

## **ZAPEWNIENIE BEZPIECZEŃSTWA W SYSTEMACH ZAPALNIKOWYCH W ŚWIETLE RATYFIKACJI STANAG 4187**

*W artykule znajdują się wymagania dotyczące projektowania i eksploatacji zapalników w zakresie bezpieczeństwa zawarte w STANAG 4187 oraz AOP 16.*

### **1. Wstęp**

Zapalnik jest to urządzenie przeznaczone do spowodowania zapalenia lub wybuchu ładunku bojowego określonego rodzaju amunicji w żądanym miejscu i czasie. Zapalnik powinien zawierać zespoły (układy), które:

- umożliwiają inicjowanie detonacji ładunku,
- zapewniają zabezpieczenie przed przypadkową i przedwczesną inicjacją elementów pirotechnicznych w każdej fazie przygotowania amunicji, jak również w trakcie testów i przeglądów,
- rozpoznają lub wyznaczają okoliczności, w których elementy pirotechniczne mają zadziałać.

Zapalnik jest urządzeniem złożonym. Może zawierać: źródła zasilania, przełączniki elektroniczne/elektromechaniczne, czujniki parametrów fizycznych (otoczenia), obwody sterowania, a także inne układy i zespoły, zależnie od przeznaczenia, np. układ samolikwidacji.

W roku 2006 Polska wprowadziła normę NO-13-A233 „Systemy zapalnikowe. Zapewnienie bezpieczeństwa. Wymagania konstrukcyjne”. Norma ta jest tłumaczeniem angielskiej wersji dokumentu STANAG 4187 ED 3. „Fuzing systems. Safety design requirements” zawiera ona wymagania dotyczące projektowania i eksploatacji zapalników w zakresie bezpieczeństwa. Należy dodać że STANAG 4187 jest porozumieniem standaryzacyjnym. Uczestniczące w porozumieniu państwa zgadzają się projektować zapalniki zgodnie z wymaganiami STANAG 4187. Na straży przestrzegania porozumienia stoją krajowe komisje zatwierdzające wymagania bezpieczeństwa (NSAA).

Norma ma zastosowanie przy pracach konstrukcyjnych oraz badawczych dotyczących nowych zapalników, opracowywanych po wprowadzeniu normy, do wszystkich typów amunicji poza:

- amunicją jądrową;
- flarami oraz racami sygnałowymi odpalanymi ręcznie, przykładami takiej amunicji są flary sygnałowe odpalane z ręki oraz petardy, granaty ręczne, dymne, sygnałowe oraz niektóre miny;
- pirotechnicznymi systemami zakłócającymi, przykładami takiej amunicji są lotnicze flary wabiące oraz wabiki podczerwieni;
- amunicją, która według NSAA przeznaczona jest do detonacji, deflagracji lub dyspersji bez konieczności zabezpieczenia, przykładami są układy pirotechniczne przeznaczone do katapult dla pilotów, rygli pirotechnicznych, niektórych urządzeń EOD oraz urządzeń przeciwpożarowych;

- amunicją która według NSAA podczas eksploatacji nie wymaga stosowania zapalnika;
- amunicją miotaną ręcznie.

W tym samym czasie wprowadzono również normę NO-13-A234 „Systemy zapalnikowe Zapewnienie bezpieczeństwa Metody konstrukcyjne”, w której podano podstawowe wskazówki dla projektantów zapalników dotyczące wymagań bezpieczeństwa zawartych w STANAG 4187. Zawarte w tym dokumencie wskazówki wynikają z długoletnich doświadczeń, prac koncepcyjnych i określenia zasad i dobrych nawyków projektowych oraz logicznego wnioskowania. Norma NO-13-A234 jest tłumaczeniem z modyfikacjami angielskiej wersji dokumentu normalizacyjnego AOP-16:1999 (edycja 3) – „Fuzing systems: Guidelines for STANAG 4187.”

## 2. Podstawowe wymagania bezpieczeństwa

Zapalniki powinny posiadać przynajmniej dwa zabezpieczenia. Zabezpieczenia powinny być funkcjonalnie oddzielone od innych procesów zachodzących w zapalnikach i każde z nich powinno zabezpieczać zapalnik przed niezamierzonym uzbrojeniem. Układ zabezpieczenia jest kombinacją elementów obejmujących zwykle: czujnik, układ logiczny oraz mechaniczne lub elektroniczne urządzenie chroniące bezpośrednio przed uzbrojeniem się zapalnika. Czujnik dostarcza informacje o bodźcach fizycznych oddziałujących na zapalnik. Informacja ta jest oceniana przez układ logiczny, czy osiągnięte zostały założone warunki uzbrojenia, jeśli wystąpiły, to zezwala na uzbrojenie się. Kombinacje czujników i układów logiki mogą zmieniać się od prostych urządzeń mechanicznych, które próbują stan otoczenia i wykonują funkcję logiczną aż do matrycy czujników, które przekazują informację do elektronicznego układu logiki.

