

EXPERIMENTAL INVESTIGATIONS OF LABORATORY CYLINDER LOADED BY EXPLOSION

Piotr Rybak, Waclaw Borkowski, Bogusław Michałowski

Military University of Technology
Faculty of Mechanics
S. Kaliskiego 2 Str., 00-908 Warszawa
tel.: +48 22 6839752, fax: +48 22 6837370
e-mail: w.borkowski@wme.wat.edu.pl
p.rybak@wme.wat.edu.pl

Abstract

In the paper were described results of experimental investigations of original steel construction elements of laboratory stand exposed to impact of explosion. As experimental stand were used laboratory cylinder which has circular symmetrical bottom spread on no deformable rim. Cylinder was installed on supports fixed to strengthen foundation and exposed to impact, caused by explosion of explosives with given mass and shape lying on foundation in the centre of bottom plate. As effect of investigations were registered and presented graphically as pressure versus time charts in various points on bottom plate, deformation as well as accelerations charts for various distances between foundation and bottom. Obtained results are the base for verification and modification of worked out mathematical models both laboratory cylinder and propagation of after blast wave propagated in limited space. Presented methodology of explorations can be used for analysis of impact resistance of mechanical vehicles or stationary objects with defensive destination.

Keywords: experimental investigations, explosive, laboratory cylinder

BADANIA EKSPERYMENTALNE CYLINDRA LABORATORYJNEGO OBCIĄŻONEGO WYBUCHEM

Streszczenie

W pracy opisano rezultaty badań eksperymentalnych oddziaływania wybuchu ładunku na stalowe elementy oryginalnej konstrukcji stanowiska badawczego. Stanowisko badawcze to cylinder laboratoryjny, którego dno jest płytą kołowąsymetryczną rozpiętą na nieodkształcalnej obręczy. Cylinder osadzono na podporach utwierdzonych w fundamencie o wzmocnionej strukturze i poddano obciążeniu wybuchem ładunku materiału wybuchowego o zadanej masie i kształcie, leżącego na fundamencie na wysokości środka płyty dennej. W efekcie badań zarejestrowano i przedstawiono na rysunkach przebiegi czasowe ciśnienia w określonych punktach dna cylindra, przebiegi odkształceń oraz jego przyspieszeń dla różnych wartości odległości podłoża od dna. Uzyskane rezultaty stanowią podstawę do weryfikacji i modyfikacji opracowanych modeli matematycznych zarówno cylindra laboratoryjnego jak też modelu matematycznego propagacji powybuchowych fal uderzeniowych w ograniczonej przestrzeni. Przedstawiona metodyka badań eksperymentalnych może być wykorzystana do analizy odporności udarowej pojazdów mechanicznych lub obiektów stacjonarnych o przeznaczeniu obronnym.

Słowa kluczowe: badania eksperymentalne, ładunek wybuchowy, cylinder laboratoryjny,

1. Wprowadzenie

W wielu przypadkach we współczesnych rodzajach niekonwencjonalnych działań zbrojnych, dywersyjnych oraz terrorystycznych wykorzystywane mogą być w różnej formie materiały wybuchowe oraz środki bojowe (pociski artyleryjskie, rakiety).

Kluczową rolę pośród nich mają spełniać ładunki minowe lub improwizowane o działaniu niekontaktowym. Głównym czynnikiem ich rażenia jest ciśnienie powybuchowej fali uderzeniowej. Ładunki te są wykorzystywane zasadniczo przeciwko wojskowym pojazdom mechanicznym, których prześwity (odległość ramy lub płyty dna pojazdu od podłoża) są przeciętnie na poziomie kilkudziesięciu centymetrów. Na tego typu niebezpieczeństwa (obciążenia) narażone są również pojazdy specjalne (np. bankowozy, pojazdy dyplomatyczne) jak też cywilne, osobowe i ciężarowe. Potwierdzają to doniesienia z obszarów niestabilnych politycznie.

Wybuch miny pod pojazdem generuje falę uderzeniową. Rozchodzi się ona wówczas w silnie ograniczonej przestrzeni, ulegając wielokrotnym odbiciom pomiędzy powierzchnią struktury nośnej a podłożem.

W pracy w ramach rozpoznawania zjawisk towarzyszących wybuchowi miny i propagacji fali uderzeniowej w warunkach ograniczonej przestrzeni, przeprowadzono szereg badań eksperymentalnych w tym w warunkach laboratoryjnych, mikropoligonowych. Zasadniczym celem zrealizowanych badań eksperymentalnych było:

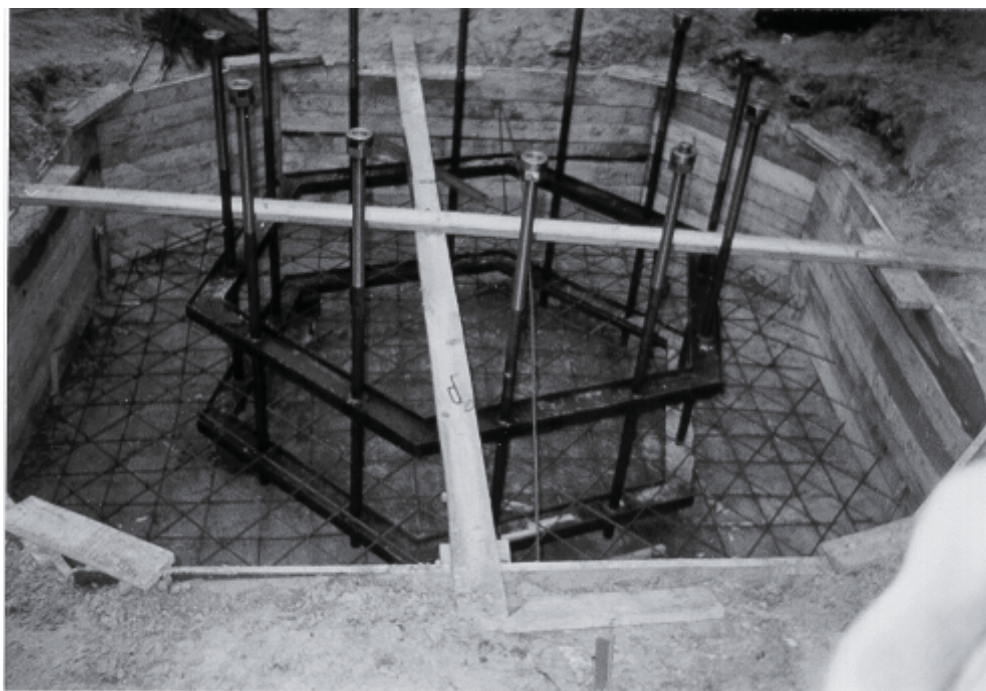
- określenie rozkładów ciśnienia wygenerowanego wybuchem ładunku w aspekcie modyfikacji opracowanego modelu matematycznego propagacji powybuchowej fali uderzeniowej w zadanych warunkach,
- określenie wielkości odkształceń w wybranych obszarach płyty obiektu badań i weryfikacji opracowywanego modelu,
- określenie wielkości obciążeń dynamicznych działających na obiekt podczas wybuchu,
- opracowanie metodyki badań konstrukcji obciążonych wybuchem (ciśnieniem powybuchowej fali uderzeniowej).

2. Stanowisko badawcze

Do realizacji badań wykorzystano zaprojektowane, unikatowe stanowisko badawcze (wg oryginalnego projektu), zbudowane na mikropoligonie WAT. Struktura stanowiska pokazana na rys. 1, to konstrukcja stalowa osadzona na solidnym fundamencie. Stanowi ona zespół nośny dla obiektu badanego oraz układu pomiarowego. Obiektem badań jest cylinder badawczy, którego płyta dena przyspawana jest do sztywnej obręczy. Podczas projektowania stanowiska przyjęto następujące, podstawowe założenia:

- uniwersalność stanowiska – polegająca na prowadzeniu badań przy różnych przyjętych parametrach wyjściowych (np. różnej masie ładunku materiału wybuchowego, wielkości prześwitu itp.), ale nie dopuszczając do zniszczenia cylindra;
- zachowanie równoległości płyty i podłoża;
- uzyskać sztywne podłoże;
- uzyskanie właściwej relacji pomiędzy sztywnością poszczególnych elementów konstrukcyjnych stanowiska;
- zmniejszenie do minimum wpływu czynników zewnętrznych (w tym atmosferycznych) na wyniki pomiarów oraz ryzyka zaistnienia wypadku (zabudowa stanowiska w ziemnym obwałowaniu).

Denna, kołowsymetryczna płyta dna cylindra o grubości g [mm] i średnicy $[D]$ mm przyspawana jest do obręczy (której ścianka jest o grubości $[a]$ mm). Do zewnętrznej powierzchni obręczy przyspawano wsporniki, w których za pomocą nakrętek osadzono gwintowane podpory umożliwiające regulację prześwitu, o ilości zapewniającej stabilność stanowiska. Cylinder poprzez podpory osadzony jest w konstrukcji kotwiącej zabudowanej w żelbetowym fundamencie, wzmocnionym dla zmniejszenia prawdopodobieństwa kruszenia się, odpowiednio przygotowaną zagęszczoną stalową siatką.



Rys. 1. Fragment zbrojenia płyty fundamentowej wraz z konstrukcją wsporczą stanowiska laboratoryjnego
Fig. 1. Fragment of base plate reinforcement with bracket structure of laboratory stand

3. Badania eksperymentalne

Badania eksperymentalne realizowano przy zasadniczym założeniu: stanowisko badawcze nie może ulec zniszczeniu, ponieważ istnieje potrzeba jego wielokrotnego wykorzystania. A zatem w badaniach eksperymentalnych używano niewielkich, formowanych półsferycznie ładunków materiału wybuchowego o zadanej masie.

Zakres badań obejmował pomiar i rejestrację następujących sygnałów:

- przebiegów czasowych ciśnień w wybranych punktach płyty dna cylindra,
- przebiegów czasowych odkształceń dna w wybranych punktach,
- przebiegu przyspieszeń w zadanych odległościach od środka geometrycznego płyty.

Na rys.2 przedstawiono widok stanowiska badawczego – cylindra laboratoryjnego. Natomiast na rys.3 przedstawiono rozmieszczenie czujników pomiarowych na płycie dna.

Stanowisko umożliwia realizację badań wielowariantowo, np. poprzez zmianę:

- wielkości prześwitu,
- masy ładunku materiału wybuchowego.

Pozwala ono również na prowadzenie badań w różnych ośrodkach, w powietrzu (na zewnątrz cylindra) jak też wewnątrz cylindra w środowisku wodnym (dla minimalnych ładunków).

