawdzona pod kątem zgodności z projektem i poprawności montażu. W dalszej kolejności przeprowadzono uruchomienie płytki i przekazano ją do badań laboratoryjnych.

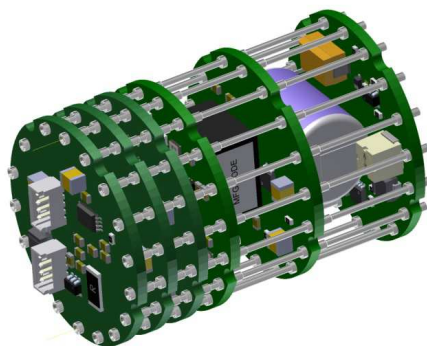


**Rys. 5. Zmontowana płytki testowa do badań zasadniczych elementów laserowego sensora zbliżeniowego.**

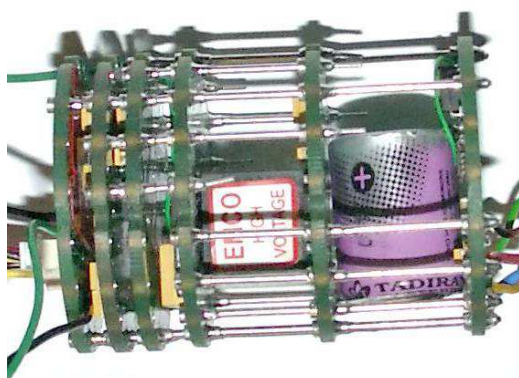
## **2.2. Opracowanie i wykonanie modułu elektroniki dla laserowego zapalnika zbliżeniowego**

Wyniki uzyskane z badań i testów wstępnego modelu sensora zbliżeniowego umożliwiły podjęcie prac w celu dostosowania modułu elektroniki do wymagań stawianych elektronice stosowanej w zapalnikach. Średnica otworu mocującego zapalnik ze skorupą pocisku moździerzowego ogranicza rozmiary płytek elektroniki, które można umieścić w zapalniku. Konieczny był podział projektu na płytki składowe o zadanej średnicy (patrz rysunki 6 i 7). Połączenia elektryczne między płytkami zapewniają cynkowane kołki. Oprócz funkcji elektrycznej pełnią one również funkcję mechaniczną ustalając wymagane odległości między płytkami. Dzięki dużej średnicy kołków rezystancja połączeń elektrycznych jest niska. W trakcie projektowania płytek problemem było uzyskanie optymalnego podziału bloków układu na poszczególnych płytkach. Należało zapewnić jak najkrótsze połączenia dla sygnałów analogowych z bloku wzmacniaczy, a jednocześnie zapewnić dobrą separację od sygnałów zakłócających w układzie, tj. silnoprądowy sygnał dla diody laserowej, wysokie napięcie dla fotodiody lawinowej czy przetwornicy napięcia z baterii. Sygnały zegarowe dla układów logicznych (mikrokontrolera oraz układu pomiaru krótkich impulsów) zapewniają dwa generatory typu MEMS. Ich ogromną zaletą jest wysoka precyzja działania przy jednoczesnej bardzo wysokiej odporności na udary mechaniczne. Klasyczne układy zegarowe w postaci rezonatorów kwarcowych nie są w stanie sprostać wymogowi dużej odporności na narażenia występujące podczas strzału. Podobnie jak poprzednio projekty obwodu drukowanego wykonano w WITU, a wykonanie płytek i lutowanie elementów powierzono partnerowi konsorcjum. Również w tym przypadku wykonane płytki zostały sprawdzone pod kątem zgodności wykonanych druków z projektem i poprawność montażu wszystkich elementów. Pozytywny wynik oględzin pozwolił na przeprowadzenie procedury uruchomienia modułu i przekazanie go do badań laboratoryjnych.





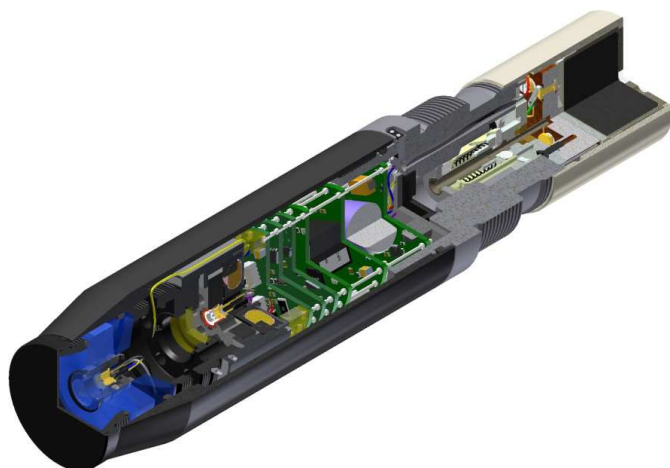
**Rys. 6. Wizualizacja projektu modułu elektroniki zapalnika. Widoczne największe elementy modułu tj. bateria oraz przetwornica wysokiego napięcia.**



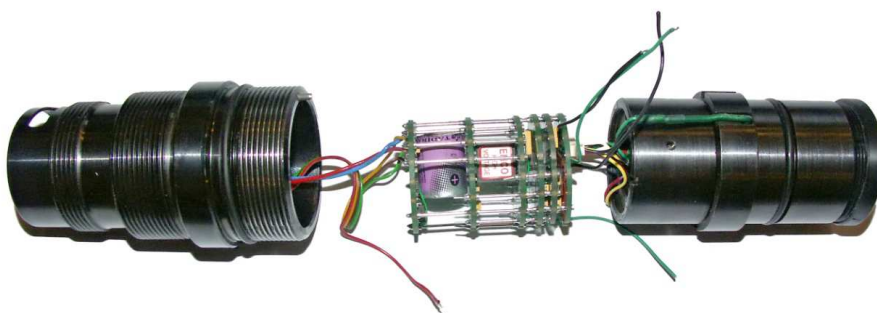
**Rys. 7. Zdjęcie jednego z wykonanych modułów.**

### **2.3. Projekt i wykonanie mechanicznej części zapalnika laserowego**

Ustalenie wymiarów zarówno modułu optyki jak i modułu elektroniki pozwoliło na określenie ostatecznych wymiarów zapalnika jako całości oraz umożliwiło zaprojektowanie konstrukcji mechanicznej całego zapalnika. Projekt wykonano wspólnym wysiłkiem inżynierów z WITU. W trakcie powstawania projektu zadbano o zapewnienie szczelności zmontowanego zapalnika. Jako podstawowy materiał konstrukcji mechanicznej wykorzystano stal nierdzewną ze względu na jej wytrzymałość i sztywność. Wizualizacja całego projektu zapalnika przedstawiona jest na rysunku 8. Wykonane elementy mechaniczne przedstawiono na rysunkach 9, 10.



**Rys. 8. Wizualizacja finalnego projektu laserowego zapalnika zbliżeniowego.**



**Rys. 9. Zdjęcie elementów składowych zapalnika laserowego przed ostatecznym zmontowaniem. Widoczne są: moduł optyki, moduł elektroniki oraz mechanika z gwintem mocującym zapalnik w pocisku.**



**Rys. 10. Zdjęcia laserowego zapalnika w bez osłony i po całkowitym jego zmontowaniu.**

Opis badań laboratoryjnych przedstawionej konstrukcji laserowego zapalnika zbliżeniowego zostaną przedstawione w kolejnych publikacjach.

*Praca naukowa finansowana ze środków Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego w latach 2008-2010 jako projekt badawczy rozwojowy nr R00 0001 06.*