



**BADANIA I KLASYFIKACJA ODPORNOŚCI NA SIŁĘ EKSPLOZJI
ELEWACJI OKIENNYCH I FASAD**
**INVESTIGATIONS AND CLASSIFICATION OF WINDOW ELEVATIONS
AND FACADES RESISTANCE TO BLASTING FORCE**

Michał KACZOROWSKI, Piotr KASPRZAK, Marcin NITA
Wojskowy Instytut Techniczny Uzbrojenia
Military Institute of Armament Technology

DOI 10.5604/01.3001.0010.5150

Streszczenie: W świecie coraz większych zagrożeń terrorystycznych, a jednocześnie przy dążeniu do coraz lepszej ochrony ludzi przed skutkami wybuchu, pojawiły się tendencje do znormalizowania odporności elewacji okiennych czy fasad, jak również pojedynczych drzwi i okien, na detonację ładunku materiału wybuchowego. Normy takie opracowano w Stanach Zjednoczonych oraz w Unii Europejskiej, zostały przyjęte również w Polsce. Są to normy polskie PN – EN 13541 „Szkło w budownictwie – Bezpieczne oszklenia – Badania i klasyfikacja odporności na siłę eksplozji”, PN – EN 13123-2 „Okna, drzwi i żaluzje – Odporność na wybuch – Wymagania i klasyfikacja – Część 2: Próba Poligonowa” i PN – EN 13124-2 „Okna, drzwi i żaluzje – Odporność na wybuch – Metoda badania – Część 2: Próba Poligonowa” wraz z aneksem A i B oraz standard US GSA – TS01 – 2003 „Standardowa metoda badań dla przeszkleń i systemów okiennych podlegających dynamicznym obciążeniom nadciśnienia”. Normy amerykańskie przewidują stosowanie znacznie większych ładunków materiałów wybuchowych niż normy unijne, ale jednocześnie z większej odległości. W opracowaniu omówiono prowadzone w Wojskowym Instytucie Technicznym Uzbrojenia w Zielonce testy wytrzymałościowe elewacji okiennej i fasady.

Słowa kluczowe: okna, materiały wybuchowe, odporność na nadciśnienie

1. Przesłanki powstania konstrukcji antywybuchowych

Początkowo pojedyncze antywybuchowe okna i drzwi pojawiły się w budynkach związanych z produkcją materiałów wybuchowych (MW). Miały one za zadanie chronić sąsiednie pomieszczenia przed

Abstract: Striving for better protection of people against the effects of bomb explosions in the world of ever-increasing terrorist threats some tendencies have appeared to normalize the resistance of window elevations and facades as well as an individual door and window against detonation of explosive charges. Such standards were developed in the United States and in the European Union, and were also introduced in Poland. These are Polish standards PN – EN 13541 „Glass in Building Industry – Security Glazing – Testing and Classification of Resistance against Explosion Pressure”, PN – EN 13123-2 „Windows, Doors and Shutters – Blast Resistance – Conditions and Classification – Part 2: Range Test” and PN – EN 13124-2 „Windows, Doors and Shutters – Blast Resistance – Testing Method – Part 2 Range Test” with Annexes A and B and also US GSA – TS01 – 2003 standard „Standard Test Method for Glazing and Window Systems Subject to Dynamic Overpressure Loadings”. US standards envisage using much larger explosive charges than EU standards but from a greater distance. In the paper the strength tests of window elevations and facades conducted at the Military Institute of Armament Technology in Zielonka are discussed.

Keywords: windows, explosives, overpressure resistance

1. Rationale for Developing Anti-blast Designs

Initially some anti-blast windows and doors were applied in the buildings where the explosive materials (EM) were manufactured. They were designed to protect adjacent rooms against the

rozprzestrzenianiem się fali detonacyjnej. W latach 90-tych ubiegłego wieku i później, na skutek mnożących się ataków terrorystycznych pojawiła się konieczność ochrony całych obiektów przed skutkami detonacji. Szczególnie chodziło tu o obiekty użyteczności publicznej, ambasady itp. Prekursorem w tych tendencjach były Stany Zjednoczone Ameryki (USA), które z racji pełnienia roli mocarstwa światowego i angażowania się w różnych regionach, były najbardziej narażone na ataki terrorystyczne. Powstawały konstrukcje elewacji okiennych, które testowane były na terenach pustynnych praktycznie w skali 1 : 1.

Zakładano, że terrorysta, samochodem dostawczym wyładowanym materiałami wybuchowymi, może dojechać tylko do ogrodzenia budynku ochranianego. Na pustyni testowano moduł elewacji okiennej wytrzymującej np. wybuch 500 kg MW z odległości 75 m.

2. Wymagania normowe

W związku z rozwojem produkcji okien i drzwi odpornych na wybuchy pojawiła się konieczność ujęcia w ramy norm zarówno odpowiednich testów, jak i klasyfikacji tych elementów budowlanych. W USA przyjęto normę US GSA-TS01-2003 „Standardowa metoda badań dla przeszkleń i systemów okiennych podlegających dynamicznym obciążeniom nadciśnienia”, która bazuje na mniejszych ładunkach MW niż w początkowych badaniach, odpalanych również z mniejszych odległości. Podstawą normowania, w ujęciu amerykańskim, jest wielkość fali nadciśnienia i impulsu ciśnienia. Wielkość ładunku MW i jego odległość od badanego obiektu jest sprawą drugorzędną. Natomiast klasyfikacja okien wynika z braku uszkodzeń lub z wielkości odłamków i odległości na jaką upadły. Ważną różnicą w stosunku do norm europejskich jest prowadzenie badań w kontenerze badawczym z tylną ścianą wychwytyjącą odpryski szklane, która pozwala na ocenę ryzyka zranienia odpryskami szkła po chronionej stronie przegrody szklanej.

