

Zbigniew SZCZEŚNIAK, Zygmunt MIERCZYK, Marek ZYGMUNT,
Jarosław WASILCZUK, Stanisław WRZESIENI, Grzegorz BAK,
Michał FRANT, Andrzej GIETKA, Piotr KNYSAK, Sławomir ONOPIUK,
Bartłomiej PIENKO, Wiesław PIOTROWSKI, Ryszard REKUCKI,
Cezary SKRODZKI, Adam STOLARSKI
Wojskowa Akademia Techniczna, Warszawa

AUTOMATYCZNY ZAWÓR PRZECIWWYBUCHOWY NOWEJ GENERACJI*

Abstract

In this paper the automatic antiexplosive valve of new generation is presented. The valve is used in protection of the ventilation system of the shelter type.

Streszczenie

W artykule scharakteryzowano realizację pierwszego w kraju automatycznego zaworu przeciwwybuchowego nowej generacji do ochrony instalacji wentylacyjnych typu schronowego [3].

1. WSTĘP

W prezentowanym artykule przedstawiamy krótką charakterystykę wyników uzyskanych w ramach projektu rozwojowego o charakterze interdyscyplinarnym. Wykonano badania, dokumentację techniczną oraz model („demonstrator”) automatycznego zaworu przeciwwybuchowego nowej generacji dla potrzeb stacjonarnych budowli schronowych. Podstawowym zadaniem przedmiotowego zaworu jest ochrona schronowych instalacji wentylacyjnych przed działaniem powietrznej fali uderzeniowej. Rozwiązanie składa się z następujących oryginalnych elementów: 1. Kompletu optycznych czujników do wykrywania charakterystycznych czynników rażących, 2. Systemu dystrybucji informacji i sterowania oraz 3. Części wykonawczej zaworu.

Opracowano **rozwiązania optycznych czujników** promieniowania kuli ognistej, impulsu elektromagnetycznego i fali uderzeniowej. W rozwiązaniu układowym zminimalizowano użycie elementów elektronicznych wraz z separacją uzyskiwanej informacji od impulsu elektromagnetycznego. **Część wykonawcza zaworu** zawiera elementy konstrukcyjne odporne na bezpośrednie działanie fali uderzeniowej podmuchu i jej efekty wtórne.

* „Praca naukowa finansowana ze środków na naukę w latach 2007-2009 jako projekt rozwojowy”

Każdy z wymienionych wyżej elementów był testowany w warunkach laboratoryjnych WAT. Wykonano analizy oraz badania eksperymentalne w zakresie: budowy i funkcjonowania czujników, sprawności aerodynamicznej zaworu, kinematyki i odporności dynamicznej.

W wyniku badań potwierdzono wysokie walory zaproponowanej i zrealizowanej koncepcji rozwiązania zaworu, która charakteryzuje się: stosunkowo małymi oporami rzędu $100 \div 300$ Pa przy przepływie roboczym sięgającym $20\ 000\ m^3/h$ i więcej oraz dużą odpornością dynamiczną w odniesieniu do wymagań stawianych rozwiązaniom budowli schronowych,

3.1 . OPTYCZNE DETEKTORY CZYNNIKÓW RAŻĄCYCH

Rozwiązanie zaworu zawiera komplet opracowanych optycznych detektorów czynników rażących, które przedstawimy poniżej [1].

