

BARTNICKI Adam
MUSZYŃSKI Tomasz
RUBIEC Arkadiusz
SPRAWKA Piotr¹

BADANIA SYMULACYJNE ZAWIESZENIA HYDROAKTYWNEGO OBCIĄŻONEGO FALĄ WYBUCHU

Obecnie prowadzone operacje militarne (Irak, Afganistan,) pokazały, że jednym z największych zagrożeń bezpieczeństwa poruszających się w konwojach pojazdów są Improvizowane Ładunki Wybuchowe. Na podstawie doświadczeń stwierdzono, że nie istnieją struktury całkowicie odporne na falę wybuchu. Referat opisuje ideę wahaczy układu zawieszenia ze specjalnym osłabionym węzłem konstrukcyjnym, ulegającym kontrolowanemu zniszczeniu w momencie detonacji. Zaprojektowanie docelowych elementów wymaga przeprowadzenia badań w celu oceny zachowania się układu hydroaktywnego pod wpływem działania quasiskokowego obciążenia, spowodowanego eksplozją IED.

SIMULATIONS OF HYDRO ACTIVE SUSPENSION LOADED BY EXPLOSION WAVE

Ongoing military operations (Iraq, Afghanistan,) showed that one of the biggest security threats moving in convoys of vehicles are Improvised Explosive Devices. Based on experience, it was found that there aren't structures completely resistant to the explosion wave. The paper describes the idea arms suspension system with a special joint with lower level of strength, undergoing a controlled destroy at the detonation time. Design target elements requires simulations to assess the behavior of an hydro - active suspension system loaded by explosion wave.

1. WSTĘP

Umowy i zobowiązania międzynarodowe jakie w ostatnich latach zawarła Polska, powodują, że Siły Zbrojne RP coraz częściej uczestniczą w konfliktach militarnych w krajach Bliskiego Wschodu (Irak, Afganistan).

¹Wojskowa Akademia Techniczna im. Jarosława Dąbrowskiego, 00 - 908 Warszawa, ul. S. Kaliskiego 2,
tel. +48 22 683 71 07, e - mail: abartnicki@wat.edu.pl, tmuszynski@wat.edu.pl, arubiec@wat.edu.pl,
psprawka@wat.edu.pl

Prowadzone w ramach misji stabilizacyjnych działania bojowe pokazały, że największe zagrożenie dla życia i sprzętu stanowią ataki terrorystyczne, prowadzone z wykorzystaniem:

- a) różnego rodzaju zagrożeń balistycznych (pociski pistoletowe i karabinowe, granaty ręczne, granaty RPG);
- b) min i ostrzału artyleryjskiego (min przeciwpancernych, przeciwpiechotnych, kierunkowych, pocisków moździerzowych i artyleryjskich);
- c) improwizowanych ładunków wybuchowych (*ang. Improvised Explosive Device*) IED - budowanych w oparciu o dostępny na danym terenie materiał wybuchowy i amunicję saperską z siłą rażenia dostosowaną do zniszczenia określonego celu.

Najbardziej niebezpieczne i nieprzewidywalne zagrożenie stanowią ładunki IED [3]. Asymetryczne działania bojowe prowadzone przez terrorystów pokazały, że nie istnieją struktury całkowicie odporne na oddziaływanie fali wybuchu spowodowanej Improwizowanymi Ładunkami Wybuchowymi (rys. 1).



Rys. 1 Pojazdy o podwyższonej odporności na działanie wybuchu po detonacji IED: a) amerykański CUGUAR, b) czołg ABRAMS

Terroryci prowadzą zamachy w celu zniszczenia nie tylko siły żywej, lecz coraz częściej w celu jak największej destrukcji sprzętu przeciwnika (rys. 2).



