

WYKORZYSTANIE SYSTEMU MES ANSYS® AUTODYN® DO ANALIZY ZBIORNIKA SPECJALNEGO

Leszek FLIS*

* Instytut Podstaw Konstrukcji Maszyn, Wydział Mechaniczno-Elektryczny,
Akademia Marynarki Wojennej, ul. Śmidowicza 69, 81-137 Gdynia

l.flis@amw.gdynia.pl

Streszczenie: W artykule przedstawiono próbę symulowania przebiegu destrukcji zbiornika przeznaczonego do transportu materiałów wybuchowych po eksplozji w jego wnętrzu. Przedstawiono cele do osiągnięcia i możliwości ich zrealizowania. Zaprezentowano wstępne wyniki symulacji komputerowej niszczenia zbiornika specjalnego. Określono wytyczne do dalszej pracy, szczególnie pod kątem weryfikacji wyników symulacji. Do zadań symulacyjnych wykorzystano najnowsze oprogramowanie (obliczenia explicit) ANSYS®AUTODYN® dedykowane dla zadań dynamiki nieliniowej.

1. WPROWADZENIE

W opracowaniu rozpatruje się pojemnik będący integralną częścią pojazdu specjalnego J10K (rys. 1).



Rys. 1. Widok ogólny pojazdu specjalnego JK10 wraz ze zbiornikiem (Fot. w opracowaniu zamieszczono za zgodą partnera z przemysłu firma na podstawie umowy o współpracy (<http://www.jakusz.com.pl/>))

Pojemnik służy do bezpiecznego transportu materiałów wybuchowych, w tym ładunków terrorystycznych, po drogach publicznych oraz ich ewentualnej neutralizacji w wyznaczonym miejscu. Konstrukcja pojazdu spełnia wymagania Rozporządzenia Ministrów Spraw Wewnętrznych i Administracji, Obrony Narodowej, Finansów oraz Sprawiedliwości z dnia 24.11.2004 r. w sprawie warunków technicznych pojazdów specjalnych i pojazdów używanych do celów specjalnych Policji, Agencji Bezpieczeństwa Wewnętrznego, Agencji Wywiadu, Straży Granicznej, Kontroli Skarbowej, Służby Celnej, Służby Więziennej i Straży Pożarnej. Myśl techniczna, konstrukcja jest w pełni polska. Firma produkująca pojazd posiada koncesję MSWiA nr B 414/2003.

Stalowy pojemnik umieszczony na ruchomej przyczepie umożliwia przewóz materiału wybuchowego o masie do 10 kg TNT. Umieszczony wewnątrz materiał absorbcyjny pochłania co najmniej 95% energii wybuchu.

Pojemnik może być ekranowany elektromagnetycznie w celu uniemożliwienia zdalnego odpalenia ładunku przy użyciu urządzeń radiowych i telekomunikacyjnych. Pojemnik przeznaczony jest do wielokrotnego użytku.



Rys. 2. Widok ogólny zbiornika i jego główne elementy w przekroju wzdłużnym: płaszcz zewnętrzny (1), płaszcz gumowy (2), przestrzeń powietrzna (3), płaszcz pancerny (4) płaszcz wewnętrzny (5)

Średnica zewnętrzna zbiornika wynosi 1332 mm, wysokość całkowita 1840 mm. Wysokość zbiornika głównego bez pokryw wynosi 1500 mm. W przekrój względem płaszczyzny symetrii (rys. 2b) przedstawiono główne elementy składowe zbiornika, które uwzględniono w modelu dyskretnym.

W zbiorniku można przewozić różne materiały niebezpieczne. Głównym przeznaczeniem konstrukcji jest transport pocisku odłamkowo-burzącego kalibru 152,4 mm typu OF-530 używanych w haubicach HB-43 D-1 wz. 43 produkcji radzieckiej (masa pocisku 43,56 kg masa ładunku wybuchowego TNT 6,25 kg, materiał pocisku wg. GOST S60 (S55)). Pociski tego typu znajdowane są podczas prac

ziemnych przy budowie dróg. Ponadto pociski tego typu są jeszcze w magazynach uzbrojenia i muszą być sukcesywnie utylizowane.