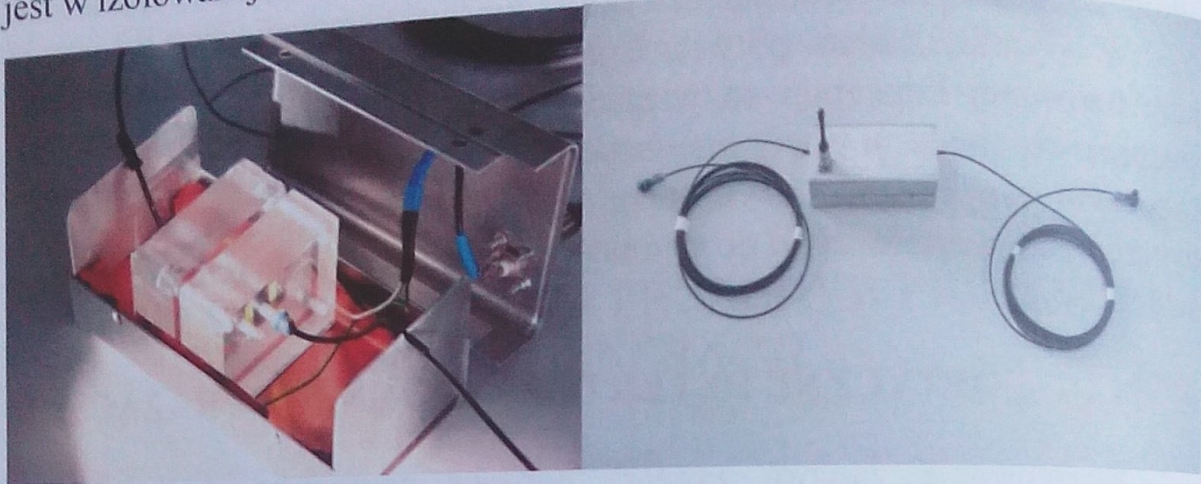
2.1. Czujnik promieniowania kuli ognistej

Zadaniem czujnika promieniowania jest odbiór promieniowania w zakresie UV, generowanego w procesie wybuchu jądrowego. Jako wytyczne do projektowania czujnika promieniowania UV przyjęto następujące dane: 1. Zakres widmowy promieniowania UV: 250-280nm; 2. Minimalna wykrywalna gęstość mocy : $1nW/m^2$; 3. Maksymalna szerokość impulsu optycznego: 10s; 4. Minimalna szerokość impulsu optycznego : 1ms. Z uwagi na konieczność detekcji bardzo małych gęstości mocy promieniowania jako detektor promieniowania UV wybrano fotopowielacz typu CMP C922 firmy Perkin-Elmer. W celu ograniczenia wpływu składowej stałej promieniowania słonecznego w zakresie UV w układzie odbiorczym zastosowano interferencyjny filtr pasmowy firmy „Semrock”. Układ detekcji promieniowania UV składa się z konwertera impedancji, zrealizowanego przy pomocy wzmacniacza U4A, na wyjściu którego uzyskuje się sygnał napięciowy proporcjonalny do prądu fotopowielacza. Układ cyfrowego przetwarzania sygnału uzyskiwanego z układu detekcyjnego pozwala na odróżnienie sygnatury sygnału generowanego przez eksplozję jądrową od innych, zarówno sztucznych jak i naturalnych źródeł promieniowania. Dzięki odpowiedniemu algorytmowi czujka jest bardzo odporna na zakłócenia optyczne i generuje odpowiedź jedynie na sygnał optyczny w przewidzianym zakresie.

2.2. Czujnik NEMP

Następny detektor wykrywa promieniowanie impulsu elektromagnetycznego – czujnik NEMP. Widok rzeczywistego układu czujnika przedstawiono na rys. 2.1. Jako element antenowy zastosowano antenę prętową. Sygnał w postaci promienia świetlnego wytwarzany jest przez nadajnik HFBR-1533, który wprowadza promień świetlny do

światłowodu. Po drugiej stronie ciekłego kryształu, poprzez światłowód, przyłączony jest układ detektora HFBR-2523. Cały czujnik umieszczony jest w izolowanej obudowie.

