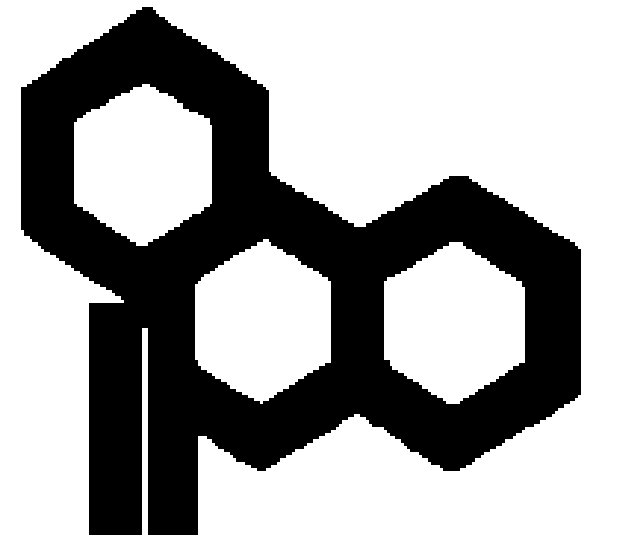




# Symulacje numeryczne i wstępne badania eksperymentalne modeli układów ochronnych narażonych na wybuch ładunków o masie 2-6 kg TNT w warunkach określonych dokumentem NATO AEP-55

Numeric simulations and experimental tests of vehicle protective systems in the aspect of NATO requirements determined in the AEP-55 document for 2-6 kg TNT



STARCZEWSKI Lech<sup>1</sup>, NYC Robert<sup>1</sup>, KOŚLIK Piotr<sup>2</sup>, WILK Zenon<sup>2</sup>

<sup>1)</sup> Wojskowy Instytut Techniki Pancernej i Samochodowej; ul. Okuniewska 1, 05-070 Sulejówek, PL

<sup>2)</sup> Instytut Przemysłu Organicznego Warszawa - Oddział Krupski Młyn; ul. Zawadzkiego 1, 42-693 Krupski Młyn, PL

**Streszczenie:** Praca zawiera opis modeli numerycznych zjawisk towarzyszących wybuchom równoważnym 2-6 kg trotylu (TNT) w układzie otwartym - powietrzu oraz pod przegrodą symulującą układ ochronny pojazdu, uwzględniających warunki prowadzenia badań zgodnych z wymaganiami dokumentu NATO AEP-55. Modele numeryczne zwalidowano eksperymentalnie wykonując badania dla ładunków 0,5 kg, 1,0 kg, 2kg TNT. Przedstawiono wyniki badań symulacyjnych i przebiegi istotnych parametrów towarzyszących wybuchom. Zweryfikowany doświadczalnie model numeryczny układu z płaską stalową przegrodą, umożliwia zbudowanie modelu przestrzennego układu ochronnego, co znacznie ograniczy ilość eksperymentów poligonowych dla projektowanych rozwiązań aplikacyjnych.