2. BADANIA

Transport niewybuchów, niewypałów, amunicji czy ładunków terrorystycznych odbywa się głównie w otwartych pojazdach jednostek saperских. W kraju nie produkuje się zbiorników do transportu materiałów wybuchowych stanowiących ochronę ludzi i mienia przed skutkami eksplozji ładunku o masie do 10 kg TNT.

Rozpatrywany zbiornik produkowany jest w wersji podstawowej ze stali St3. Po zastosowaniu stali konstrukcyjnej o podwyższonej wytrzymałości 55J2GH, czyli popularnej 18G2 (wg. DIN ST52-3), zbiornik „wytrzymuje” detonację pocisku OF-530. Docelowo zbiornik ma być „odporny” na detonację w jego wnętrzu ładunku o masie do 10 kg TNT. „Odporność” i „wytrzymałość” w tym przypadku oznacza, że eksplozja wewnątrz zbiornika nie może generować odłamków na zewnątrz zbiornika w kierunku promieniowym.

Najefektywniejszym sprawdzeniem tego typu konstrukcji, pod kątem stawianych wymagań, są badania poligonowe. Ujemną stroną takiego podejścia są koszty prototypów i samych prób poligonowych.

Zastosowanie natomiast eksperymentów numerycznych pozwala praktycznie na nieograniczone poszukiwanie optymalnych rozwiązań (względem stawianych wymogów). Zastosowanie najnowszych programów do poszukiwania optymalnej konstrukcji zbiornika jak i efektywności zastosowanych materiałów zmniejsza liczbę badań poligonowych. Eksperyment numeryczny powinien pomóc w zrozumieniu tego co dzieje się w „środku” poprzez wizualizację przebiegu destrukcji wnętrza zbiornika oraz analizę wyników obliczeń odnoszących się przede wszystkim do prawa zachowania energii.

W praktyce poligonowej powyższe dot. wizualizacji wybuchu wewnątrz zbiornika jest oczywiście niemożliwe, tak jak wykonywanie większości pomiarów. W podobnych przypadkach wykonuje się, w ograniczonym zakresie, pomiary ciśnienia detonacji z tym, że koszt jednego czujnika jest tak wysoki, że pomiar ten staje się ekstremalnie kosztowny na poziomie badań wstępnych.

Docelowo przewiduje się badania numeryczne w zakresie „wytrzymałości” zbiornika zbudowanego z klasycznych materiałów w złożonych wariantach konstrukcyjnych (konstrukcje typu „sandwich”) oraz dla prostych wariantów konstrukcyjnych (monolitycznych) przy zastosowaniu materiałów wysokowytrzymałych ewentualnie kombinacji dwóch poprzednich.