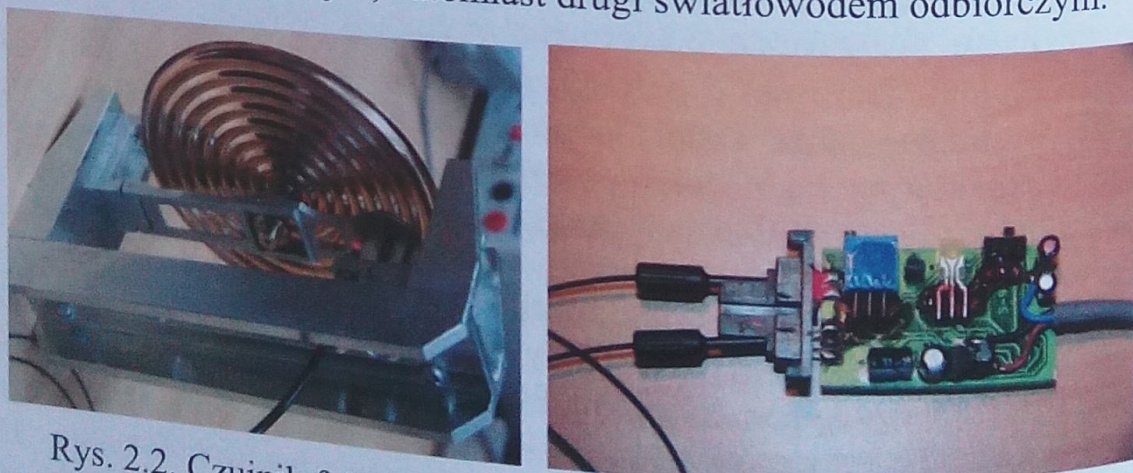


Rys. 2.1. Widok wnętrza czujnika NEMP

2.3. Czujnik fali uderzeniowej

Biorąc pod uwagę wszystkie wymagania, opracowano i skonstruowano odporny na impuls elektromagnetyczny, czujnik fali uderzeniowej. Pomiar wzrostu ciśnienia w opracowanym czujniku opiera się na prawidłowej współpracy czterech głównych elementów, którymi są: aneroid, przetwornik mechano-optyczny, zespół światłowódów i elektroniczny układ nadawczo-odbiorczy. Aneroid jest czujnikiem charakteryzującym się liniowym odkształceniem w funkcji zmian ciśnienia. Posiada on kształt puszkki, zlutowanej z dwóch pofalowanych, metalowych, precyzyjnie dobranych przepon.

Przetwornik mechano-optyczny jest elementem przekształcającym przesunięcie mechaniczne na odpowiedni użyteczny sygnał. Głównymi elementami konstrukcji przetwornika są: stalowy uchwyt w kształcie litery „C”, bardzo lekka aluminiowa dźwignia, mosiężny talerzyk z powierzchnią odbijającą oraz elementy mechaniczne. W układzie znajdują się dwa jednakowe światłowody, z których jeden jest światłowodem nadawczym, natomiast drugi światłowodem odbiorczym.



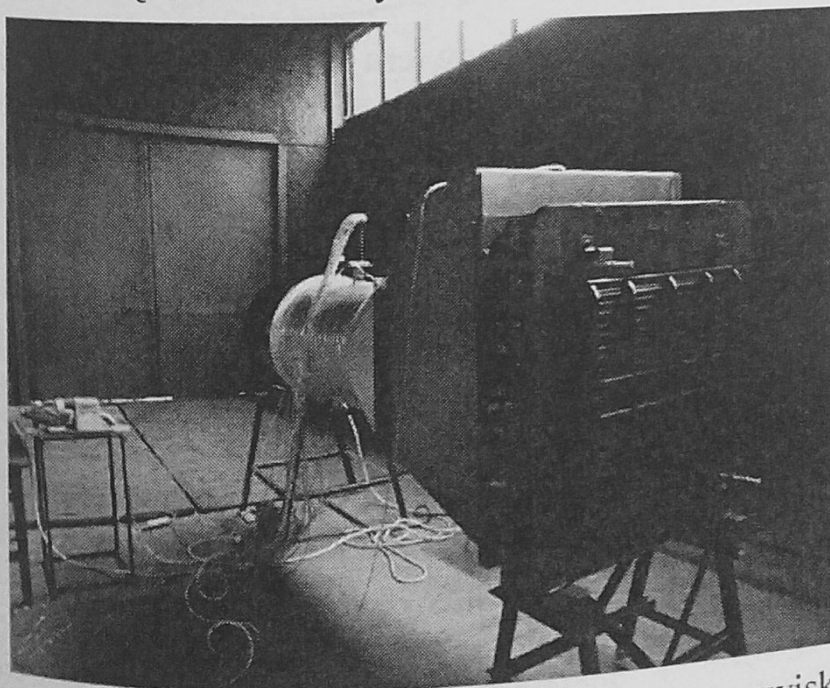
Rys. 2.2. Czujnik fali uderzeniowej oraz elektroniczny układ toru nadawczo-odbiorczego