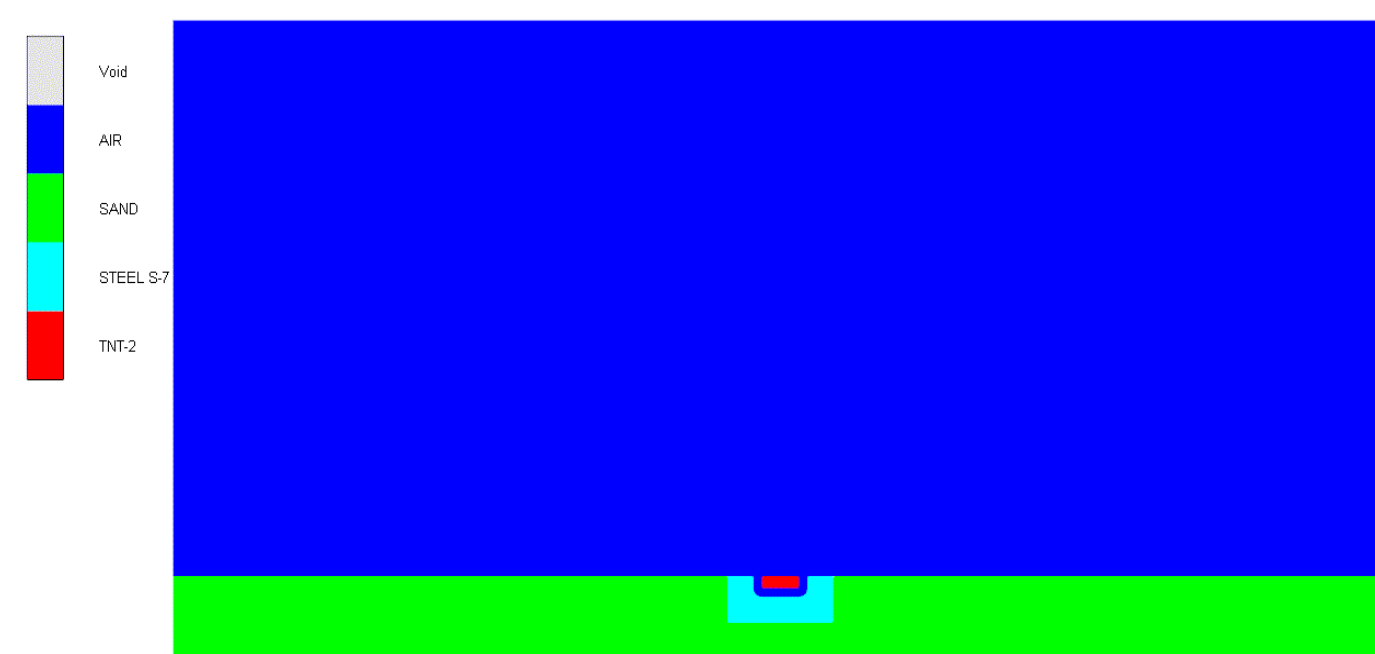
**Abstract:** The paper presents the description of numeric models of phenomena accompanying detonations corresponding to 2-6 kg TNT in two cases. The first one is the air (open system) and the second one is under the baffle simulating the protection system of a vehicle considering conditions of running the research compatible with requirements of NATO AEP-55 document. Numeric models were validated experimentally in tests with the use of 0,5kg, 1,0 kg and 2,0 kg of TNT. The results of the simulations and the relations of important parameters accompanying the detonations were presented. The numeric model with flat steel baffle, which was experimentally verified enables building the model of protection system in the real conditions, which will significantly reduce the number of firing range experiments for designed implementation solutions.

## SYMULACJE KOMPUTEROWE – WSTĘP DO BADAŃ ZGODNYCH Z DOKUMENTEM AEP-55

Dokument NATO AEP-55 określa wymagania dla poligonowych układów badawczych systemów ochronnych pojazdów (np. KTO, czołgów) i podaje szczegółowe parametry układów testowych, np. test prosty wybuchu miny pod płytą stalową 35 mm lub test wybuchu miny pod płytą stalową 35 mm z obciążeniem (stanowiącym ekwiwalent masy pojazdu, np. 3,5T).

Dla analiz numerycznych utworzony został model 2D wybuchu miny ze stalowej formy - płyty detonacyjnej, o wymiarach 700 mm x 300 mm jak w specyfikacji normy do badań poligonowych (dokument NATO AEP-55).

Model obejmuje przestrzeń powietrza o średnicy 8 m i wysokości 4 m nad podłożem. Przyjęto dane materiałowe z dostępnej bazy danych programu Ansys Autodyn (odpowiednio AIR, SAND, STEEL S-7, TNT-2). Dla opisu procesu detonacji trotylu zastosowano równania stanu EOS JWLL.