Rys. 2 Amerykańskie roboty w trakcie detonacji ładunku IED

Budowane obecnie pojazdy specjalistyczne (CUGUAR, Buffalo, Cheetah), są uodparniane" na zagrożenia związane z oddziaływaniem IED poprzez zastosowanie wzmocnionego i specjalnie ukształtowanego (rys. 3) pancerza w określonej klasie (np. wg STANAG 4569). Modernizowanie istniejących lub budowanie nowych pojazdów z osłonami balistycznymi wprowadza pewne ograniczenia związane z ich użyciem (np. zwiększona masa, zmniejsza ich mobilność). Ponadto wraz z wielkością opancerzenia znacznie rosną koszty wytworzenia tego typu sprzętu.



Rys. 3. Porównanie ukształtowania osłony balistycznej podwozia pojazdu CUGUAR oraz Humvee

W przypadku, gdy nie jest wymagana ochrona zdrowia i życia ludzkiego (roboty misji IED/EOD, roboty wsparcia taktycznego, Rozpoznawcze Bezzałogowe Platformy Lądowe) pożądane jest opracowanie innego (o znacznie mniejszych kosztach) rozwiązania konstrukcyjnego odpornego na zagrożenia typu IED.

2. KONCEPCJA ZAWIESZENIA ODPORNEGO NA ZAGROŻENIA IED

Ponieważ pierwszą z kolei na którą, w przypadku detonacji miny pułapki, oddziałuje fala wybuchu, a zarazem najwrażliwszą częścią pojazdu (roboty) jest jego podwozie, zatem zespół Katedry Budowy Maszyn WAT wraz z Instytutem Odlewnictwa z Krakowa oraz gdyńską firmą Hydromega podjął się opracowania i wykonania specjalnego układu zawieszenia odpornego na działanie zagrożeń typu IED.

Odmierna od prezentowanych dotychczas (osłony balistyczne) koncepcja zakłada stworzenie nowego układu zawieszenia, które będzie ulegało kontrolowanemu zniszczeniu pod wpływem działania ładunku wybuchowego o energii wybuchu równoważnej TNT o masie 3,5 - 4 kg. Zawieszenie przejmując podczas detonacji część energii powinno ulec destrukcji nie naruszając (przemieszczając) węzłowych punktów mocowania jego elementów do ramy. Koncepcja zakłada, że nowoprojektowany układ musi być w pełni

funkcjonalny (zwiększać mobilność terenową pojazdu bazowego), i możliwie niwelować obciążenia dynamiczne powstałe podczas jazdy po nierównościach terenowych. Dlatego zdecydowano o zastosowaniu zawieszenia hydropneumatycznego [1,5,6].

Jednocześnie główne elementy przenoszące obciążenia (wahacze) powinny być w pełni odporne na obciążenia eksploatacyjne wynikające z jazdy w rejonach (drogi gruntowe, bezdroża itp.) gdzie występują zagrożenia związane z IED.

Ponieważ zgodnie z wymaganiami dotyczącymi mobilności bezzałogowego obiektu odpornego na zagrożenia typu IED, jego zawieszenie wyposażone będzie w układ hydroaktywny z hydropneumatycznymi elementami sprężystymi (akumulatory hydrauliczne). W normalnych warunkach jazdy siłowniki hydrauliczne (będące częścią zawieszenia hydroaktywnego) zmieniają swoją długość z częstotliwością 2 - 4 Hz, natomiast ciśnienie fali wybuchu [2] narasta quasiskokowo (w czasie ok. 0,01 - 0,03 s) w celu zaprojektowania nowej konstrukcji wahaczy oraz zamodelowania sposobu ich obciążenia z wykorzystaniem metody elementów skończonych MES, konieczna jest znajomość reakcji elementów układu hydraulicznego zawieszenia na tak szybkozmienne obciążenie.