Układ nadawczo-odbiorczy jest układem elektronicznym, składającym się z elementów nadajnika (stabilizator zasilania, generator impulsów, układ formowania impulsów nadawczych, element emitujący promieniowanie światłne) oraz elementów odbiornika (detektor promieniowania, wzmacniacz impulsów, układ formowania sygnału wyjściowego). Rzeczywisty wygląd czujnika fali uderzeniowej przedstawia rys. 2.2.

3. SPRAWNOŚĆ AERODYNAMICZNA ZAWORU

Sprawność aerodynamiczną zaworu badano dwuetapowo. W pierwszym etapie wykonano obliczeniowe badania parametrów aerodynamicznych dla różnych konfiguracji drogi przepływu w zaworze. W drugim etapie wykonano weryfikujące badania eksperymentalne. W analizach obliczeniowych zastosowano metodę objętości skończonych MOS (ang. FVM – Finite Volume Method). Metoda ta jest podstawą kodu obliczeniowego pakietu Fluent, który wykorzystywano w obliczeniach będących treścią niniejszej pracy. W wyniku obliczeń stwierdzono, że dzięki zaokrągleniu krawędzi w układzie przepływu zaworu można znacząco zmniejszyć straty, to jest ponad 80% w porównaniu do układu bez zaokrągleń.

W celu doświadczalnej weryfikacji lokalnych współczynników strat przepływu dla różnych konfiguracji badanego zaworu wykonano stanowisko umożliwiające pomiar strat ciśnienia w funkcji wydatku objętościowego powietrza. Stanowisko zostało zbudowane przy wykorzystaniu wentylatora osiowego o mocy 3kW sterowanego przez układ z przekształtnikiem częstotliwości zapewniającym płynne sterowanie prędkością obrotową wirnika wentylatora.



Rys.3.1. Widok ogólny skompletowanego stanowiska do pomiaru strat ciśnienia

Badany zawór zamontowano w stanowisku przy wykorzystaniu dostępnych na rynku elementów instalacji wentylacyjnych (kanały wentylacyjne, dyfuzor) odpowiadających wymiarowo badanemu zaworowi. W odpowiednich przekrojach kanału przepływowego wykonano króćce umożliwiające pomiar ciśnienia statycznego. Widok stanowiska badawczego z końcowym modelem zaworu ilustruje rys. 3.1.

Wyniki uzyskanych badań zestawiono w tabeli 3.1, gdzie podano straty ciśnienia w funkcji wydatku objętościowego. Wymienione parametry zebrano dla trzech opcji zależnych od odległości położenia rusztu ruchomego do korpusu zaworu, tak zwanej szczeliny. Przedstawione wyniki świadczą o bardzo dobrej sprawności aerodynamicznej końcowego modelu zaworu.