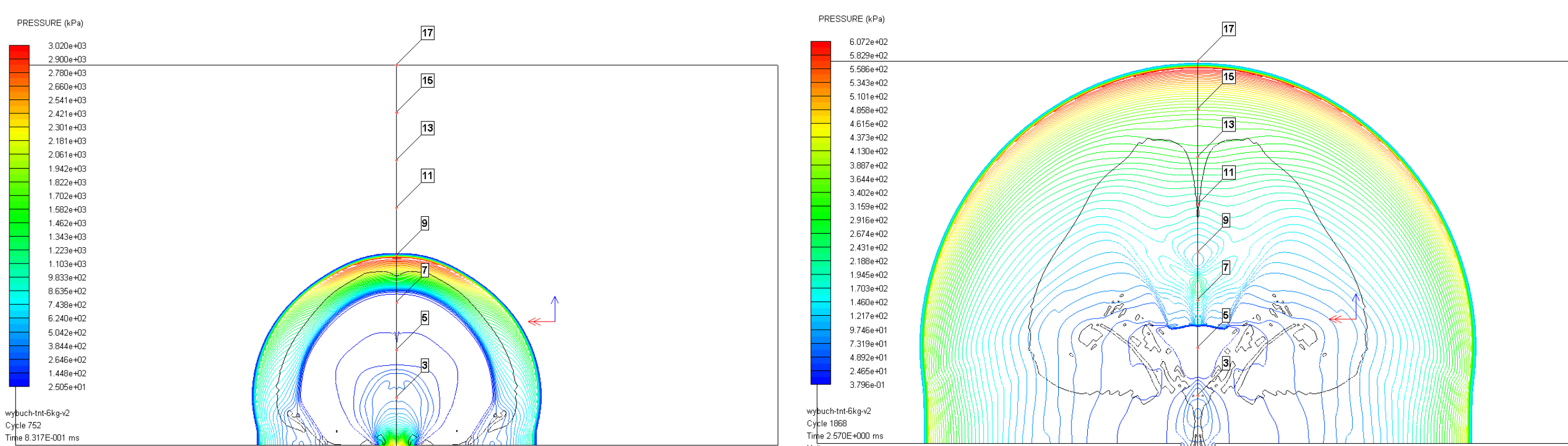


Widok układu - modelu ułożenia ładunku TNT w stalowej płycie detonacyjnej

### Parametry materiałowe TNT do równania stanu JWLL

| Materiał wybuchowy | $\rho_0$ [g/cm <sup>3</sup> ] | A [GPa] | B [GPa] | $P_{CJ}$ [GPa] | $R_1$ | $R_2$ | $E_0$ [GPa] | $D_{sr}$ [m/s] | $\omega$ |
|--------------------|-------------------------------|---------|---------|----------------|-------|-------|-------------|----------------|----------|
| TNT                | 1,63                          | 371,2   | 3,231   | 21,0           | 4,15  | 0,95  | 7,0         | 6930           | 0,3      |

### Wybrane wyniki analizy z symulacji wybuchu 6 kg TNT z płyty detonacyjnej - wybuch w powietrzu otwarty



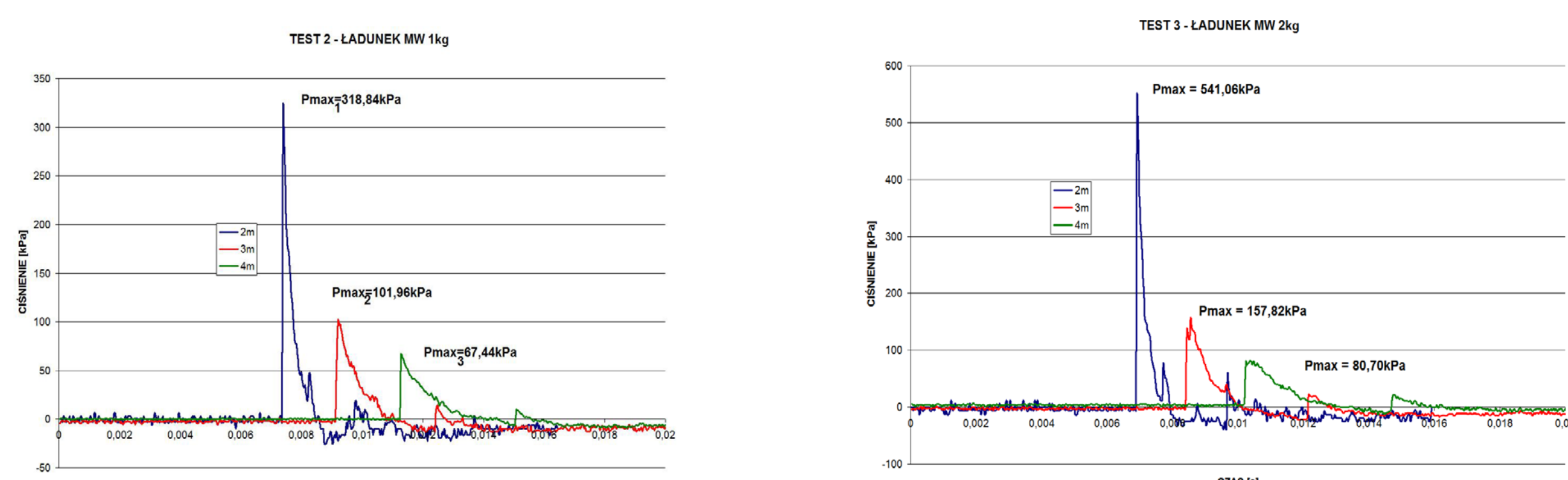
Wybuch 6kg TNT w płycie detonacyjnej w powietrzu - otwarty. Przebieg rozprzestrzeniania się fali podmuchowej w powietrzu, obrazy konturów ciśnienia dla czasów: T = 831,7  $\mu$ s; 2570  $\mu$ s