3. MODEL SYMULACYJNY

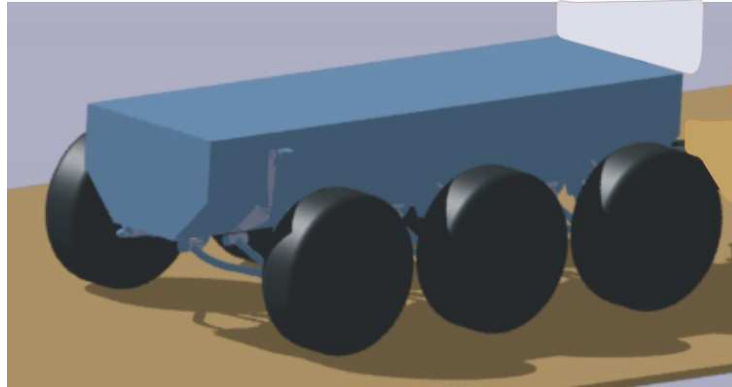
W celu oceny zachowania się hydro-aktywnego układu zawieszenia obciążonego falą wybuchu opracowano uproszczony model (w programie Easy5) układu instalacji hydraulicznej (rys. 5) nowoprojektowanego zawieszenia obciążonego gwałtownie narastającą falą wybuchu. Przy jego tworzeniu przyjęto następujące założenia upraszczające:

- brak wymiany ciepła układu z otoczeniem i pracę hydraulicznego akumulatora gazowego wg. przemiany adiabatycznej zgodnie z zależnością [5]:

$$p_{g1}V_{g1}^{\kappa} = p_{gs}V_{gs}^{\kappa} = p_{g2}V_{g2}^{\kappa} = const \quad (1)$$

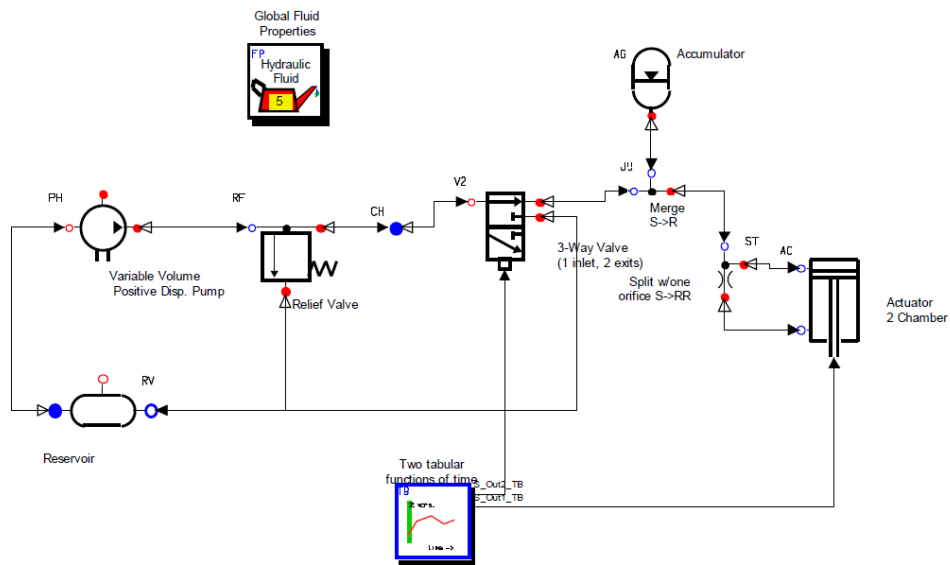
gdzie:

- p_{g1} , V_{g1} – odpowiednio ciśnienie i objętość gazu w akumulatorze przy skrajnie wydłużonym siłowniku zawieszenia;
- p_{gs} , V_{gs} – odpowiednio ciśnienie i objętość gazu w akumulatorze w położeniu równowagi statycznej;
- p_{g2} , V_{g2} – odpowiednio ciśnienie i objętość gazu w akumulatorze przy skrajnie skróconym siłowniku zawieszenia;
- κ - wykładnik adiabaty ($\kappa=1,4$);
- stała czasowa włączania zaworów będących częścią instalacji (np. zawór przeciążeniowy) wynosi 0,25 s;
- zredukowano masę nieresorowaną przypadającą na pojedynczy wahacz na tłoczysko siłownika;
- obciążenie siłą ciężkości pochodzącą od masy pojazdu oraz falą wybuchu zredukowana na tłoczysko siłownika hydraulicznego.