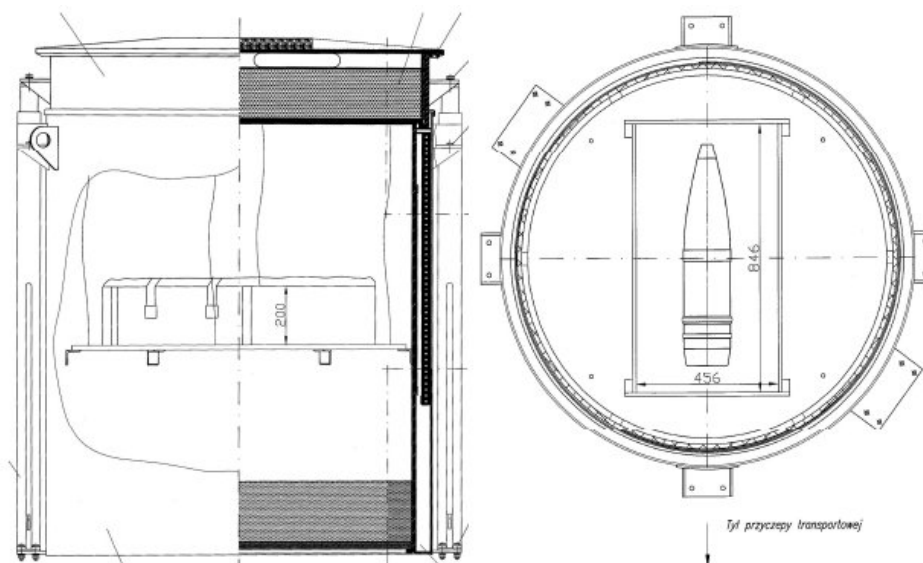
Niniejsze podejście ma na celu uzyskanie informacji czy dla tak silnie nieliniowych zjawisk jakim proces detonacji sensowne jest modelowanie komputerowe całego procesu destrukcji łącznie z jego skutkami. Z tego powodu zdecydowano się na wykonanie symulacji komputerowej z wykorzystaniem systemu ANSYS®AUTODYN®

dedykowane dla zadań dynamiki nieliniowej i porównanie otrzymanych wyników obliczeń z efektami prób na poligonie. Praca stanowi współpracę przemysłu i nauki i ma charakter rozwojowy.

2.1. Próby poligonowe

Pocisk OF-530 zdetonowano zdalnie w pojemniku w dwóch wariantach. W wariantcie I zbiornik wykonano ze stali St3. W wariantcie II ze stali 18G2. Masa ładunku wybuchowego 6,25 kg TNT.

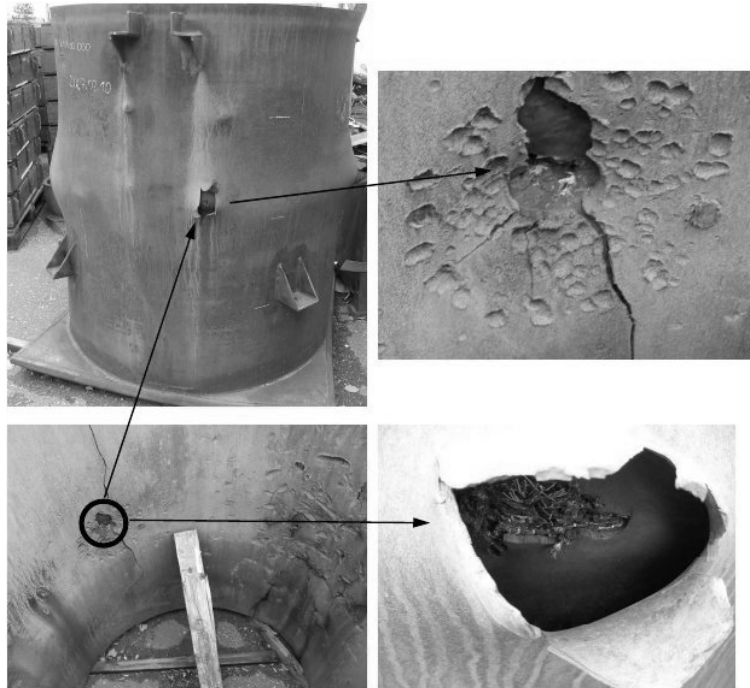
Schemat zbiornika i położenie w nim pocisku przedstawia rys. 3. Przygotowany pocisk do detonacji na poligonie przedstawia rys. 4. Zbiornik po detonacji pocisku w jego wnętrzu w wariantcie I przedstawiają na rys. 5, a w wariantcie II rys. 6.