W Europie i w Polsce przyjęto normy PN-EN 13541 „Szkło w budownictwie –

propagation of a blasting wave. The appearance of a need for protecting the whole objects against the effects of detonation was noticed in the 90s of the former century and later. The public objects, embassies etc. were especially in focus. Many of these tendencies were initiated by the United States because they were exposed in the greatest degree against terroristic attacks as the world power which has been engaged in different regions. The designs of window elevations in natural size were built to be tested in a desert terrain.

It was assumed that a terrorist could drive a van with explosives only to the fence of protected building. A module of a window elevation withstanding the blast of 500 kg of EM was tested in the distance of 75 m.

2. Standard Requirements

The manufacture of blast resistant windows and doors has triggered a need for preparing relevant standards both for tests and classification of these building components. The US GSA-TS01-2003 „Standard Test Method for Glazing and Window Systems Subject to Dynamic Overpressure Loadings” accepted in the US is based on a bit smaller charges of EM fired also at smaller distance than in previous tests. Values of an overpressure wave and pressure pulse are the basis of standardisation in the US approach. The size of EM charge and its distance to a tested object are the secondary matters. Windows are classified by damages or the sizes of fragments and distances of their scatter. Conducting the tests in a testing container with a rear wall catching the fragments of glass is a significant difference referring to the European standards as it allows for evaluation of the risk for injuries on the protected side of the glass panel.

The standards PN – EN 13541 „Glass in Building Industry – Security Glazing – Testing and Classification of Resistance against Explosion Pressure”, PN

Bezpieczne oszklenia – Badania i klasyfikacja odporności na siłę eksplozji”, PN-EN 13123-2 „Okna, drzwi i żaluzje – Odporność na wybuch – Wymagania i klasyfikacja – Część 2: Próba Poligonowa” i PN-EN 13124-2 „Okna, drzwi i żaluzje – Odporność na wybuch – Metoda badania – Część 2: Próba Poligonowa” wraz z aneksem A i B, w których ściśle określono wielkość ładunku MW, jego konstrukcję i usytuowanie przestrzenne w trakcie badań, a klasyfikacja wynika z braku uszkodzeń elementów szklanych przy danym ładunku.

3. Normy amerykańskie

Norma Amerykańska US GSA-TS01-2003 „Standardowa metoda badań dla przeszkleń i systemów okiennych podlegających dynamicznym obciążeniom nadciśnienia” przewiduje realizację badań klasyfikacyjnych poprzez odpalenie ładunku MW o masie 500 lb (227 kg) z odległości 170 ft (50 m).

Przykładowe stanowisko badawcze z publikacji wyników testów 3M Company test Report [5] z 2003 r. przedstawiono na fot.1.

– EN 13123-2 „Windows, Doors and Shutters – Blast Resistance – Conditions and Classification – Part 2: Range Test” and PN – EN 13124-2 „Windows, Doors and Shutters – Blast Resistance – Testing Method – Part 2: Range Test” with Annexes A and B were accepted in Europe and also in Poland to precise the size of EM charge, its design and position in the space during the tests, and the classification as the lack of any damages of glass components for the specific charge.

3. The US Standards

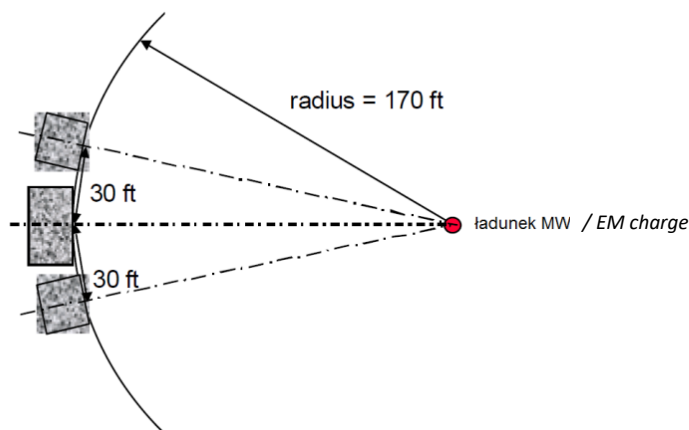
The US standard US GSA-TS01-2003 „Standard Test Method for Glazing and Window Systems Subject to Dynamic Overpressure Loadings” envisages the performance of classification tests through the detonation of EM charge with the mass of 500 lb (227 kg) on the distance of 170 ft (50 m).

An exemplary testing site is presented in photo 1 following 3M Company Test Report [5] from 2003 tests results publication.