Tab.3.1

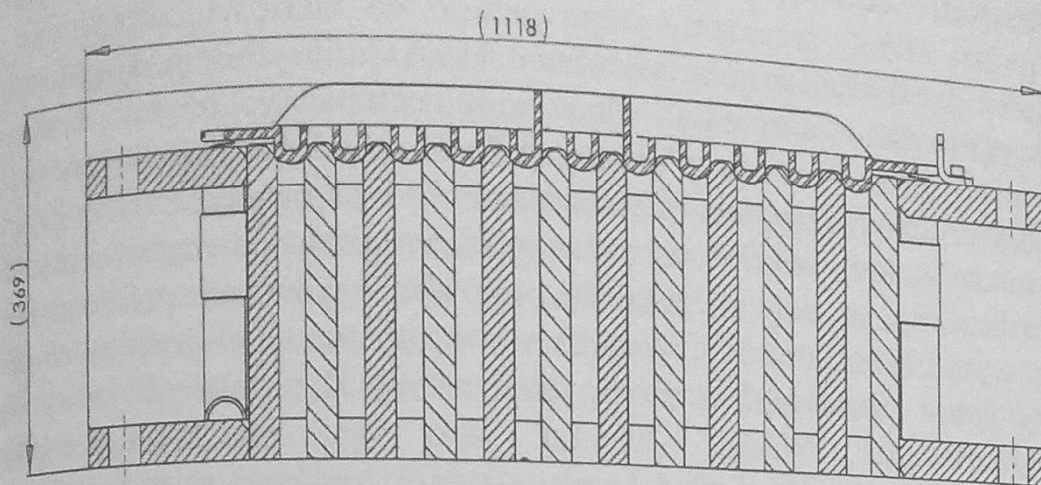
Straty ciśnienia w funkcji wydatku objętościowego

Szczelina [mm]	Wydatek [m ³ /h]	Straty ciśnienia [Pa]
19	17 000	90
	20 000	150
	25 000	250
	27 000	300
25	20 000	120
	25 000	175
	30 000	245
31	20 000	95
	25 000	155
	30 000	240

4. CZĘŚĆ WYKONAWCZA ZAWORU

Część wykonawcza zaworu zawiera elementy konstrukcyjne odporne w warunkach działania fali uderzeniowej podmuchu na schron. Do podstawowych elementów należy stały ruszt oporowy z korpusem oraz ruchomy ruszt zamykający przepływ roboczy w sytuacji zagrożenia. Zaprojektowano również układ mechanizmów składający się z dwóch siłowników elektromagnetycznych, systemu cięgien i dźwigni przemieszczających ruszt ruchomy oraz blokady mechanicznej utrwalającej zamknięcie zaworu. W układzie znajduje się również silnik elektryczny, który pozwala zamknąć i otworzyć zawór w dowolnej chwili w wyniku decyzji operatora. Dodatkowo na wypadek awarii zasilania przewidziano możliwość ręcznego przemieszczania rusztu ruchomego w celu zamknięcia lub otwarcia zaworu.

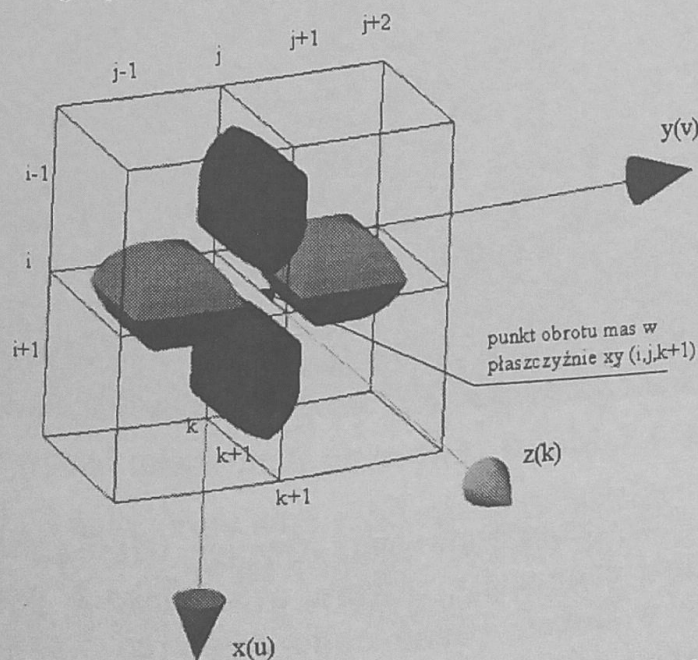
Wykonano szereg analiz i eksperymentów w celu oceny odporności konstrukcji zaworu i podstawowych parametrów kinematycznych. Konfigurację podstawowych elementów konstrukcyjnych zaworu w fazie zamknięcia przepływu roboczego ilustruje rys. 4.1.