Parametrami fizycznymi zalecanymi jako bodziec aktywujący dla zabezpieczeń są:

- ciśnienie gazów prochowych w komorze naboju,
- ciśnienie robocze w komorze silnika raketowego,
- przyspieszenie poosiowe podczas ruchu pocisku w lufie,
- prędkość obrotowa podczas ruchu pocisku w lufie i na torze lotu,
- Przyspieszenie poosiowe na aktywnym odcinku toru lotu,
- ciśnienie barometryczne,
- opóźnienie wywołane oporem powietrza na torze lotu,
- stan nieważkości,
- działania podjęte w celu użycia (miotania) amunicji.

W zapalnikach z przerywanym łańcuchem ogniowym układ uzbrajania powinny nadzorować przynajmniej dwa niezależne zabezpieczenia bezpośrednio przy użyciu dwóch przegród. Przegroda jest to element mechaniczny, który bezpośrednio przerywa łańcuch ogniowy, zwykle blokowany przy użyciu rygla. Stosowanie dwóch rygla funkcjonalnie połączonych ze sobą nie spełnia wymagania dwóch niezależnych zabezpieczeń.

W zapalnikach bez przerywanego łańcucha ogniowego dostarczanie energii potrzebnej do uzbrojenia powinny kontrolować przynajmniej dwa niezależne zabezpieczenia. Każde z nich powinno uniemożliwiać niezamierzony dopływ energii do urządzenia magazynującego energię (np. kondensator), co najmniej do chwili, gdy pocisk znajdzie się w bezpiecznej odległości od wylotu lufy.

Przerywacze, które działają niezależnie od siebie, ale wykorzystują te same zjawiska fizyczne nie można traktować jako niezależnych i stanowiących osobne zabezpieczenie.

Dla zapewnienia odpowiedniej konstrukcji wszystkich układów zabezpieczeń, projektant powinien zwrócić szczególną uwagę na rząd wielkości aktywującego je bodźca fizycznego. Bodźce wykorzystane w procesie uzbrajania powinny mieć dopuszczalny margines bezpieczeństwa lub czas trwania powyżej wartości spodziewanych podczas cyklu

eksploatacji, a mniejszy od tych, które występują podczas strzału (odpalenia), by mogło nastąpić pewne uzbrojenie zapalnika. Zapalnik, w którym zaprojektowano właściwą kolejność oddziaływania bodźców oraz odpowiedni czas ich oddziaływania (określony wcześniej przez wymagania taktyczno-techniczne), posiada zwiększony w istotny sposób poziom bezpieczeństwa użytkownika.

Zapalnik powinien być zabezpieczony przed przypadkowym uzbrojeniem. Zabezpieczenie zapalnika powinno wykluczać możliwość ręcznego całkowitego uzbrojenia zapalnika kompletnego i nie powinno polegać wyłącznie na określonych rutynowych działaniach lub procedurach. Żadne pojedyncze wymuszenie nie może uzbroić zapalnika przed wystrzeleniem amunicji lub umieszczeniem jej w miejscu docelowym. Zapalnik powinien uzbrajać się w wyniku odpowiedniej sekwencji działań, które są następstwem wymuszeń w trakcie strzału lub po wystrzeleniu. Jeśli kryterium bezpieczeństwa wyznaczają nastawy zapalnika (np. czas uzbrojenia, czas działania lub czas włączenia czujnika zbliżeniowego), należy zadbać o zabezpieczenie nastawionych wartości przed niezamierzoną ich zmianą.

Ponadto preferuje się stosowanie zapalników wykorzystujących do uzbrojenia energię uzyskaną w wyniku zjawisk fizycznych zachodzących podczas wystrzału lub po wystrzeleniu, przed zapalnikami korzystającymi z energii zgromadzonej przed wystrzałem.

Elementy zapalnika, które odpowiadają za sterowanie procesem uzbrojenia, włączając w to urządzenia logiczne, powinny być przeznaczone tylko i wyłącznie do sterowania procesem uzbrajania zapalnika.