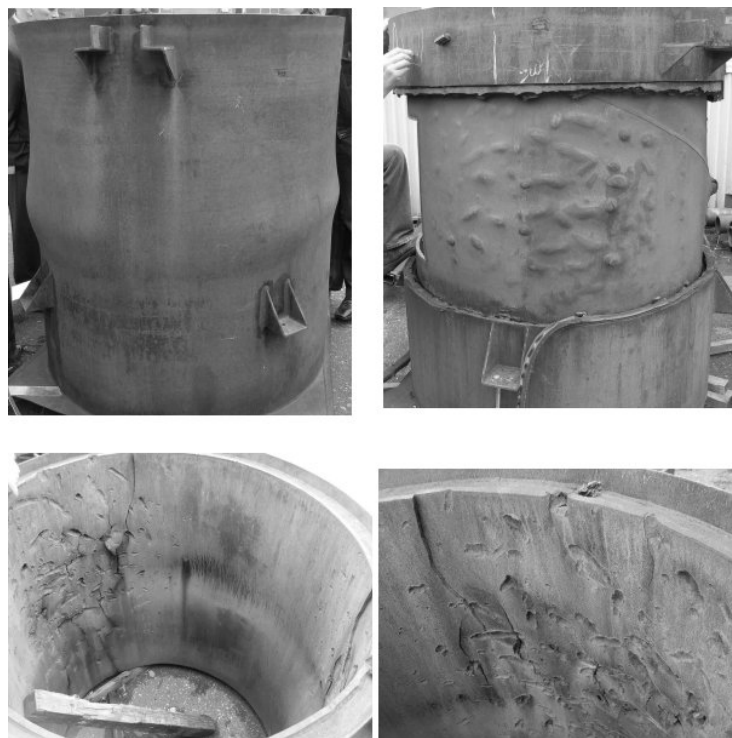
Rys. 3. Schemat zbiornika z pociskiem



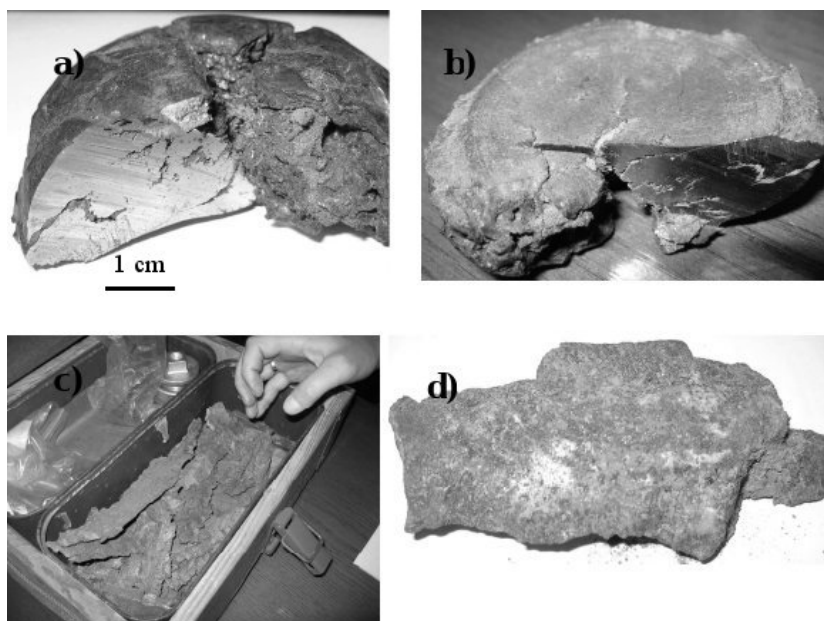
Rys. 4. Pocisk OF-530 w zbiorniku przygotowany do detonacji



Rys. 5. Zbiornik – wariant I; po detonacji z widoczną miejscową perforacją odłamkiem