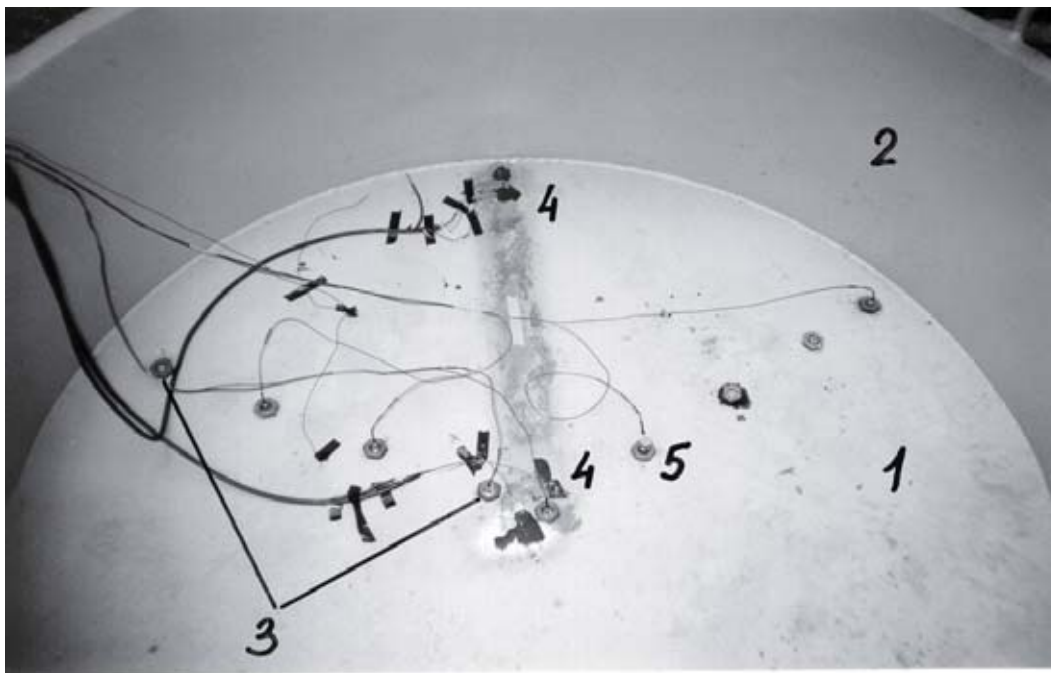
Pomiar i rejestrację sygnałów zrealizowano wykorzystując najwyższej klasy przetworniki i rejestratory, a w tym:

- przetworniki ciśnienia PCB Piezotronics (3) – rys.3,
- tensometry oporowe Hotinger (4),
- przetworniki przyspieszeń Brüel & Kjaer (5),
- wielokanałowy rejestrator magnetyczny Racal,
- zestaw firmy Brüel & Kjaer z systemem "Pulse",
- wielokanałowy mostek tensometryczny Hotinger.

Podczas badań ładunek materiału wybuchowego, będący źródłem obciążenia, spoczywał pod dnem na wysokości jego środka geometrycznego, na nieodkształcalnym podłożu, którego promień jest około dwa razy większy od promienia cylindra.



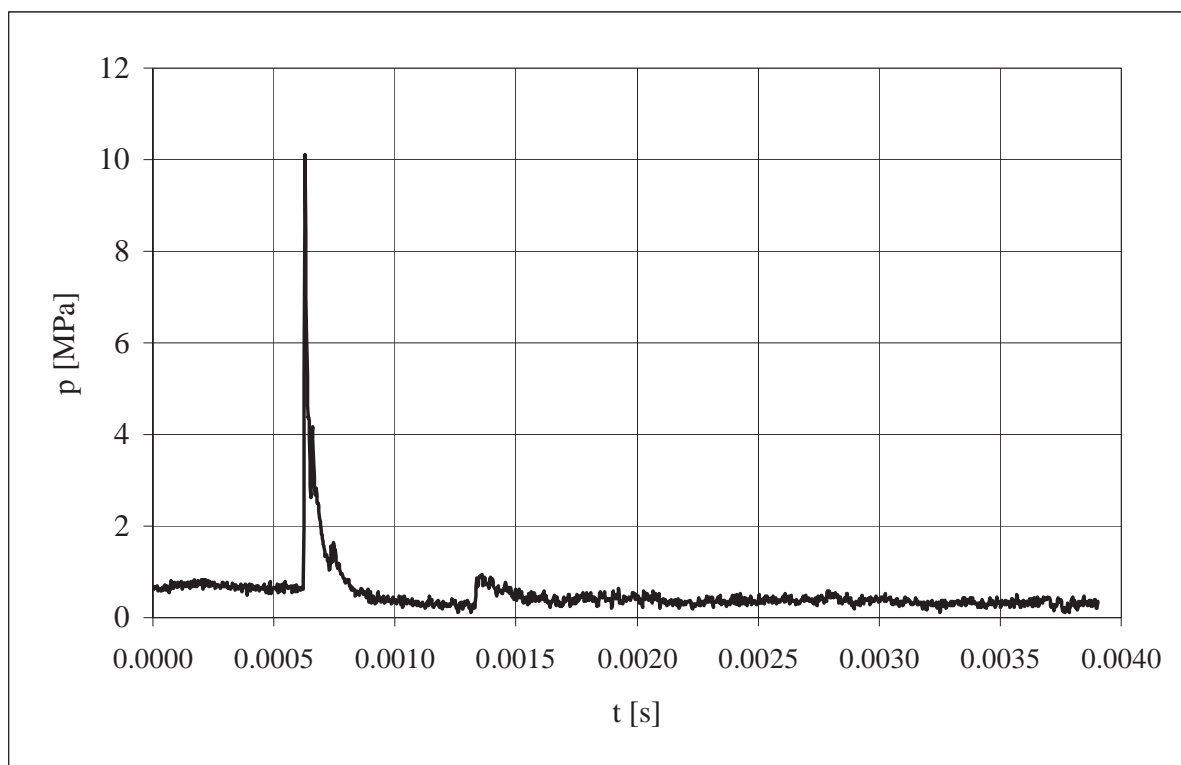
Rys. 2. Widok cylindra laboratoryjnego
Fig. 2. Front view of laboratory cylinder