Rys. 4. Model geometryczny bezzałogowego obiektu mobilnego odpornego na zagrożenia typu IED

Redukcja masy nieresorowanej możliwa była dzięki opracowanemu w środowisku CATIA modelowi geometrycznemu bezzałogowego obiektu mobilnego (rys. 4)



Rys.5. Model instalacji hydraulicznej hydroaktywnego zawieszenia bezzałogowego pojazdu lądowego odpornego na zagrożenia typu IED

4. WYNIKI BADAŃ SYMULACYJNYCH

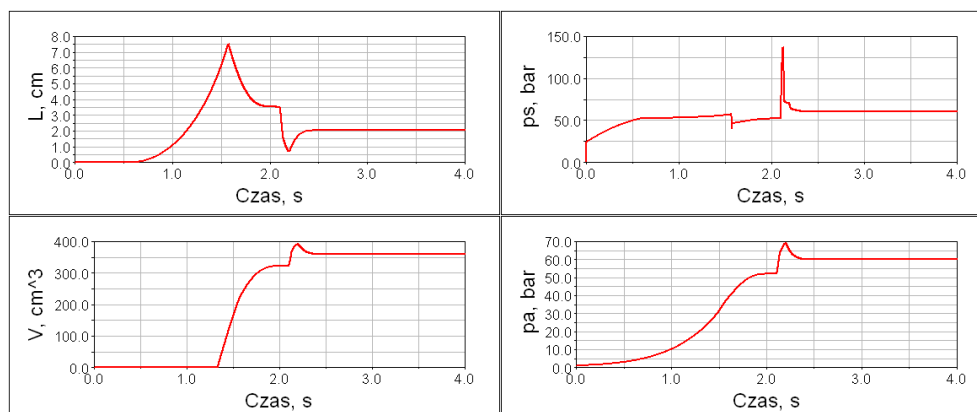
Badania reakcji podatnego układu zawieszenia hydroaktywnego pod wpływem oddziaływania fali wybuchu przeprowadzono badając wpływ zmiany dwóch wytypowanych na drodze analizy parametrów:

- średnicy wewnętrznej przyłącza hydraulicznego akumulatora reprezentującego tłumienie układu (0,5 i 1 cm);
- wartości siły symulującej falę wybuchu zredukowanej na tłoczek siłownika (3,5 i 7 krotnie większą od wartości statycznej).

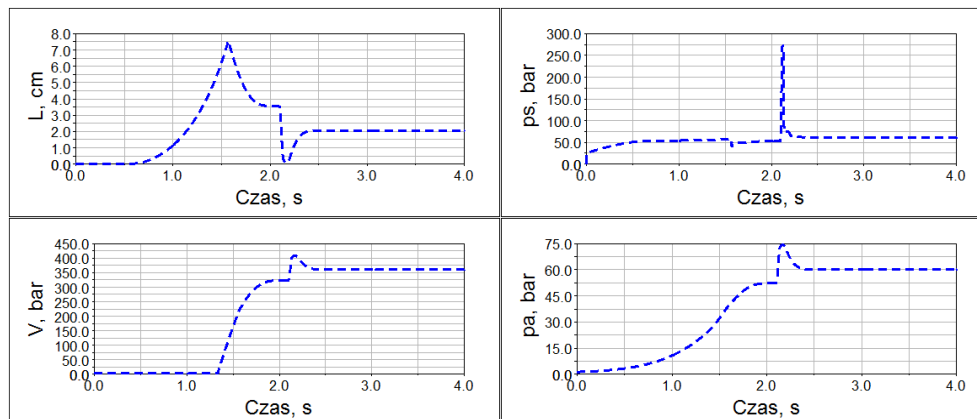
Podczas symulacji rejestrowano:

- zmianę długości siłownika L , cm;
- zmianę ciśnienia oleju w siłowniku zawieszenia p_s , bar;
- zmianę ciśnienia oleju w akumulatorze hydraulicznym, p_a , bar;
- przyrost objętości oleju w akumulatorze hydraulicznym V , cm^3 .