Rys. 4.1. Konfiguracja elementów składowych zaworu w fazie zamknięcia

Do podstawowych oddziaływań jakie uwzględniono w trakcie analiz projektowych należą: działanie siłowników elektromagnetycznych, działanie fali uderzeniowej na ustrój zaworu w fazie zamknięcia przepływu roboczego, wstrząs schronu oraz oddziaływania termiczne. Uwzględniono również tak zwaną konfigurację awaryjną, kiedy zamknięcie zaworu realizowane jest za pomocą energii fali uderzeniowej.

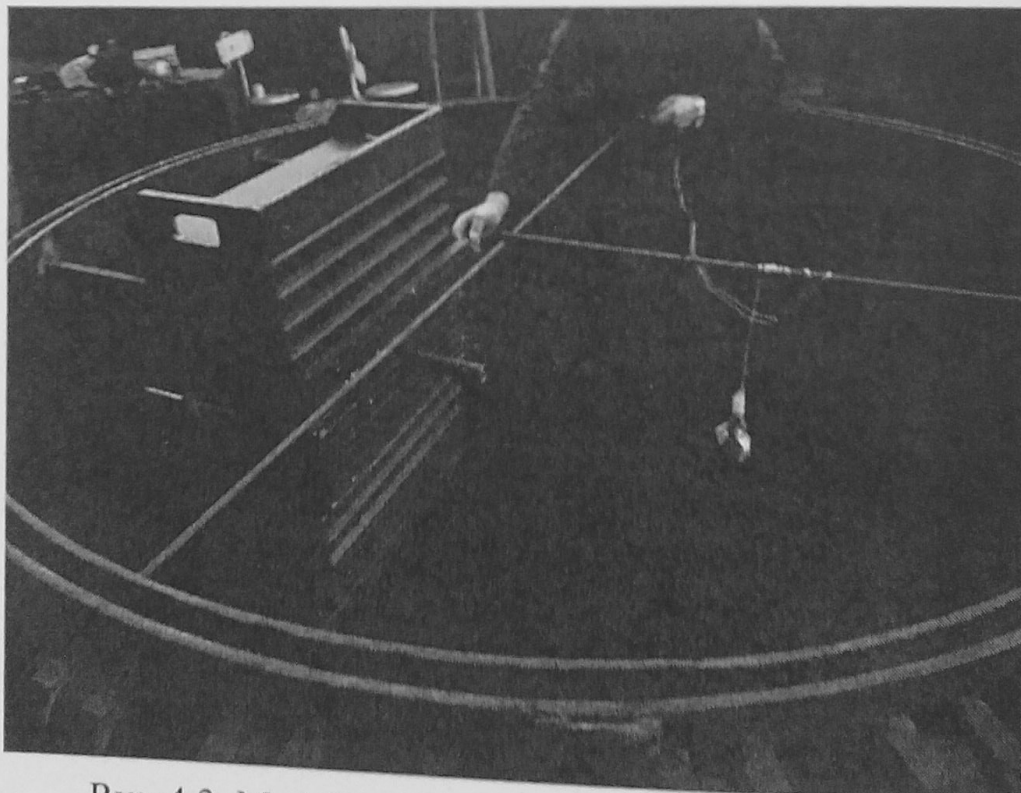
Analizy odporności mechanicznej wykonywano głównie własną metodą symulacji procesów fal naprężeń w elementach konstrukcyjnych. Wyróżniającym elementem tej metody jest szczególna budowa modelu przestrzennego danego obszaru falowego [2]. Fragment omawianego modelu w wersji trójwymiarowej (model 3-D) ilustruje rys. 4.2.