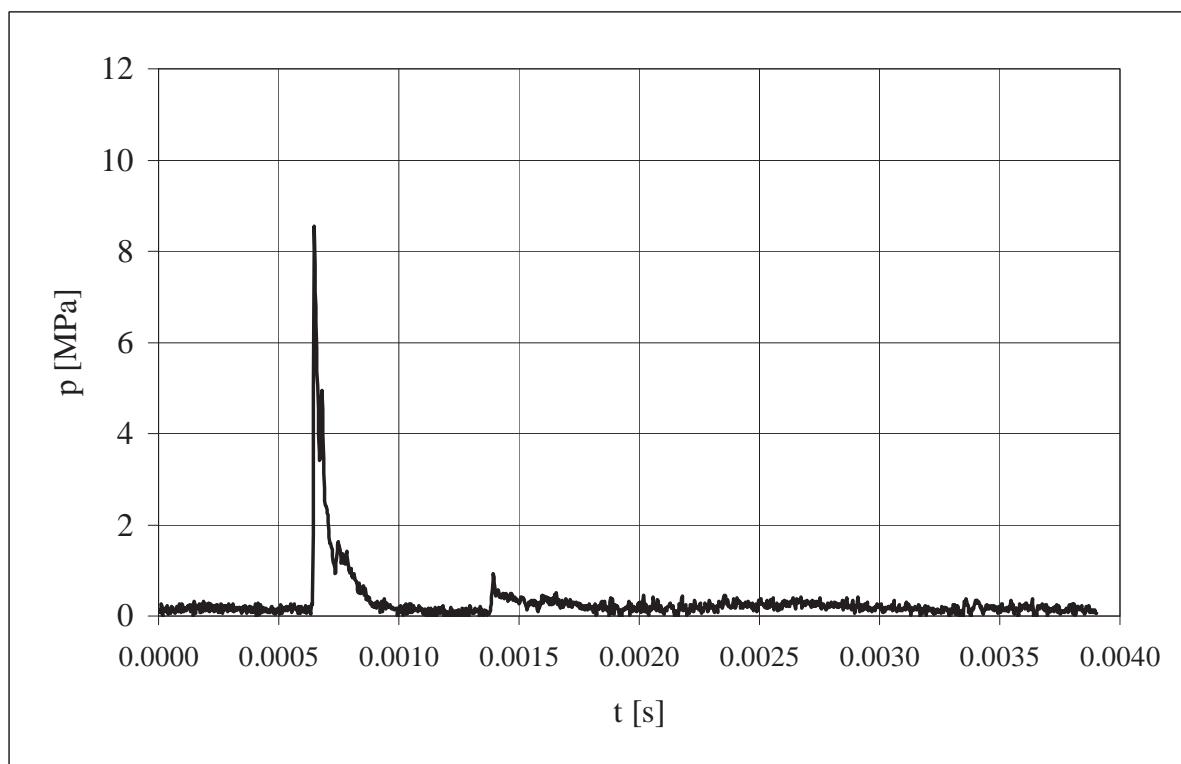
Rys. 3. Elementy stanowiska i czujniki: 1 - dno cylindra, 2 - obręcz stalowa, 3 - czujniki ciśnienia, 4 - tensometry pomiarowe, 5 - czujnik przyspieszeń
Fig. 3. Elements of the stand and sensors: 1 – bottom of the cylinder, 2 – steel rim, 3 – pressure sensors, 4 – tensometers, 5 - accelerometer

Niektóre z uzyskanych rezultatów badań, dla różnego prześwitu – h_1 , h_2 , h_3 , przedstawiono na rysunkach oraz zestawiono w tabelach. Przy czym relacja pomiędzy wartościami prześwitów jest następująca $h_1 < h_2 < h_3$.