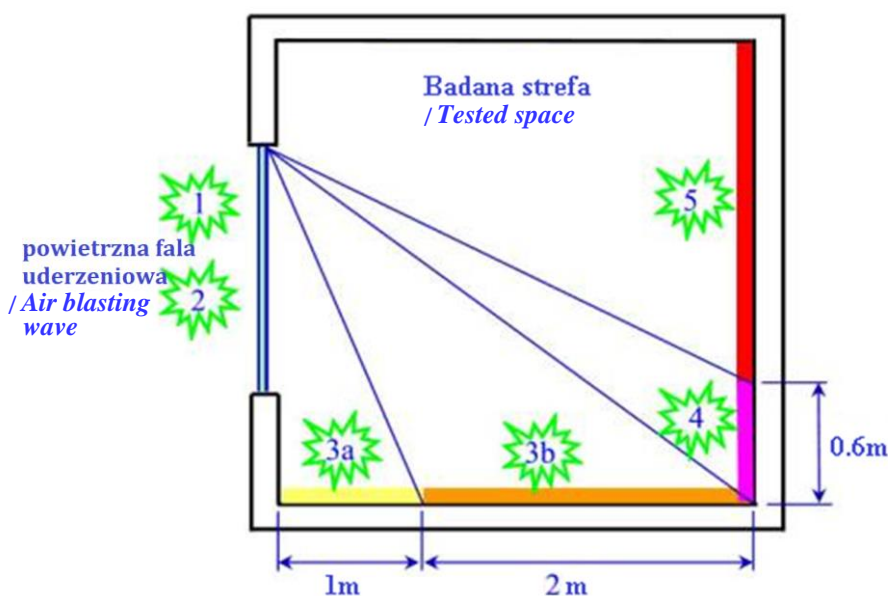
Fot. 1. Usytuowanie okien na stanowisku badawczym

Photo 1. Positions of windows on the testing site



Rys. 1. Orientacja radialna testowanych okien

Fig. 1. Radial orientation of tested windows



Rys. 2. Schemat wersji rozrzutu odłamków szkła w kontenerze badawczym

Fig. 2. Schematic option for scattering the fragments of glass within the testing container

Według normy efekt oddziaływania fali nadciśnienia na element szklany można przedstawić zgodnie z sytuacją na rys. 2. Widać, że możemy mieć do czynienia z czterema odległościami upadku odłamków przy sześciu sposobach zachowania się przeszklenia. Pozwala to na sklasyfikowanie elementu szklanego zgodnie z normą i tabelą 1.

4. Normy europejskie

Według Normy Europejskiej ładunek MW ma postać kulistą z lanego trotylu (TNT), przy czym pobudzany on jest ładunkiem pośrednim

According to the standard the effect of the overpressure wave reaction onto a glass component may be presented in Fig. 2. It can be seen that we have four distances for falling fragments at six options for the behaviour of the glassing. It allows for classification of a glass component according with the standard and table 1.

4. European Standards

According to European standards the charge of EM made from the cast trotyl (TNT) has a spherical form and is detonated

plastycznego materiału wybuchowego, detonatorem heksogenowym i zapalnikiem elektrycznym. by an intermediary plastic charge, hexogen detonator and electric fuse.

Tabela 1. Klasyfikacja okien na podstawie wyników badań w kontenerze badawczym

Warunek wydajnościowy dla systemu WSR (Window System Response)	Stopień ochrony	Stopień zagrożenia	Opis
1	Bezpieczny	Brak	Oszklenie nie pęka. Brak widocznych uszkodzeń szyby jak i ramy okiennej.
2	Bardzo wysoki	Brak	Oszklenie pęka ale jest utrzymywane przez ramę. Odpryski jak i pomniejsze fragmenty szkła widoczne gołym okiem. Jest to akceptowalne.
3a	Wysoki	Bardzo niski	Oszklenie pęka i fragmenty szkła lądują nie dalej niż 1 metr od okna.
3b	Wysoki	Niski	Oszklenie pęka i fragmenty szkła lądują nie dalej niż 3 metry od okna.
4	Średni	Średni	Oszklenie pęka i fragmenty szkła lądują nie dalej niż 3 metry od okna jak i na wysokość nie większej niż 0,6 m.
5	Niski	Wysoki	Oszklenie pęka i fragmenty szkła lądują nie dalej niż 3 metry od okna oraz na wysokości większej niż 0,6 m.

Table 1. Classification of windows based on results of tests in testing container

Effectiveness condition for system WSR (Window System Response)	Protection level	Threat level	Description
1	Safe	No	The glazing does not break. There are no visible damages of the glass and window frame.
2	Very high	No	The glazing breaks but it is still held by the frame. The scraps and smaller fragments of glass are visible by eye. It is acceptable.
3a	High	Very low	The glazing breaks and fragments of glass fall up to 1 m from the window.
3b	High	Low	The glazing breaks and fragments of glass fall up to 3 m from the window.
4	Medium	Medium	The glazing breaks and fragments of glass fall up to 3 m from the window and up to 0.6 m in vertical direction.
5	Low	High	The glazing breaks and fragments of glass fall up to 3 m from the window and above 0.6 m in vertical direction.

Ładunek umieszczany jest na podstawie ze styropianu o wymiarach 0,5 x 0,5 x 0,5 m lub 0,8 x 0,5 x 0,5 m w odległości 3,0, 4,0, 5,0 i 5,5 m. Kombinacja masy ładunku MW, jego położenia (wysokość, odległość) w stosunku do testowanego elementu pozwala na sklasyfikowanie wyrobu.