Zapalnik powinien być wyposażony w mechanizmy zapewniające maksymalny do osiągnięcia poziom bezpieczeństwa w przypadku uszkodzenia któregośkolwiek z jego elementów w czasie całego cyklu eksploatacji.

Zapalniki zawierające części elektromechaniczne i elektroniczne powinny posiadać niezależne systemy kontroli (np. układy logiczne), które są fizycznie odseparowane. Systemy te powinny być wykonane z użyciem elementów różnych typów tak, aby zminimalizować ryzyko wystąpienia jednocześnie tych samych usterek oraz zapewnić bezpieczeństwo podczas testowania, jeżeli testowana cecha albo badana funkcja zawodzi.

Zapalniki inicjowane elektrycznie powinny zawierać rozwiązanie pozwalające na rozładowanie energii pobudzenia po upływie okresu przydatności do użycia zapalnika. Czas potrzebny na rozproszenie energii do pobudzenia powinien być ograniczony do minimum dopuszczalnego przez wymagania taktyczne zapalnika. Układ rozładowania nie może wpływać negatywnie na całkowite bezpieczeństwo zapalnika przed uzbrojeniem.

Ponadto trzeba zadbać o bezpieczeństwo systemów obliczeniowych. Informacja pomiędzy czujnikami parametrów fizycznych a systemem uzbrajającym powinna być przesyłana przez określoną ścieżkę logiczną, przeznaczoną tylko do tego celu. Aby rozpocząć sekwencję zdarzeń prowadzącą do uzbrojenia zapalnika informacja otrzymana przez układ uzbrajający powinna być zweryfikowana jako prawidłowa komenda. Błędne lub zniekształcone dane nie mogą spowodować odbezpieczenia zapalnika. Należy zwrócić uwagę na to, aby sygnał kodujący lub konfigurujący zapalnik był wystarczająco unikatowy, aby odróżnić go od przypadkowych zakłóceń, np. ze strony zewnętrznych źródeł energii elektrycznej. Prawdopodobieństwo przypadku powodującego generację i podanie ciągłych lub kodowanych sygnałów jest znacznie mniejsze niż to, które powoduje generację i podanie niekodowanego sygnału impulsowego.

System obliczeniowy bezpośrednio odpowiedzialny za bezpieczeństwo powinien być integralną częścią zapalnika i nie może być sterowany z zewnątrz. System obliczeniowy użyty do wykonywania funkcji logicznych powinien być tak zaprojektowany, aby ułatwiać ocenę bezpieczeństwa.

Przy konstruowaniu zapalników należy zwrócić uwagę na zgodność funkcjonalną użytych elementów oraz na zapewnienie bezpieczeństwa zapalnika w trakcie montażu i uzbrajania amunicji

## **2.1 Zgodność funkcjonalna elementów**

Wszystkie części składowe zapalnika powinny być dobrane tak, aby podczas wszystkich możliwych narażeń występujących w warunkach naturalnych i wymuszonych podczas całego cyklu eksploatacji nie doszło w nieuzbrojonym zapalniku do żadnego z poniższych zdarzeń:

- przedwczesnego lub przypadkowego uzbrojenia albo zadziałania,
- wypływu lub wycieku materiału niebezpiecznego,
- deflagracji lub detonacji ładunku materiału wybuchowego elementu łańcucha ogniowego,
- tworzenia się niebezpiecznych lub w sposób niezamierzony reagujących składników, nie powinno się używać materiału, który mógłby przyczynić się do powstawania bardziej lotnych lub bardziej czułych składników. Jeśli dojdzie do użycia takiego materiału, to należy go umieszczać i przechowywać tak, aby zapobiec tworzeniu się niebezpiecznych związków,
- wytworzenia materiałów niebezpiecznych lub o niedopuszczalnym poziomie toksyczności,
- naruszenia bezpieczeństwa podczas rozbrajania, neutralizacji lub samozniszczenia, np. przez reakcję elektrochemiczną.

## **2.2 Wymagania bezpieczeństwa dla zapewnienia nieuzbrojenia się zapalnika w trakcie montażu i uzbrajania amunicji**

Aby wyeliminować przypadkowe uzbrojenie się zapalnika, powinien on posiadać jedną z następujących cech:

- zabezpieczenie przed zmontowaniem zapalnika w stanie uzbrojonym;
- kategoryczny, bezpośredni i jednoznaczny sposób określania, czy zapalnik jest w stanie nieuzbrojonym w czasie i po montażu oraz w trakcie uzbrajania amunicji w zapalnik. Jeśli możliwy jest dostęp do zapalnika po zamontowaniu go w amunicji, to należy również wtedy zapewnić możliwość określenia jego stanu. Dla zapalników z nieprzerywanym łańcuchem ogniowym należy w trakcie montażu w amunicji uniemożliwić gromadzenie się energii mogącej spowodować uzbrojenie zapalnika;
- żadna z metod służąca weryfikacji stanu zapalnika nie może wpływać na pogorszenie ogólnego bezpieczeństwa.