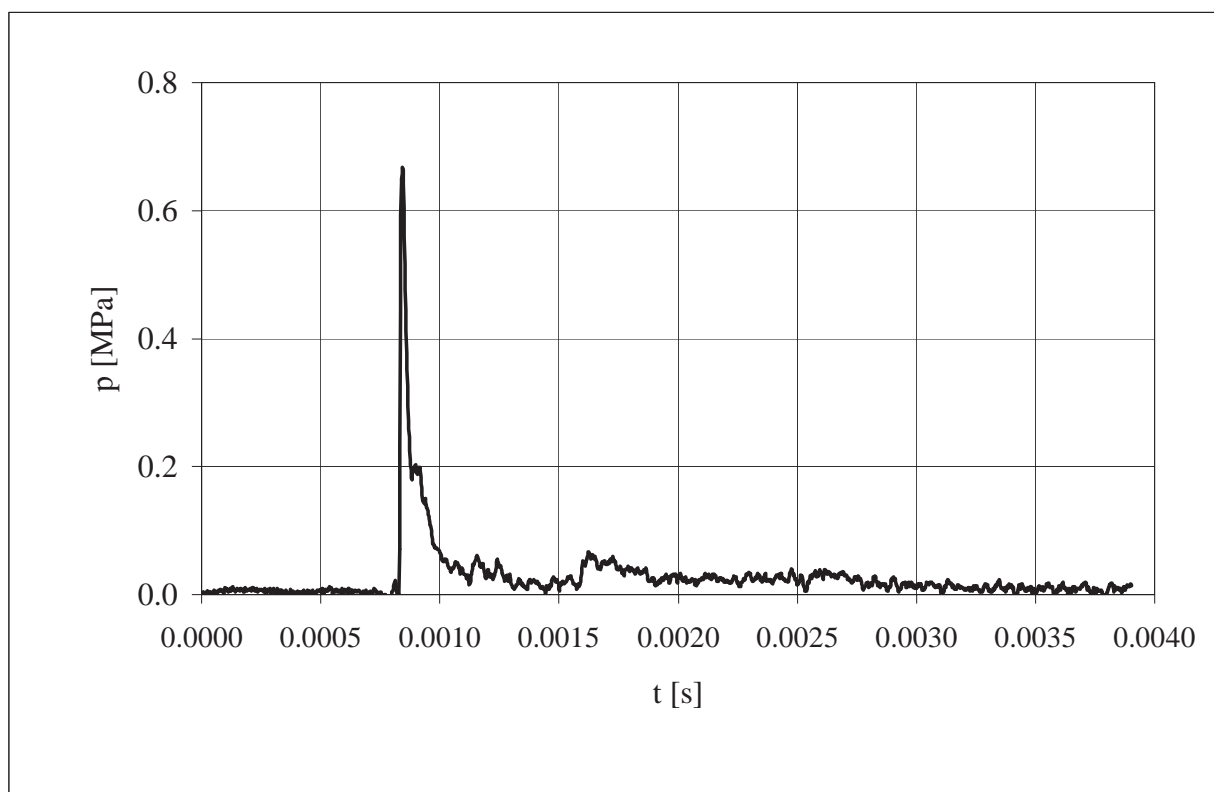
Na rys.4, 5, 6 przedstawiono przebiegi czasowe ciśnień działające na dolną powierzchnię dna w wybranych punktach dla ładunku materiału wybuchowego $m < 0,200$ kg, natomiast w tabeli 1 zestawiono wartości charakterystyczne tych przebiegów.



Rys. 4. Przebieg czasowy ciśnienia dla $R_0=0,0$ m, h_2 , $m<0,200$ kg
Fig. 4. Time course of the pressure for $R_0=0.0$ m, h_2 , $m<0.200$ kg



Rys. 5. Przebieg czasowy ciśnienia dla $R_1=0,1$ m, h_2 , $m<0,200$ kg
Fig. 5. Time course of the pressure for $R_1=0.1$ m, h_2 , $m<0.200$ kg



Rys. 6. Przebieg czasowy ciśnienia dla $R_5=0,50$ m, h_2 , $m<0,200$ kg

Fig. 6. Time course of the pressure for $R_5=0.50$ m, h_2 , $m<0.200$ kg

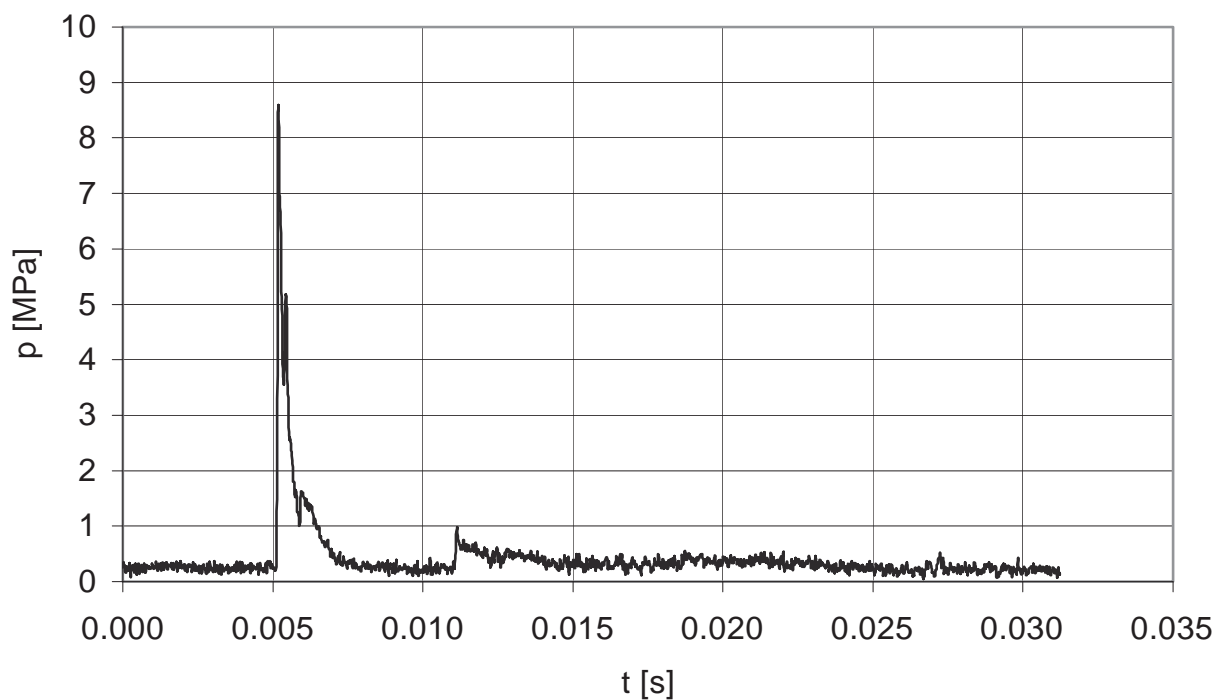
Tabela 1. Wartości ciśnień w punktach pomiarowych płyty dla prześwitu h_2 , $m<0.200$ kg