W tabeli 2 przedstawiono dokładne wymiary ładunków MW o gęstości TNT 1590 kg/m³ oraz wysokość ich umieszczenia ponad

The charge is placed on a Styrofoam mount with dimensions of 0.5 x 0.5 x 0.5 m or 0.8 x 0.5 x 0.5 m in distances 3.0, 4.0, 5.0 and 5.5 m. The combination of the mass of EM charge, its position (height, distance) in reference to a tested component allows for the classification of the article.

Detailed sizes of EM charges at TNT density of 1 590 kg/m³ and their height

gruntem.

above the ground are given in table 2.

Tabela 2. Konstrukcja ładunku MW

Masa ładunku [kg]	Średnica ładunku [mm]	Tolerancja	Wysokość położenia ładunku [mm]
3	153,4	± 2% masy = ± 1,0mm średnicy	500 ± 50
12	243,4	± 2% masy = ± 1,6mm średnicy	800 ± 50
20	288,6	± 2% masy = ± 1,9mm średnicy	800 ± 50

Table 2. Structural design of EM charge

Mass of charge [kg]	Diameter of charge [mm]	Tolerance	Height of charge location [mm]
3	153.4	± 2% mass = ± 1.0mm diameter	500 ± 50
12	243.4	± 2% mass = ± 1.6mm diameter	800 ± 50
20	288.6	± 2% mass = ± 1.9mm diameter	800 ± 50

W tabeli 3 przedstawiono sposób klasyfikacji przeszkleń w zależności od oddziałującej na nią fali nadciśnienia.

The way of classification for the glazing depending on the overpressure wave acting against it is shown in table 3.

Tabela 3. Klasyfikacja okien w funkcji wielkości ładunku i odległości od przeszkleń

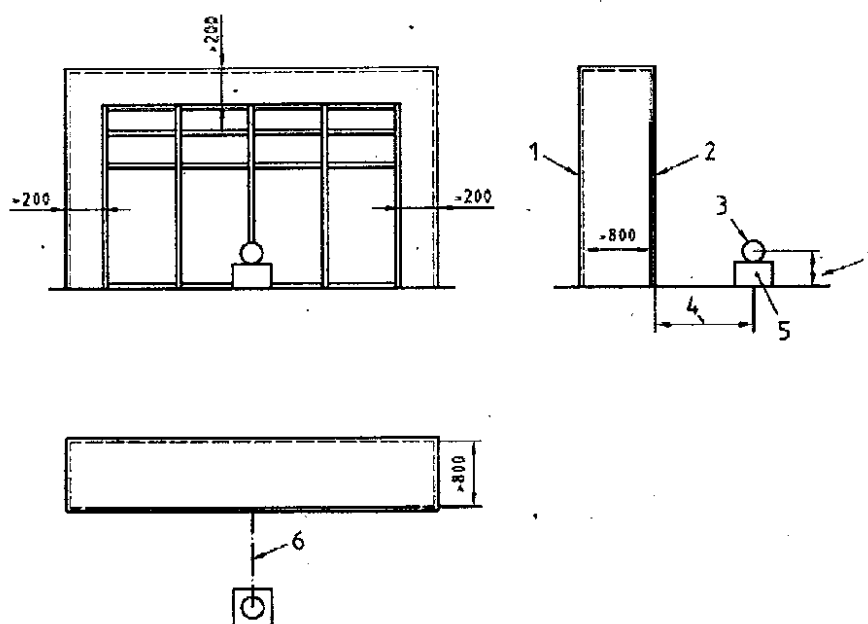
Klasa	Masa ładunku [kg]	Odległość ładunku od przeszkleń [m]	Ciśnienie P _{so} [bar]	Impuls i _{so} [bar/ms]
EXR 1	3	5	0,75	1,05
EXR 2	3	3	2,3	1,65
EXR 3	12	5,5	1,70	2,25
EXR 4	12	4	3,60	3,00
EXR 5	20	4	6,30	4,20

Table 3. Classification of windows depending on the size of the charge and distance to the glazing

Class	Mass of charge [kg]	Distance between the charge and glazing [m]	Pressure P _{so} [bar]	Pulse i _{so} [bar/ms]
EXR 1	3	5	0.75	1.05
EXR 2	3	3	2.30	1.65
EXR 3	12	5.5	1.70	2.25
EXR 4	12	4	3.60	3.00
EXR 5	20	4	6.30	4.20

Poniżej przedstawiono poglądowy rysunek stanowiska do badania odporności na wybuch elewacji okiennej. W podobny sposób bada się wytrzymałość pojedynczych okien i drzwi.

A sketched view of the setup for testing the resistance of window elevation against the blast is shown below. The resistance of individual windows and doors is tested in a similar way.