### Badania poligonowe wybuchu TNT z pomiarami ciśnienia fali podmuchowej

Dla weryfikacji modelu numerycznego wybuchu ładunków TNT w stalowej płycie wykonano serię badań poligonowych z pomiarem ciśnienia fali podmuchowej. W badaniu detonowano miny z materiału wybuchowego - ekwiwalent TNT o masach: 1000 g oraz 2000 g.

| Masa MW | Ciśnienie maksymalne (Pmax) |               |               |
|---------|-----------------------------|---------------|---------------|
|         | Odległość 2 m               | Odległość 3 m | Odległość 4 m |
| 1000 g  | 318,4kPa                    | 101,96kPa     | 67,44kPa      |
| 2000 g  | 541,06 kPa                  | 157,82 kPa    | 80,70 kPa     |

### Zestawienie wyników pomiarów ciśnienia fali podmuchowej

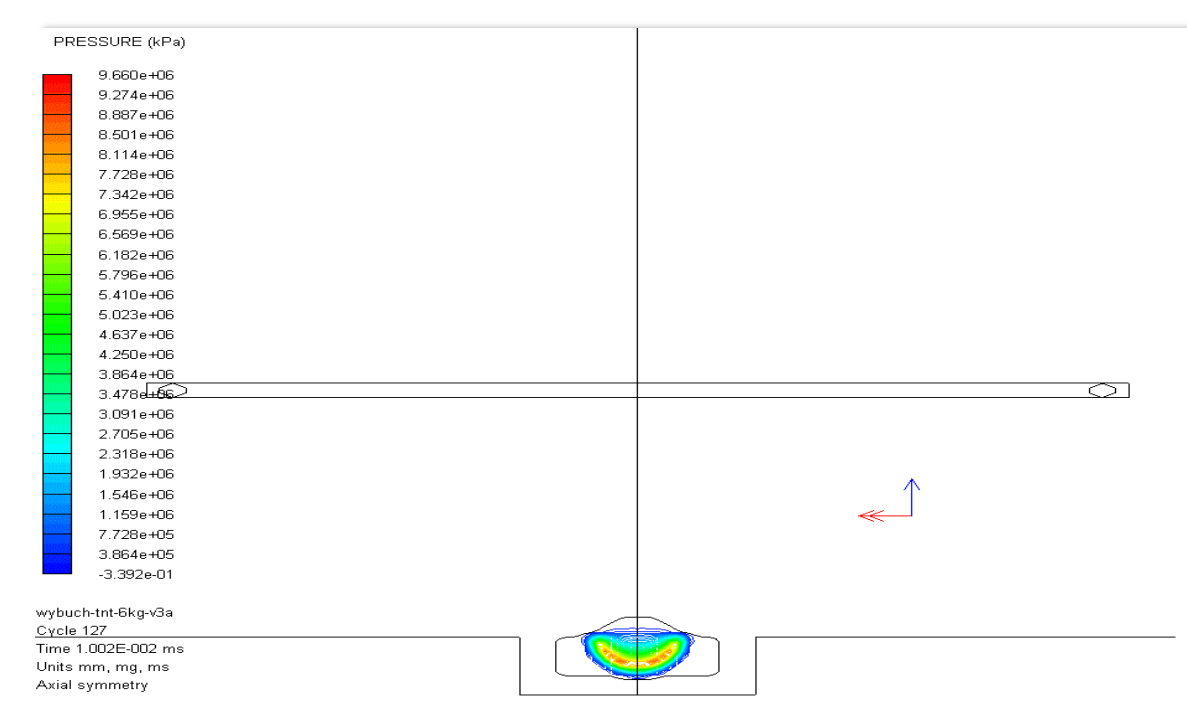


Przebiegi ciśnienia po wybuchu ładunku 1kg i 2 kg TNT w odległościach 2, 3 i 4 m



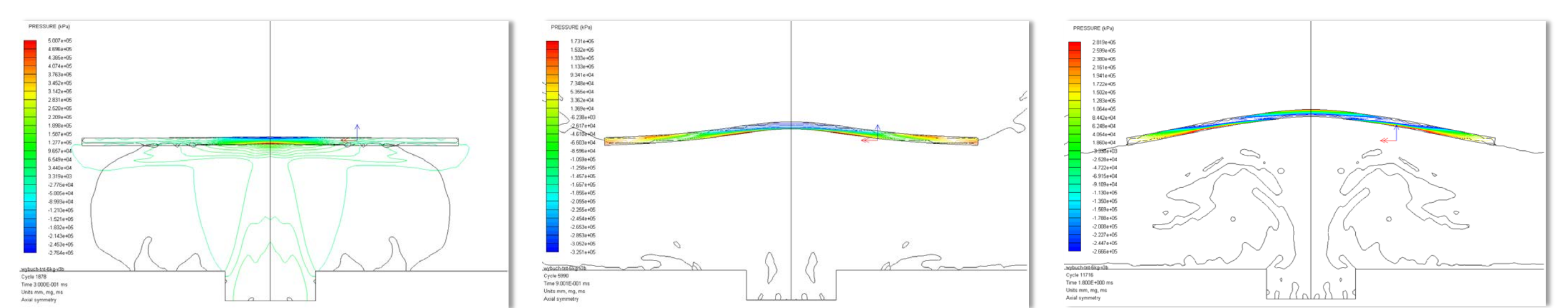
Widok ładunku TNT przygotowanego do testu wybuchu w stalowej płycie

### Wybrane wyniki analizy z symulacji wybuchu 6 kg TNT w płycie detonacyjnej - wybuch w powietrzu pod stalową przegrodą

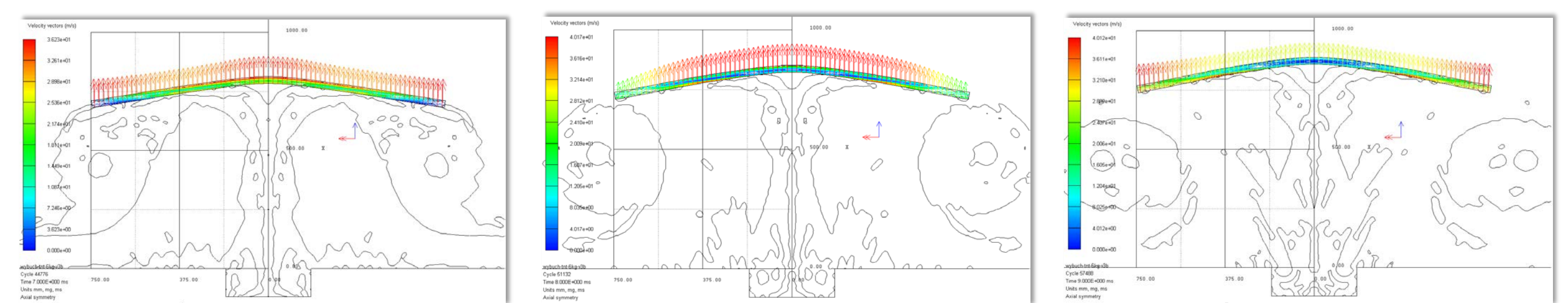


W kolejnym modelu analizowano oddziaływanie ciśnienia generowanego w wyniku detonacji ładunku 6 kg TNT z płyty detonacyjnej na stalową przegrodę o wymiarach 1500 mm x 30 mm umieszczoną swobodnie na wysokości 500 mm nad ładunkiem.