Table 1. Values of the pressure in plate measurement points for the clearance h_2 , $m<0.200$ kg

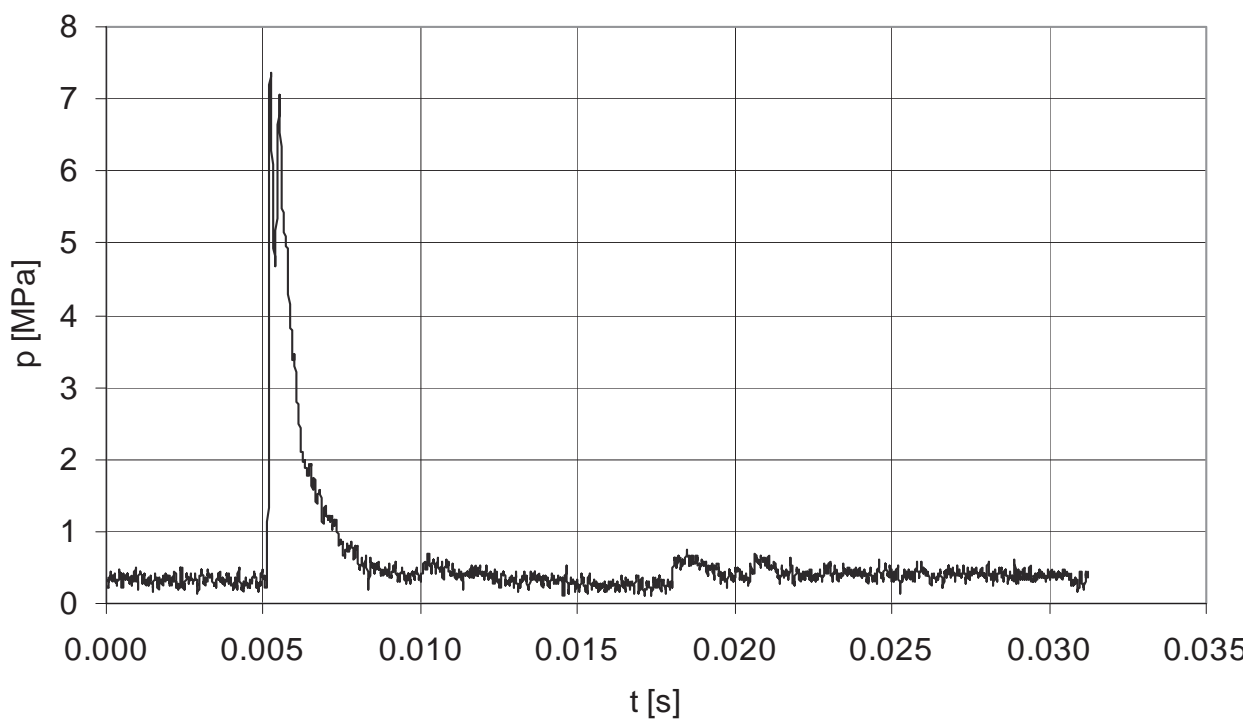
Lp.	Odległość od środka płyty [m]	Wartość maksymalna ciśnienia [MPa]
1.	R= 0.0	10.1
2.	R= 0.10	8.56
3.	R= 0.50	0.66
4.	R= 0.80	0.25

Na rys. 7 przedstawiono przebieg ciśnienia powybuchowej fali uderzeniowej dla takiego samego ładunku materiału wybuchowego $m<0,200$ kg, lecz dla obniżonego prześwitu do h_1 , a na rys.8 dla podwyższonego prześwitu do wysokości h_3 .

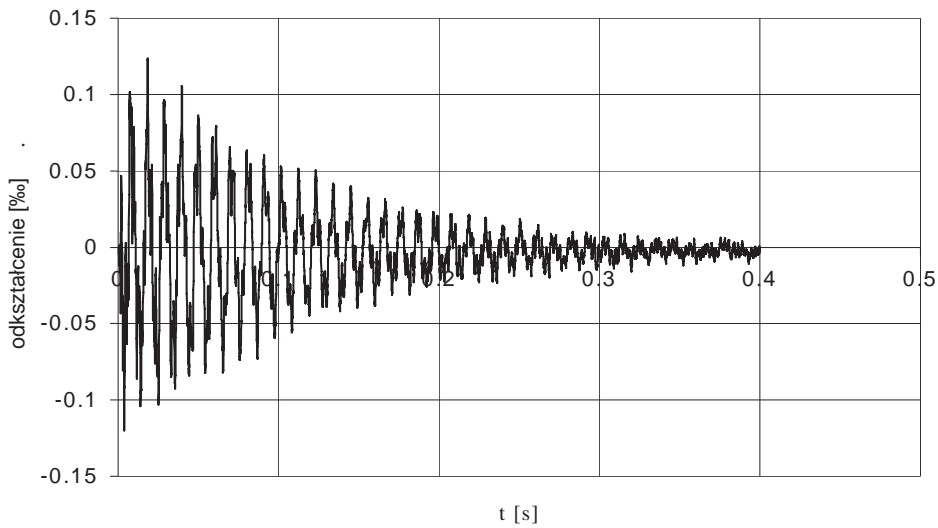
Na rys. 9 i 10 przedstawiono przebiegi odkształceń w wybranych obszarach górnej powierzchni dna cylindra dla, h_2 , $m<0,200$ kg, a na rys.11 dla h_3 . Na podstawie wyników, przeprowadzonej analizy widmowej tych przebiegów, w tabeli 2 zestawiono dominujące wartości częstotliwości drgań, które zidentyfikowano jako własne.