Rys. 3. Schemat stanowiska badawczego wg normy PN-EN 13123-2

1 - wsparcie elewacji okiennej, 2 - elewacja okienna, 3 - ładunek MW, 4 - odległość ładunku od elewacji, 5 - bloczek styropianowy, 6 - odległość centralna, 7 - wysokość środka MW

Fig. 3. Schematics of the testing setup according to standard PN-EN 13123-2

1 - Support of window elevation, 2 - Window elevation, 3 - Charge of EM, 4 - Distance between the charge and elevation, 5 - Styrofoam box, 6 - Central distance, 7 - Height of EM centre

5. Test elewacji okiennej

Test wybuchowy elewacji okiennej wykonano w 2011 r. na poligonie WITU wykorzystując do jej montażu znajdujący się tam bunkier żelbetowy o grubości ścian ok. 0,8 m. Elewacja okienna zamontowana na konstrukcji stalowej z elementami aluminiowymi odsunięta była od ściany bunkra na ok. 0,8 m. Przestrzeń pomiędzy elewacją a ścianą bunkra była zamknięta blachami. W warunkach rzeczywistych w przestrzeni pomiędzy ścianą rzeczywistą a fasadą mogą znajdować się podesty umożliwiające konserwację elementów. Elewacja okienna miała wymiary 2850x3200 mm. Zgodnie z wnioskiem zleceniodawcy elewacja okienna miała być badana na klasę EXR 1. Końcowy efekt montażu elewacji przedstawiono na fot. 2. Na zdjęciu tym zaznaczono miejsca umieszczenia czujników piezometrycznych służących do pomiaru nadciśnienia powietrznej fali uderzeniowej oraz znaczniki służące do określenia

5. Test of Window Elevation

Blasting test of window elevation was performed on the range of the Military Institute of Armament Technology in 2011 by using a concrete shelter having the walls of ca. 0.8 m thickness. The window elevation fixed onto a steel structure with aluminium components was distanced from the shelter's wall by ca. 0.8 m. The space between the elevation and the wall of the shelter was closed by metal sheets. In real conditions the space between the real wall and facade may be filled with platforms for maintenance servicing of components. The window elevation has a size of 2850x3200 mm. According with the customer's order the window elevation had to be tested for class EXR 1. The final result of installed elevation is visible in the photo 2. The picture shows the places where the piezoelectric sensors for measuring overpressure of blasting wave and the markers for evaluating the amplitude of

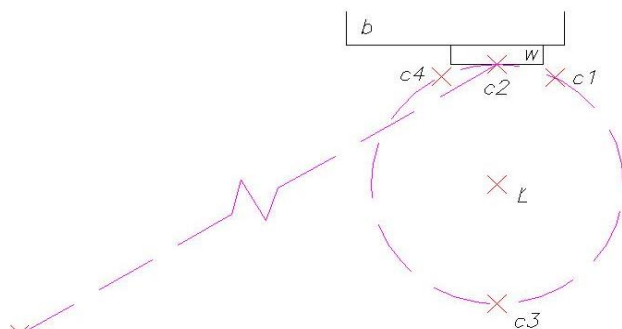
amplitudy drgań elewacji. Na następnym rysunku widać wzajemne rozmieszczenie elewacji, ładunku 3,0 kg TNT, aparatury pomiarowej i kamery do szybkich zdjęć. Kulisty ładunek 3 kg TNT umieszczony był w siatce i zawieszony na linie na wysokości 0,5 m nad gruntem. Odpalenie ładunku było zsynchronizowane z uruchomieniem szybkiej kamery.

elevation's vibrations were fixed. Next figure shows the mutual displacement of elevation, charge of 3 kg of TNT, measurement instruments and high speed camera. The spherical charge of 3 kg of TNT was hung in a bag 0.5 m above the ground. Detonation of the charge was timed with the start of the high speed camera.



Fot. 2. Widok fasady z zaznaczonymi czujnikami i znacznikami

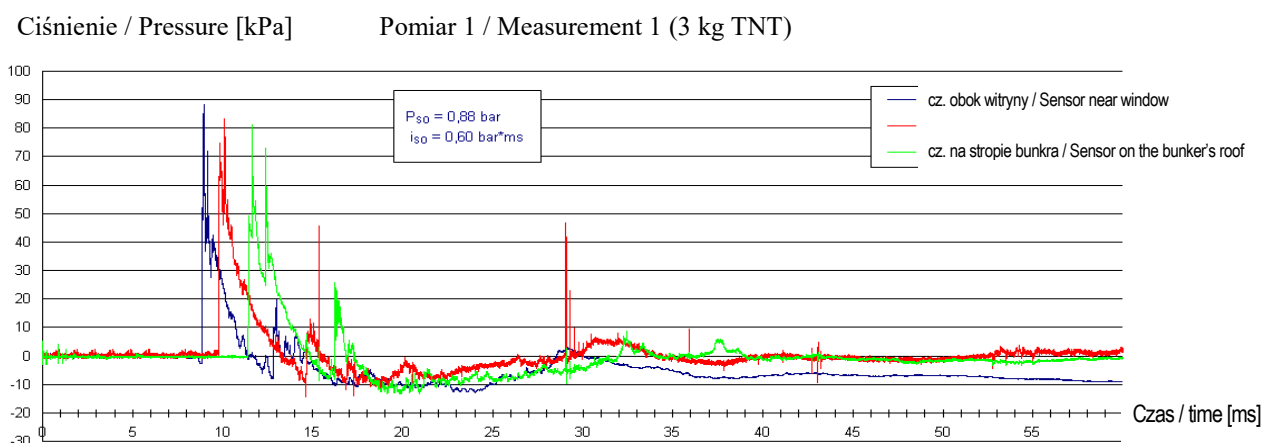
Photo 2. View of the facade with indicated sensors and markers