Rys. 6. Zbiornik – wariant II; brak perforacji zbiornika



Rys. 7 Odłamki pocisku OF-530

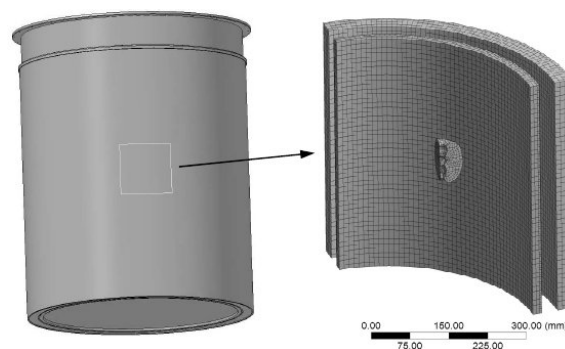
Zbiornika nie niszczy bezpośrednio ciśnienie wywołane detonacją masy ładunku zawartej w pocisku (6,26 kg TNT). Natomiast jego przebite następuje w wyniku oddziaływania odłamków (rys, 7 a-d). Najbardziej destrukcyjne jest oddziaływanie odłamka uformowanego z tylnej części pocisku. Ten odłamek sam zachowuje się ja pocisk, który z prędkością powyżej 1000 m/s przebija zbiornik (Zecevic, 2004).

2.2. Eksperyment numeryczny

Geometrię przestrzenną zbiornika i pocisku wykonano w systemie CAD (rys. 8), zgodnie z dokumentacją. Na tym etapie zadbano o szczegóły dotyczące współpracy poszczególnych części.

Tak przygotowane złożenie wprowadzono do systemu MES i poddano dyskretyzacji. Wykorzystując zawarte w systemie ANSYS®AUTODYN® procedury uwzględniono warunki brzegowo-początkowe dotyczące symulowanego procesu. Wewnątrz i na zewnątrz zbiornika uwzględniono powietrze jako ośrodek rozprzestrzeniania się fali detonacyjnej. Uwzględniono materiał wybuchowy w pocisku taki jaki jest w rzeczywistości (położenie, objętość, masę, kształt, punkt inicjowania detonacji). Każdy element zbiornika opisany został modelem materiałowym uwzględniającym plastyczne zachowanie się materiału, erozję i efekt pełnego zniszczenia.

Nadmienić trzeba, że w najprostszym przypadku należy do systemu wprowadzić min. 36 zmiennych materiałowych. Modeli materiałowych uwzględnianych podczas jednej symulacji może być od kilku do kilkunastu. Sam proces pozyskiwania danych materiałowych może być aspektem osobnych badań naukowych a od nich zależy przede wszystkim jakość uzyskiwanych wyników z czego autor zdaje sobie doskonale sprawę. Na tym etapie przyjęto dane dostępne w bazie materiałowej oprogramowania ANSYS®AUTODYN®.



Rys. 8. Geometria przestrzenna i zdyskretyzowany wycinek zbiornika

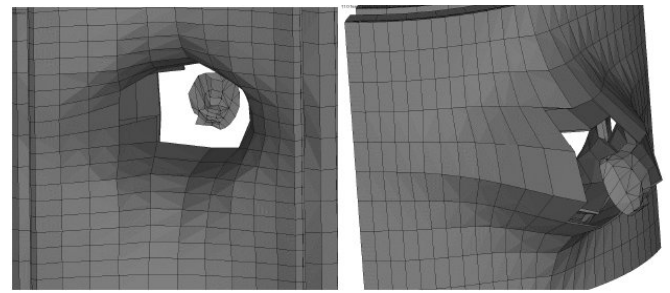
W pracy celowo nie podano szczegółów dotyczących aspektów teoretycznych zastosowanych modeli konstytutywnych. Wykorzystane narzędzie do przeprowadzenia symulacji jakim jest system ANSYS®AUTODYN® oparte jest na tzw. hydrokodach Lagrange'a, Eulera, SPH. Teoria w tym zakresie jest znana i opisywana w literaturze (Dobrociński, 2000; Jach, 2005). Istotą tej symulacji jest wykazanie, czy efektywne może być zastosowanie tej teorii w odniesieniu do rzeczywistości poprzez walidację uzyskiwanych wyników. Odpowiedzialność za jej poprawne użycie spoczywa na przeprowadzającym obliczenia.