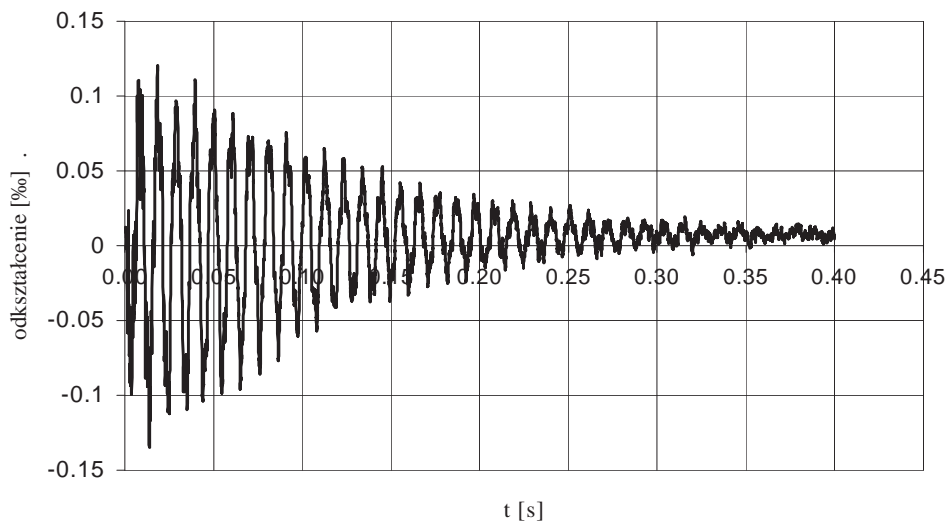
Rys. 7. Przebieg ciśnienia w punkcie $R=0,1$ m cylindra, h_1 , $m < 0,150$ kg
Fig. 7. Time course of the pressure in point $R=0.1$ m of cylinder, h_1 , $m < 0.150$ kg



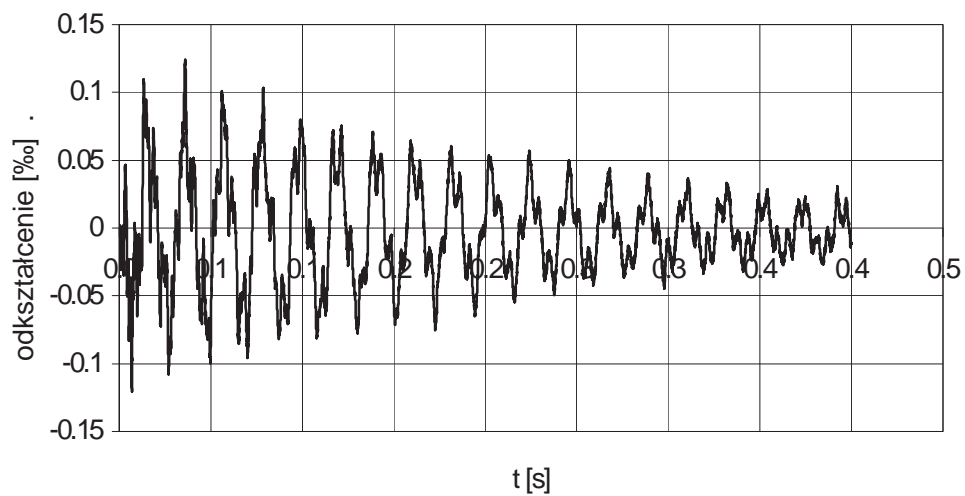
Rys. 8. Przebieg ciśnienia w punkcie $R=0,1$ m cylindra, h_3 , $m < 0,200$ kg
Fig. 8. Time course of the pressure in point $R=0.1$ m of cylinder, h_1 , $m < 0.200$ kg



Rys. 9. Odkształcenie dla $R = 0,05 \text{ m}$, h_2 , $m < 0,200 \text{ kg}$
Fig. 9. Construction strain for $R = 0.05 \text{ m}$, h_2 , $m < 0.200 \text{ kg}$



Rys. 10. Odkształcenie dla $R=0,3 \text{ m}$, h_2 , $m < 0,200 \text{ kg}$
Fig. 10. Construction strain for $R = 0.3 \text{ m}$, h_2 , $m < 0.200 \text{ kg}$