- Ł - Ładunek / Charge
- c1 - Czujnik obok witryny / Sensor near the window
- c2 - Czujnik w witrynie / Sensor on the window
- c3 - Czujnik – 5 m / Sensor – 5m
- c4 - Czujnik na stropie bunkra / Sensor on the bunker's roof
- k - Kamera / Camera
- b - Bunkier / Bunker
- w - Witryna / Window

Rys. 4. Schemat stanowiska

Fig. 4. View of the setup



Rys. 5. Wyniki pomiarów ciśnienia dla poszczególnych czujników

Fig. 5. Results of pressure measurements by particular sensors

W wyniku detonacji materiału wybuchowego powstała powietrzna fala nadciśnienia, której przebieg mierzony przez

In effect of explosive material detonation the air overpressure wave was created and its change was measured by

czujniki pokazano na powyższym rysunku. Największe nadciśnienie odnotowano na czujniku C1 znajdującym się obok witryny. Wartość nadciśnienia wyniosła $P_{so} = 0,88$ bara czyli więcej od wymagań normy. Natomiast impuls nadciśnienia wyniósł $i_{so} = 0,60$ bar/ms, jest to wartość mniejsza niż wymagana wg normy, ale jest ona wielkością wyliczaną i stąd może wynikać ta różnica. Pojedyncze wahania w dalszej fazie rozchodzenia się fali, dotyczy to szczególnie czujnika C4 umieszczonego na stropie bunkra, mogą wynikać z przenoszenia drgań przez bunkier.

sensors and is shown in the above figure. The highest overpressure was noted by the sensor C1. The value of the overpressure was $P_{so} = 0.88$ bar what is more than the standard requirements. The pulse of the overpressure was $i_{so} = 0.60$ bar/ms and even if this value is smaller than the standard requirements it is anyway a calculated value and this fact may be a reason for such difference. Some changes in the next phase of wave propagation especially concerning sensor 4 placed on the bunker's roof may be caused by transmission of vibrations by the bunker.



Fot. 3. Widok elewacji w trakcie wybuchu

Photo 3. The view of elevation during the blast

Wykorzystując znaczniki umieszczone na elementach witryny określono drgania jej poszczególnych elementów, odczytując je z pojedynczych klatek filmu wykonanego szybką kamerą. Największe przemieszczenia wykazał znacznik nr 6 umieszczony na środkowej, największej szybie. Jest to zrozumiałe, gdyż miała ona największą powierzchnię nacisku, a jednocześnie najmniejsze oparcie w konstrukcji elewacji.

6. Test fasady

Konstrukcję żelbetowego bunkra na poligonie wykorzystano również do przeprowadzenia testów antywybuchowych fasady wykonanej z kompozytów,

The markers fixed into the parts of the window were used to evaluate the vibrations of particular parts by reading their position from individual frames of the high speed camera film. The largest displacement was noted for marker No 6 fixed to the central and biggest glass panel. It is clear as it represents the greatest surface for action of the pressure and the lowest support in the elevation structure.

6. Testing the Facade

The structure of reinforced concrete bunker on the range was also used to perform anti-blasting tests of a facade made from composites under the SAFETY

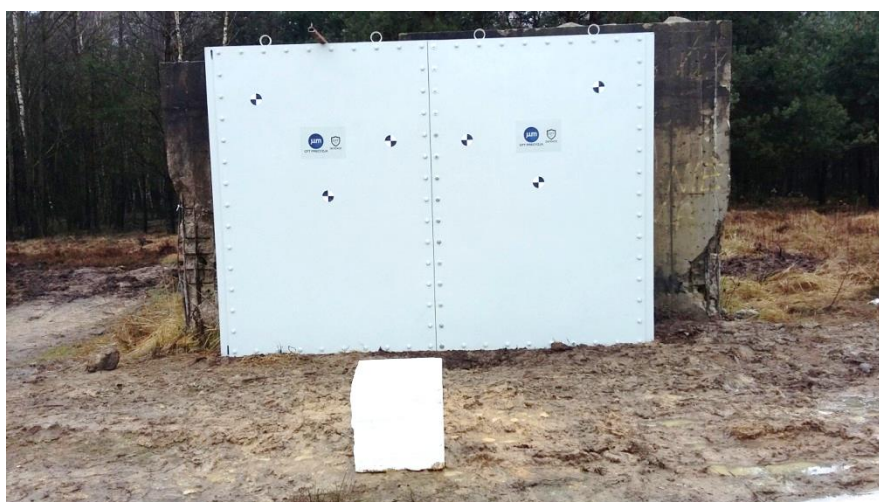
realizowanej w ramach projektu SAFETY ROOM project.
ROOM.



Fot. 4 i 5. Zamocowanie fasady na bunkrze
Photo 4 and 5. Fixing the facade to the bunker

Fasada zbudowana była z dwóch paneli kompozytu o nazwie COMFITECH R3 (NIJ3) o wymiarach 2,0 m x 2,9 m i grubości 16 mm. Panele zamontowane były na konstrukcji stalowej wykonanej z dwuteowników HEAA160 oraz kątowników 160 x 160 mm. Zgodnie z informacjami podanymi przez zleceniodawcę, tego typu fasada ma stanowić wypełnienie żelbetowej konstrukcji szkieletowej.