Jeśli od strony programowej nie widać ograniczeń to od strony sprzętowej są one ekstremalne. Pełna symulacja wymaga zastosowania wieloprocessorowych klastrów obliczeniowych do których na tym etapie badań nie było dostępu. Ograniczono się zatem do analizy fragmentu zbiornika (rys. 8) i oddziaływania pojedynczego odłamka przy ustalonych warunkach początkowo-brzegowych.

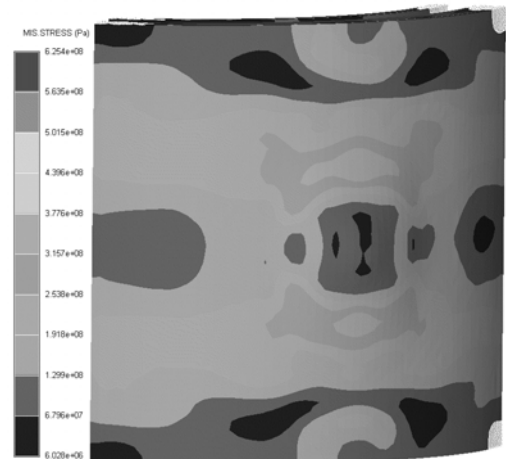
| | | | |
|------------------------------|-------------------------------------|------------------|--------------------------|
| Name | <input checked="" type="checkbox"/> | WBMat- 1 | |
| Reference Density | <input checked="" type="checkbox"/> | 7.896000e+003 | (kg/m3) |
| EOS | | Shock | <input type="checkbox"/> |
| Gruneisen coefficient | | 2.170000 | (none) |
| Parameter C1 | <input checked="" type="checkbox"/> | 4.569000e+003 | (m/s) |
| Parameter S1 | <input checked="" type="checkbox"/> | 1.490000 | (none) |
| Parameter Quadratic S2 | | 0.000000 | (s/m) |
| Relative volume, VE/V0 | | 0.000000 | (none) |
| Relative volume, VB/V0 | | 0.000000 | (none) |
| Parameter C2 | | 0.000000 | (m/s) |
| Parameter S2 | | 0.000000 | (none) |
| Reference Temperature | | 300.000000 | (K) |
| Specific Heat | | 452.000000 | (J/kgK) |
| Thermal Conductivity | | 0.000000 | (J/mKs) |
| Strength | | Johnson Cook | <input type="checkbox"/> |
| Shear Modulus | <input checked="" type="checkbox"/> | 8.180001e+010 | (Pa) |
| Yield Stress | <input checked="" type="checkbox"/> | 3.500000e+008 | (Pa) |
| Hardening Constant | | 2.750000e+008 | (Pa) |
| Hardening Exponent | | 0.360000 | (none) |
| Strain Rate Constant | | 0.022000 | (none) |
| Thermal Softening Exponent | | 1.000000 | (none) |
| Melting Temperature | | 1.811000e+003 | (K) |
| Ref. Strain Rate (/s) | | 1.000000 | (none) |
| Strain Rate Correction | | 1st Order | |
| Failure | | Johnson Cook | <input type="checkbox"/> |
| Damage Constant, D1 | | 1.010000e+020 | (none) |
| Damage Constant, D2 | | 1.010000e+020 | (none) |
| Damage Constant, D3 | | 1.010000e+020 | (none) |
| Damage Constant, D4 | | 1.010000e+020 | (none) |
| Damage Constant, D5 | | 1.010000e+020 | (none) |
| Melting Temperature | | 0.000000 | (K) |
| Ref. Strain Rate (/s) | | 1.000000 | (none) |
| Erosion | | Geometric Strain | <input type="checkbox"/> |
| Erosion Strain | <input checked="" type="checkbox"/> | 1.000000 | (none) |
| Type of Geometric Strain | | Instantaneous | |
| Cutoffs | | | <input type="checkbox"/> |
| Maximum Expansion | <input checked="" type="checkbox"/> | 0.100000 | (none) |
| Minimum Density Factor | | 1.000000e-004 | (none) |
| Minimum Density Factor (SPH) | | 0.200000 | (none) |
| Maximum Density Factor (SPH) | | 3.000000 | (none) |
| Minimum Soundspeed | <input checked="" type="checkbox"/> | 1.000000e-006 | (m/s) |
| Maximum Soundspeed | <input checked="" type="checkbox"/> | 1.010000e+020 | (m/s) |
| Maximum Temperature | <input checked="" type="checkbox"/> | 1.010000e+020 | (K) |
| Material Reference | | | |