Przykładowe przebiegi czasowe zmiany wartości rejestrowanych parametrów podczas badań symulacyjnych instalacji hydraulicznej układu hydroaktywnego zawieszenia przedstawiono na rysunkach 6 i 7.



Rys. 6. Przebiegi czasowe zmiany wartości: długości L siłownika zawieszenia, ciśnienia w siłowniku p_s zawieszenia, objętości V oleju w akumulatorze, ciśnienia p_a oleju w akumulatorze, podczas badań symulacyjnych układu hydroaktywnego zawieszenia obciążonego zredukowaną siłą 3,5 krotnie większą od wartości statycznej reprezentującą falę wybuchu oraz zwężką o średnicy 0,5 cm



Rys. 7. Przebiegi czasowe zmiany wartości: długości L siłownika zawieszenia, ciśnienia w siłowniku p_s zawieszenia, objętości V oleju w akumulatorze, ciśnienia p_a oleju w akumulatorze, podczas badań symulacyjnych układu hydroaktywnego zawieszenia obciążonego zredukowaną siłą 7-krotnie większą od wartości statycznej reprezentującą falę wybuchu oraz zwężką o średnicy 0,5 cm

Obciążenie elementów zawieszenia hydroaktywnego gwałtownie narastającą falą wybuchu (rys. 6 i 7) mimo szybkozmiennego procesu nie powoduje usztywnienia układu (zmiana długości siłownika ok. 2 cm). Zarówno dla przypadku obciążenia układu siłą 3,5 i 7-krotnie większą od statycznej zaobserwowano w układzie znaczny przyrost w stosunku do wartości równowagi statycznej (ok. 100 bar) ciśnienia w siłowniku p_s oraz zaledwie 15 – 20 bar w akumulatorze. Fizycznie w układzie rzeczywistym przyrost ciśnienia nastąpi w przewodach hydraulicznych łączących siłownik z akumulatorem.

5. PODSUMOWANIE

Coraz częstsze ataki terrorystyczne, których celem jest sprzęt wojskowy (w tym roboty) spowodowały potrzebę stworzenia nowego i zarazem taniego systemu odporności mobilnych obiektów bezzałogowych na zagrożenia typu IED (najgroźniejsze).

Znajomość charakteru zmian istotnych parametrów (L , p_s , p_a , V) układu hydroaktywnego zawieszenia pod wpływem gwałtownie narastającego obciążenia spowodowanego falą wybuchu była konieczna do opracowania i zaprojektowania nowych wahaczy. W celu jego określenia opracowano model układu poddany zredukowanemu wymuszeniu siłowemu.

Przeprowadzone badania symulacyjne modelu umożliwiły określenie zachowania się układu przy quasiskokowo narastającym obciążeniu, jak również obszary wzrostu ciśnienia w układzie. Ich znajomość umożliwi zamodelowanie elementów nośnych (wahaczy) zawieszenia z wykorzystaniem metody MES oraz ich zaprojektowanie wraz ze specjalnie osłabionym węzłem konstrukcyjnym. Uzyskane na drodze symulacyjnej wyniki powinny zostać zweryfikowane podczas badań na obiekcie rzeczywistym.

6. BIBLIOGRAFIA

- [1] Borkowski W., Rybak P., Michałowski B.: *Influence of tracked vehicle suspension type on dynamic loads of crew and inside equipment*, Journal of KONES Powertrain and Transport, Vol.13, No.4, 2006
- [2] Barnat W.: *Wybrane problemy energochłonności nowych typów paneli ochronnych obciążonych falą wybuchu*, Bel Studio, Warszawa 2010
- [3] Sprawka P., *Analiza zagrożeń związanych z stosowaniem IED w Iraku i Afganistanie*, WAT, Warszawa 2009
- [4] STANAG 4569
- [5] Stryczek S.: *Napęd hydrostatyczny*, Warszawa, WNT 1984
- [6] Uys P.E., Els P.S., Thoresson M.: *Suspension settings for optimal ride comfort of off-road vehicles travelling on roads with different roughness and speeds*, Journal of Terramechanics, vol.44, Issue 2, April 2007