## **3. Ocena bezpieczeństwa zapalnika**

Aby określić stopień bezpieczeństwa podczas użytkowania zapalników należy przeprowadzić analizę bezpieczeństwa kompletnej amunicji (włączając w to zapalniki), uwzględniając oddziaływanie czynników środowiskowych, działanie użytkowników oraz towarzyszące im warunki i stany, które mogą wystąpić w całym okresie eksploatacji. Taką analizę należy rozpocząć na samym początku procesu projektowania lub w jego wczesnej fazie.

Analiza bezpieczeństwa musi być przeprowadzona i udokumentowana w pierwszej kolejności, gdy dostępne są szczegółowe informacje dotyczące projektu. Analiza ta określa

prawdopodobieństwo wystąpienia awarii w okresie przewidywanego czasu użytkowania, włączając w to awarie spowodowane przez użytkownika. Analiza ryzyka powinna być prowadzona także na bieżąco w trakcie całego okresu prac rozwojowych, aby można było oszacować wpływ na bezpieczeństwo wprowadzanych w projekcie zmian. Podczas prac koncepcyjnych nad zapalnikiem, kierownik projektu powinien uzyskać z NSAA zatwierdzenie koncepcji projektu i metodologii, zapewniającej zgodność z wymogami bezpieczeństwa.

Zapalnik powinien mieć zdefiniowane narażenia środowiskowe, które będą na niego oddziaływać podczas całego cyklu eksploatacji oraz ograniczenia działania zapalnika.

Ponadto powinien być tak zaprojektowany, aby zachować wymagany stopień bezpieczeństwa w sytuacjach przewidywalnych oraz we wszystkich innych, wyspecyfikowanych sytuacjach, spowodowanych czynnikami naturalnymi i środowiskowymi, występującymi podczas całego cyklu eksploatacji.

Procedury oceny bezpieczeństwa, użyte jako podstawa oceny bezpieczeństwa, przygotowane przez zespół projektujący powinny być szczegółowo udokumentowane. Analiza ryzyka odnosząca się do prawdopodobieństwa wystąpienia awarii zapalnika w każdej wersji i dla każdego stanu krytycznego systemów obliczeniowych powinna być przedstawiona do oceny przez NSAA.

Elementy zapalnika wraz z charakterystykami, które mogą być krytyczne dla bezpieczeństwa powinny być zdefiniowane i ocenione w dokumentacji zapalnika. Oceny krytycznych elementów powinny być przedstawione jako części oceny bezpieczeństwa całego projektu. Należy załączyć odpowiednie rysunki łącznie z charakterystykami, które pokażą, czy dany element zapewnia krytyczny poziom bezpieczeństwa.

## 4. Wnioski

1. Zapalniki przede wszystkim muszą spełniać rygorystyczne wymagania bezpieczeństwa a przy zachowaniu wysokich parametrów użytkowych.
2. Aktualnie produkowane i użytkowane w kraju zapalniki w większości nie spełniają wymagań bezpieczeństwa NATO.
3. Krajowe zaplecze naukowo-badawcze oraz potencjał technologiczny zakładów produkujących zapalniki umożliwia projektowanie i produkcję zapalników spełniających wymagania STANAG 4187.
4. Aby w pełni wdrożyć system którego założenia zawiera STANAG 4187 należy powołać w kraju komisję NSAA złożoną ze specjalistów od konstrukcji zapalników.
5. Praktyczne wprowadzenie STANAG 4187 zminimalizuje możliwość wypadku w czasie eksploatacji zapalników.

## Literatura

1. STANAG 4187 ED 3. „Fuzing systems. Safety design requirements”
2. AOP-16:1999 (edycja 3) – „Fuzing systems: Guidelines for STANAG 4187.”
3. NO-13-A233 „Systemy zapalnikowe. Zapewnienie bezpieczeństwa. Wymagania konstrukcyjne”
4. NO-13-A234 „Systemy zapalnikowe. Zapewnienie bezpieczeństwa. Metody konstrukcyjne”
5. GRULA A. Zapalniki artyleryjskie w świetle wymagań NATO, PTU 2/2001.