The facade was built from two panels made from the composite COMFITECH R3 (NIJ3) with dimensions 2.0 m x 2.9 m and thickness 16 mm. The panels were fastened to the steel structure made from twin T-bars HEAA160 and the angles 160 x 160 mm. According to information provided by the customer the facade has to be a part of reinforced concrete framework structure.



Fot. 6. Przygotowanie stanowiska do I etapu
Photo 6. Preparation of the setup for the I stage

Test antywybuchowy fasady przeprowadzono w dwóch etapach. W pierwszej części przeprowadzono test zgodnie z normą PN-EN 13541, przy wybuchu kuli TNT o masie 3,0 kg, ustawionej na postumencie ze styropianu o wymiarach 0,5x0,5x0,5 m w odległości 3 m.

Anti-blast test of the facade was carried out in two stages. In the first part the test was performed according with the standard PN-EN 13541 at the explosion of spherical TNT with the mass of 3.0 kg placed in the distance of 3 m on the Styrofoam box with dimensions of 0.5x0.5x0.5 m.



Fot. 7. Kula TNT 3 kg

Photo 7. Spherical charge of 3 kg TNT

W wyniku wybuchu nie zaobserwowano na testowanej elewacji żadnych widocznych uszkodzeń oprócz zabrudzenia ziemią.

The explosion has not caused any visible damages beside some spots of soil dirt.

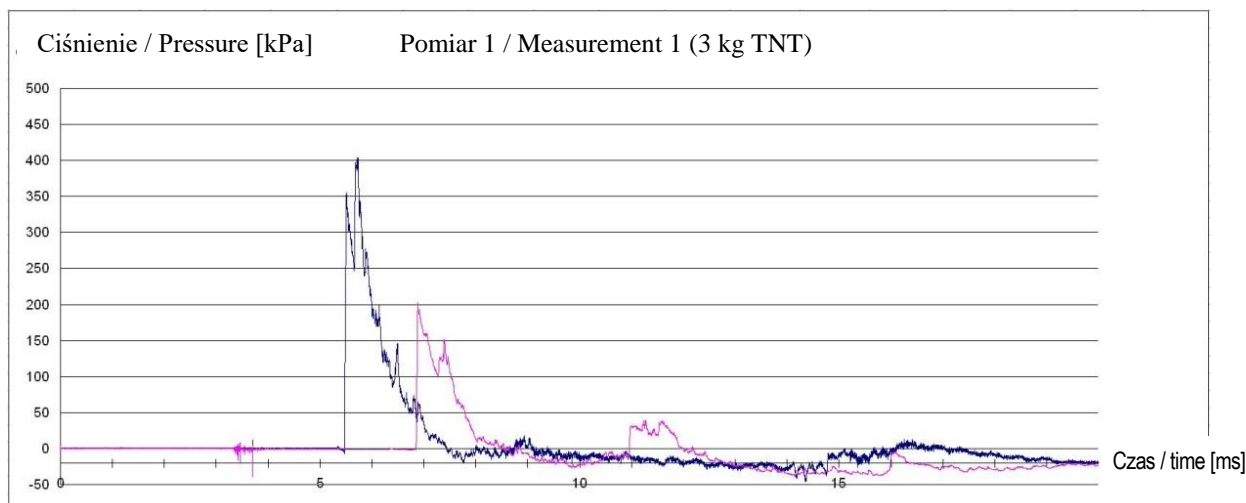


Fot. 8. Fasada po próbie - I etap

Photo 8. Facade after the trial of the I stage

Pomiar nadciśnienia fali uderzeniowej przeprowadzono tylko dwoma czujnikami. Wyniki pomiarów przedstawiono na wykresie.

Blasting wave overpressure was measured by only two sensors. The results of measurements are presented in the chart.



Rys. 6. Zmierzona wartość ciśnień - I etap
Fig. 6 Measured value of pressure in the I stage

Ze względu na sztywną konstrukcję fasady nie zaobserwowano na zdjęciach z szybkiej kamery jej ugięcia.

Zleceniodawca życzył sobie dodatkowo przeprowadzenie testu zgodnie wymogami normy US GSA – TS01 – 2003 dla ładunku 150 kg MW odpalanego w odległości 25 m od fasady, przy nadciśnieniu powietrznej fali uderzeniowej 4 psi (28 kPa, tj. 0,28 bara) i impulsie 28 psi/ms (193 Pa/ms, tj. 1,93 bara/ms). Wymagania normy zostały przeliczone i dostosowane do możliwości poligonu WITU.

W drugim badaniu odpalono ładunek 12 kg z odległości 5,5 m, zamieszczony na postumencie ze styropianu o wymiarach 0,5x0,5x0,8 m.

The pictures taken by a high speed camera have not indicated any bending of the facade rigid structure.

The customer demanded additionally to make a test according with the requirements of standard US GSA – TS01 – 2003 for the EM charge of 150 kg detonated in distance of 25 m from the facade for the air blasting wave overpressure of 4 psi (28 kPa, i.e. 0.28 bar) and at the pulse of 28 psi/ms (193 Pa/ms, i.e. 1.93 bar/ms). The requirements of the standard were recalculated and adapted to capacities of Military Institute of Armament Technology testing range.