Rys. 4.2. Fragment struktury przestrzennej Modelu 3-D

Masy skupione modelu oddziałują na siebie za pośrednictwem złącz odkształcalnych. Opis zachowania złącz jest stosowny do zakresu

odkształceń i cech mechanicznych danego materiału konstrukcyjnego. W przypadku metali stosujemy odpowiednio do wartości odkształceń, ich historii i prędkości, uogólnione prawo Hooke'a, kryterium dynamicznego uplastycznienia Campbella albo zmodyfikowany model sprężysto-lepkoplastyczności według koncepcji Bąka i Stolarskiego, w której łączy się kryterium Campbella ze związkami lepkoplastyczności Perzyny. Równania ruchu całkowane są względem czasu jawnym schematem. Przedstawiony model w zakresie liniowym symuluje procesy falowe z zerowym błędem metody. Wyniki rozwiązań oceniano przez porównania z wynikami rozwiązań metodą elementów skończonych za pomocą oprogramowania MARC Mentat oraz na podstawie własnych eksperymentów doświadczalnych typu wybuchowego. Badania doświadczalne wykonywano na mikropoligonie Katedry Budownictwa WAT. Widok stanowiska badawczego z komorą wybuchową i umieszczonym w niej modelem zaworu ilustruje rys. 4.3. Wyniki badań stanowiły głównie, podstawę do kalibracji metody prognozowania parametrów kinematycznych zaworu w warunkach docelowych.



Rys. 4.3. Model zaworu na stanowisku badawczym.

W ramach pracy zaproponowano również własną metodę do oceny reakcji dynamicznej elementów zaworu w warunkach wstrząsu schronu. Wyniki uzyskane w trakcie badań obliczeniowych i eksperymentalnych wskazują na wysoką odporność mechaniczną zaworu, a także pozwoliły określić sposób postępowania w zakresie materiałowym i technologicznym w przypadku zaistnienia potrzeby podniesienia odpowiednich walorów.

5. ZAKOŃCZENIE

W wyniku realizacji projektu badawczego opracowano koncepcję, badania, dokumentację techniczną i model – demonstrator automatycznego zaworu przeciwwybuchowego nowej generacji.

Uzyskano pierwsze w kraju, oryginalne i w pełni własne rozwiązanie, na które istnieje zapotrzebowanie w obszarze obronności. Zastosowane rozwiązania a szczególnie w zakresie technologii z obszaru układu detekcji należą aktualnie do najbardziej zaawansowanych.

Zidentyfikowano zadania prowadzące do usprawniania osiągniętego rozwiązania.

Dla pełnego potwierdzenia uzyskanych dotychczas wyników oraz wykonanych prognoz w zakresie detekcji i odporności dynamicznej należy dodatkowo wykonać badania poligonowe w dużej skali.

Bardzo pozytywna okazała się współpraca z zainteresowanym od samego początku (na etapie wniosku i wcześniej) producentem jakim jest Centrum Produkcji Wojskowej HSW S.A. – Stalowa Wola. Współpraca ta pozwoliła testować na bieżąco technologię wykonywania zaworu i jednocześnie budować i badać kolejne modele o docelowych rozmiarach, materiałach oraz konfiguracji mechanizmów i sterowania. Rozwiązanie mechanizmów, oraz procesów technologicznych i montażowych, zostało opracowane i wykonane przez Centrum Produkcji Wojskowej HSW–Stalowa Wola S.A. we współpracy z Wojskową Akademią Techniczną. Wobec powyższego uzyskany model końcowy zaworu jest bardzo zbliżony do oczekiwanego prototypu.

Literatura

1. Mierczyk Z., Zygmunt M., Drozd T., Gawlikowski A., Gietka A., Kaszczuk M, Knysak P., Młodzianko A., Muzal M., Piotrowski W., Wojtanowski J, Koncepcja czujników dla automatycznego zaworu przeciwwybuchowego nowej generacji. XXIII Międzynarodowa Konf. „EKOMILITARIS 2009”, WAT, Zakopane 2009, s.344-358
2. Szcześniak Z., Pieńko B., Metoda analizy dynamicznej elementów konstrukcyjnych zaworów przeciwwybuchowych. XXIII Międzynarodowa Konferencja „EKOMILITARIS 2009”, WAT, Zakopane 2009, s. 538-546
3. Wasilczuk J., Funkcjonowanie schronowych instalacji wentylacyjnych z zaworami typu automatycznego. XXIII Międzynarodowa Konf. „EKOMILITARIS 2009”, WAT, Zakopane 2009, s. 627-636.