Rys. 9. Liczba i rodzaj danych materiałowych potrzebnych do przeprowadzenia obliczeń dla jednego modelu materiałowego

W wyniku przeprowadzonych obliczeń uzyskano następujące wyniki (rys. 10 i 11)



Rys. 10. Zbiornik – wariant I; perforacja odłamkiem



Rys. 11. Zbiornik – wariant II; brak perforacji zbiornika

Uzyskane wyniki odpowiadają efektom uzyskanym w odpowiednich wariantach na próbach poligonowych.

3. WNIOSKI

W pracy nie realizowano badań teoretycznych (nie opracowywano nowych modeli), ani też badań programistycznych (programowanie własnego hydrokodu nie było celem pracy). Podczas eksperymentu numerycznego należało ustalić, czy tego typu symulacja jest w ogóle możliwa do przeprowadzenia.

Okazało się, że od strony programowej nie ma żadnych ograniczeń. Istnieje możliwość wprowadzania do systemu własnych procedur w przypadku indywidualnych modeli obliczeniowych.

Zastosowania tego typu badań symulacyjnych w momencie, gdy możliwości badawcze są ograniczone ze względu np. na destrukcyjny charakter samego zjawiska wydają się na dzień dzisiejszy najlepszym rozwiązaniem.

Bez użycia kombinacji eksperyment/symulacja zawsze prowadzi się rozważaniami czysto teoretyczne, bez odniesienia do rzeczywistości lub czysto eksperymentalne, które nie zawsze pozwalają zrozumieć mechanizmy zachodzące podczas rozpatrywanego zagadnienia.

W dalszej części badań prowadzone będą w pierwszym etapie symulacje oddziaływania odłamków na konstrukcję typu „sandwich”.

LITERATURA

1. **Dobrociński S.** (2000), *Stabilność rozwiązań zagadnień odporności udarowej konstrukcji*, ITE, Akademia Marynarki Wojennej, Gdynia.
2. **Zecevic B. i inni**, (2004), Influence of Warhead Design on Natura Fragmentation Performances: *15th DAAAM INTERNATIONAL SYMPOSIUM, Intelligent Manufacturing & Automation: Globalization–Technology–Men–Nature, Vienna, Austria 3-6th November 2004*.
3. **Jach K.** (2005), *Komputerowe modelowanie dynamicznych oddziaływań ciał metodą punktów swobodnych*, PWN, Warszawa.
4. AUTODYN®Explicit Software for Nonlinear Dynamic, Theory Manual Revision 4.3, Century Dynamics, 2005.
5. **Johnson & Cook** (1969), LA-4167-MS Selected Hugoniot EOS: *7th Int. Symp. Ballistics, 1969*.
6. <http://www.jakusz.com.pl/>

TAKING COMPUTER PHYSICS TO THE INITIAL ANALYSIS OF THE SPECIAL CONTAINER WITH THE USE OF THE ANSYS® AUTODYN® SYSTEM

Abstract: In the article the initial approach of the author was showed to simulate the destruction course of the container intended to the explosives transportation after the explosion into his interior. The aims were presented in reaching them and possibilities of their realizing. Initial results of the computer simulation of the destruction of the special container were described. One qualified guidelines to the further work especially considering the validation of simulation results. To stimulatory subjects one used the latest software of the explicit type ANSYS® AUTODYN® dedicated for assignments of the non-linear dynamics.