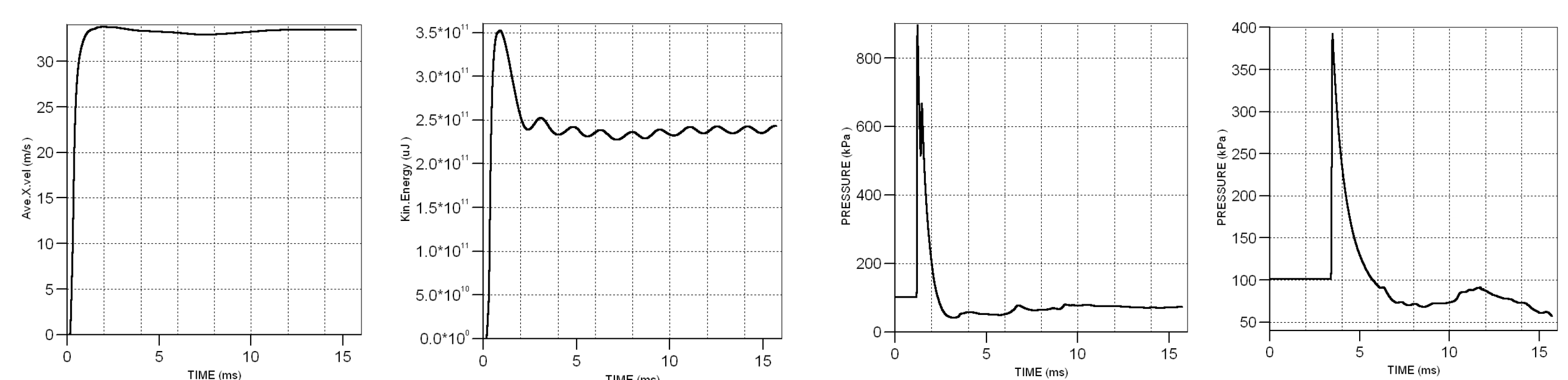
### Widok modelu wybuchu 6 kg TNT z płyty detonacyjnej - układu ze stalową przegrodą, T=10,02 $\mu$ s



Wybuch 6kg TNT z płyty detonacyjnej pod stalowa przegrodą. Kontury ciśnienia i obrazy deformacji stalowej przegrody - dla czasów: T = 300  $\mu$ s; 900  $\mu$ s; 1800  $\mu$ s



Wybuch 6kg TNT z płyty detonacyjnej pod stalowa przegrodą. Obrazy deformacji stalowej przegrody i wektory prędkości dla czasów: T = 7 ms; 8 ms; 9 ms