In the second test the charge of 12 kg was put on Styrofoam box with size 0.5x0.5x0.8 m at the distance of 5.5 m and blasted.



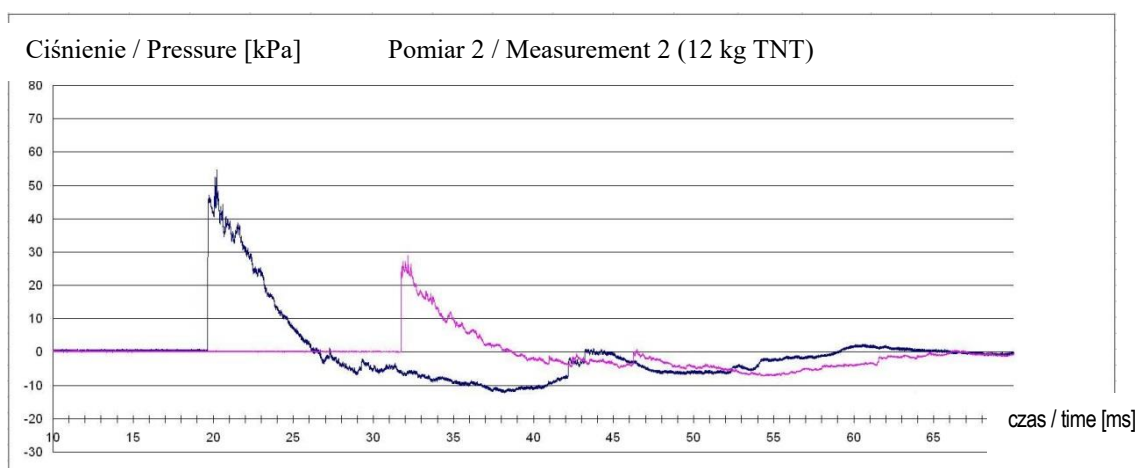
Fot. 9. Przygotowanie stanowiska do II etapu
Photo 9. Preparation of the setup for the II stage



Fot. 10. Kula TNT 12 kg
Photo 10. Spherical charge of 12 kg TNT



Fot.11. Fasada po próbie - II etap
Photo 11. Facade after the trial of the II stage



Rys. 7. Zmierzona wielkość ciśnień - II etap
Rys.7. Measured values of pressures for the II stage

Podobnie jak we wcześniejszym badaniu na testowanej fasadzie nie zaobserwowano żadnych uszkodzeń.

W obu etapach badań zarówno zmierzone

Similarly as in the first trial there was no damage noticed on the tested facade.

In the two stages both the measured values of pressures and calculated pulses of

wartości ciśnień, jak i wyliczone impulsy ciśnienia były zgodne z wymaganiami norm.

7. Podsumowanie i wnioski

Ocena wpływu eksplozji na rzeczywiste okna i fasady jest często bardzo trudna, gdyż do badania stosuje się szyby sztywno zamocowane, a elewacje o mniejszych rozmiarach niż rzeczywiste.

W celu zminimalizowania długotrwałych i kosztownych badań eksperymentalnych, odnoszących się do projektowanego budynku, prawdopodobnie znajdą zastosowanie symulacje komputerowe do przewidywania zachowań struktury fasady czy budynku.

Wojskowy Instytut Techniczny Uzbrojenia ma możliwości techniczne i poligonowe do wykonywania, w celach badawczych i usługowych, testów odporności na wybuch okien, drzwi, elewacji okiennych, fasad zgodnie z wymaganiami norm europejskich. Wymaga to jednak ujednoczenia aparatury (czujniki do pomiaru ciśnienia, szybkie kamery z odpowiednimi teleobiektywami, oprogramowanie), aby wszystkie badania prowadzone były w sposób jednolity.

pressure were in line with the requirements of the standards.

7. Summary and Conclusions

The evaluation of blast impact on real windows and facades is often difficult as during the tests the glass panels are rigidly fixed and the elevations are smaller than in reality.

In order to minimise the time and cost of the experiments concerning a building that is designed it seems possible that computer simulations may be used to foresee the reactions of building or facade structures.

The Military Institute of Armament Technology has technical and testing range capacities for carrying out investigations or providing services on resistance tests for windows, doors, window elevations and facades according with the requirements of European standards. Anyway it requires the unification of instruments (pressure sensors, high speed cameras with narrow field of view optics, software) to provide the same conditions for all tests.

Literatura / Literature

- [1] US GSA–TS01–2003 „Standardowa metoda badań dla przeszkleń i systemów okiennych podlegających dynamicznym obciążeniom nadciśnienia”,
- [2] PN–EN 13541:3012 „Szkło w budownictwie – Bezpieczne oszklenia – Badania i klasyfikacja odporności na siłę eksplozji”,
- [3] PN–EN 13123-2:2004 „Okna, drzwi i żaluzje – Odporność na wybuch – Wymagania i klasyfikacja – Część 2: Próba Poligonowa”
- [4] PN–EN 13124-2:2004 „Okna, drzwi i żaluzje – Odporność na wybuch – Metoda badania – Część 2: Próba Poligonowa” wraz z aneksem A i B,
- [5] 3M Company Test Report: 2003 r.