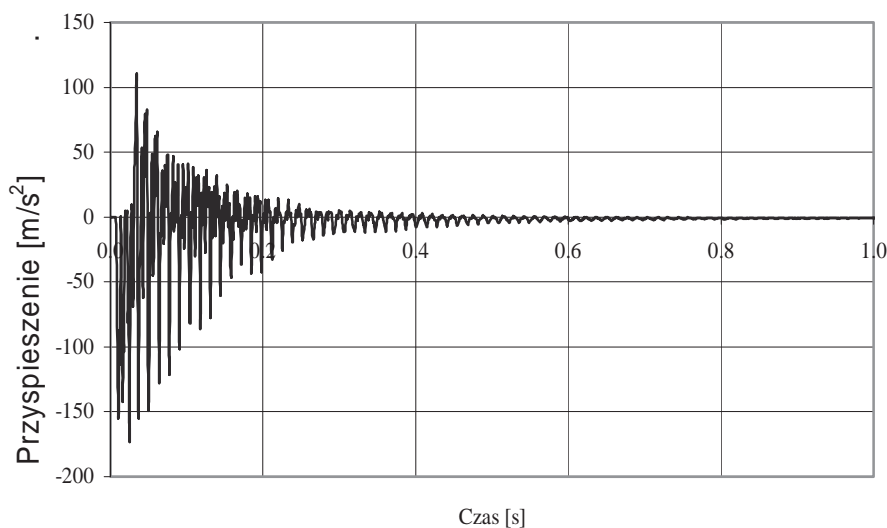


Rys. 11. Przebieg odkształceń w punkcie $R=0,05\text{m}$ dla h_3 , $m < 0,200 \text{ kg}$
Fig. 11. Time course of the pressure in point $R=0.05\text{m}$ dla h_3 , $m < 0.200 \text{ kg}$

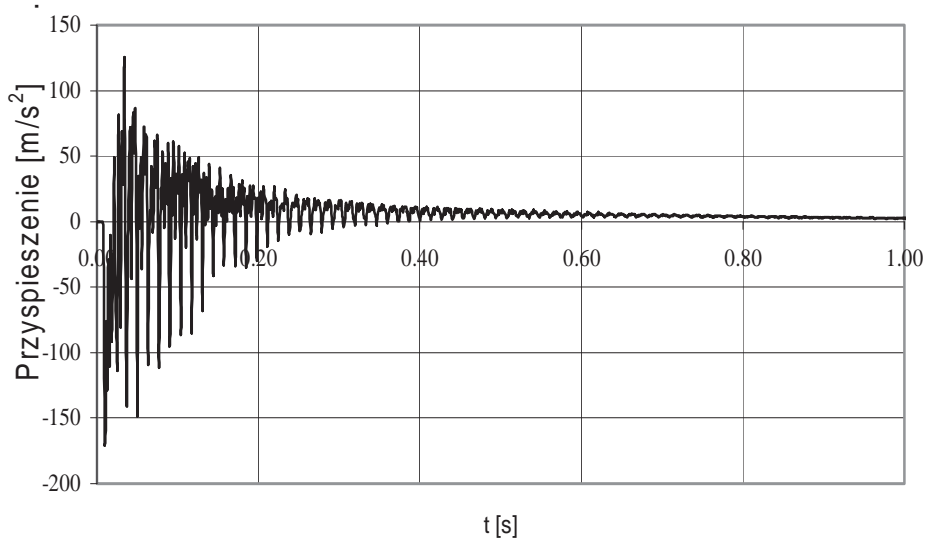
Tabela 2. Wybrane częstotliwości drgań własnych obiektu i modelu
 Table 2. Selected natural frequencies of the object and model

Nr częstotliwości	Wartość częstotliwości drgań własnych [Hz]
	Płyty dna cylindra
1	76
2	296
3	642

Natomiast na rys. 12. przedstawiono przykładowy przebieg czasowy przyspieszeń pionowych działających na obręcz cylindra dla prześwitu h_2 , a na rys. 3.13 dla h_1 , dla tej samej masy użytego ładunku materiału wybuchowego.



Rys. 12. Przyspieszenie pionowe na obręczy cylindra dla prześwitu h_2 , $m < 0,200$ kg
 Fig. 12. Vertical acceleration at the cylinder rim for the clearance h_2 , $m = 0.200$ kg



Rys. 13. Przyspieszenie pionowe na obręczy cylindra dla prześwitu h_1 , $m < 0,200$ kg
 Fig. 13. Vertical acceleration at the cylinder rim for the clearance h_1 , $m = 0.200$ kg

4. Wnioski końcowe

Wyniki uzyskane z badań eksperymentalnych cylindra laboratoryjnego stanowią dobrą podstawę do weryfikacji już opracowanych modeli oraz opracowywanych w przyszłości. Stanowią one dobrą podstawę do realizacji mniej kosztownych i wydajniejszych badań modelowych konstrukcji poddanych obciążeniom o charakterze udarowym przy znanych ładunkach materiału wybuchowego.

Opracowana metodyka badań umożliwia:

- poznanie rozkładów ciśnienia wzdłuż powierzchniach badanych obiektów,
- ocenę odporności udarowej różnych konstrukcji,
- określenie skutków oddziaływania udarów na konstrukcje już na etapie projektowania lub modernizacji,
- projektowanie lub modernizację konstrukcji o podwyższonej odporności udarowej,

Literatura

- [1] Borkowski, W., Rybak, P., Wysocki, J., *Badania eksperymentalne płyty kołowsymetrycznej przy obciążeniu udarowym*, II Konferencja Naukowo - Techniczna "Odporność udarowa konstrukcji", Rynia grudzień 1998.
- [2] Borkowski, W., Rybak, P., *Konstrukcyjne zwiększenie odporności wozu bojowego na obciążenia udarowe*, Biuletyn WAT nr 11/ 2002.
- [3] Borkowski, W., Rybak, P., *Badania odporności pojazdu bojowego na obciążenia falą uderzeniową wybuchu*, International Conference „Vehicles Systems Progress 2002” – Wołgograd, Rosja 8-11.10.2002.
- [4] Borkowski, W., Rybak, P., *Gąsienicowe wozy bojowe w warunkach oddziaływania obciążeń udarowych*, XII Konferencja. Naukowo - Techniczna „Problemy rozwoju, produkcji i eksploatacji techniki uzbrojenia” , Rynia 21 - 23 maj 2003.