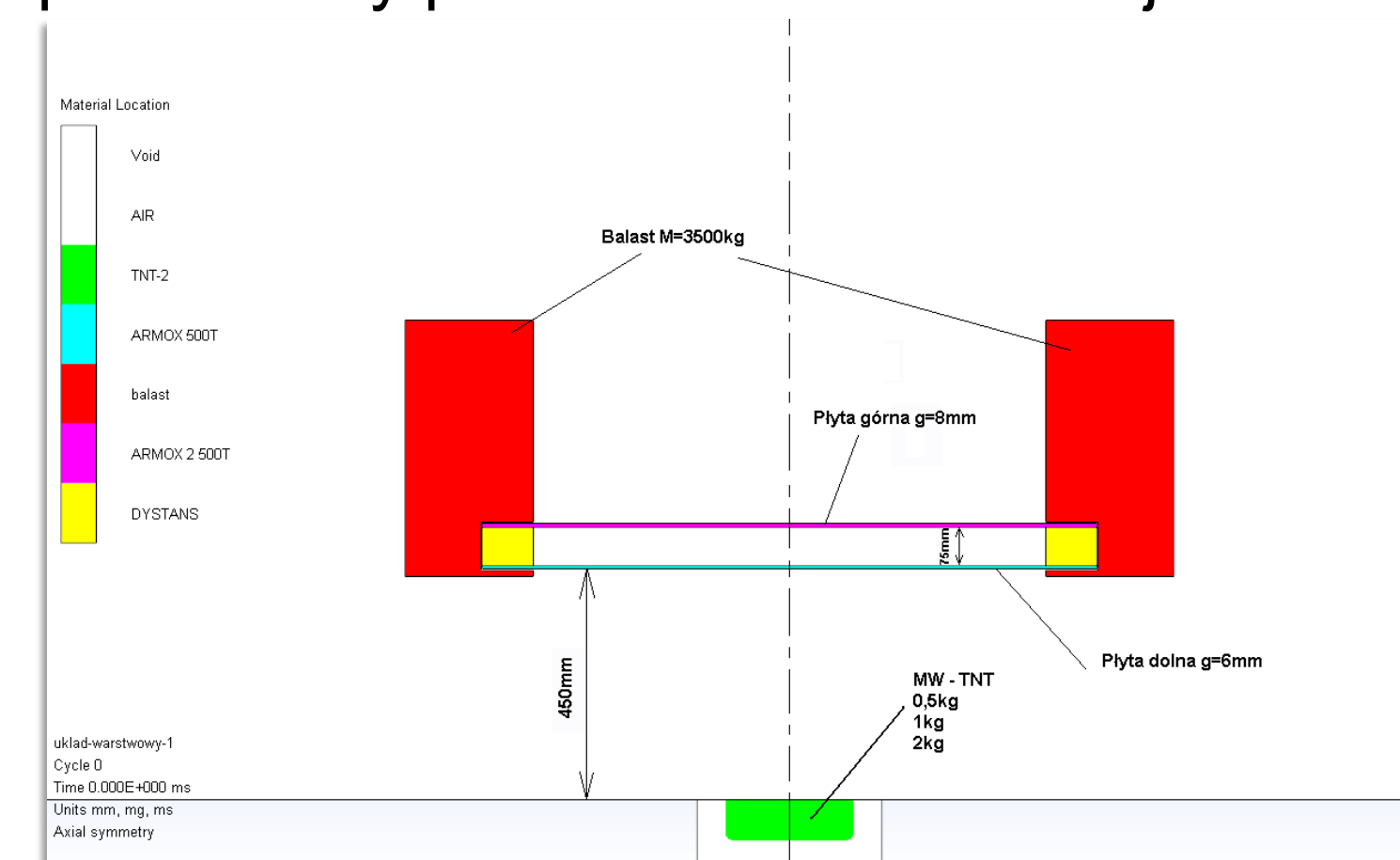


Przebieg zmian średniej prędkości przegrody stalowej i jej energii kinetycznej

Wykresy przebiegu ciśnienie w powietrzu na wysokości 1 m w odległościach: 2 m i 4 m

## PODSUMOWANIE

Wyniki wstępnych analiz numerycznych i symulacji komputerowych przedstawionych w pracy najprostszymi modelami, zgodnymi z dokumentem AEP-55, potwierdziły prawidłowość ich funkcjonowania.



Model geometryczny warstwowego układu ochronnego

Do prac w kolejnych etapach analiz numerycznych i prób poligonowych przygotowany został najbardziej złożony model wg. wymagań dokumentu AEP-55. Jest to model warstwowego układu ochronnego, który jest równomiernie obciążony na krawędziach balastem o masie 3,5T.

### Literatura

- AEP-55 Volume 2, Ed. 2, Procedures for evaluating the protection level of armoured vehicles, NATO/PIP UNCLASSIFIED, August 2011,
- Ansys Autodyn Manual, Help
- L.L. Davis & L.G. Hill, ANFO CYLINDER TESTS, CP620, Shock Compression of Condensed Matter - 2001. Baza danych Autodyn,
- Krzyształa E., Mężyk A., Kciuk S.: Analiza zagrożenia załogi w wyniku wybuchu ładunku pod kołowym pojazdem opancerzonym, Zeszyty Naukowe WSOWL, str. 145-154, nr 1(159) 2011