



BADANIA ZDOLNOŚCI ZAPŁONU GAZU Z BUTLI PROPAN-BUTAN PO JEJ PRZESTRZELENIU

TESTS ON IGNITION CAPABILITY OF GAS FROM A PROPANE-BUTANE CYLINDER AFTER SHOOTING IT THROUGH

Przemysław BADUROWICZ, *badurowiczp@witu.mil.pl*, ORCID: 0000-0002-6110-0035

Adam WIŚNIEWSKI, *wisniewskia@witu.mil.pl*, ORCID: 0000-0003-1795-2422

Dawid PACEK, *pacekd@witu.mil.pl*, ORCID: 0000-0001-7896-545X

Wojskowy Instytut Techniczny Uzbrojenia, ul. Pr. St. Wyszyńskiego 7, 05-220 Zielonka
Military Institute of Armament Technology, 7 Wyszyńskiego St., 05-220 Zielonka, Poland

Marcin JASIŃSKI, *marcin.jasinski@pw.edu.pl*, ORCID: 0000-0002-4434-8856

Krzysztof SZCZUROWSKI, *krzysztof.szczurowski@pw.edu.pl*, ORCID: 0000-0002-2187-5776
Politechnika Warszawska / The Warsaw's University of Technology

DOI 10.5604/01.3001.0053.5916

Streszczenie: W artykule przedstawiono metodykę i wyniki badań strzelania używając różnych pocisków z broni strzeleckiej do butli z gazem propan-butan (P-B) pod kątem podatności na zapalenie (zdolności do inicjacji pożaru) w czasie ostrzału. Butle były ustawione w dwóch konfiguracjach: sama butla lub butla, za którą znajdowała się płyta pancerna. Podczas badań obserwowano lot pocisku, zachowanie się butli i temperaturę wydzielaną w czasie uderzenia pocisku w butlę z gazem P-B za pomocą kamery szybkiej (FASTCAM SA-Z 2100K 50 400 fps) i kamer termalnych (FLIR X6580sc, FLIR X6901scSLS). Użyta w badaniach masa skroplonego gazu P-B w butli była $0,5 \div 11$ kg.

Słowa kluczowe: mechanika, butla gazowa, zapłon gazu pociskiem, kamera termalna

1. Wstęp

Wiedza o zachowaniu się butli, zbiorników ciśnieniowych lub rurociągów z gazem palnym pod ostrzałem z broni strzeleckiej jest przydatna dla wojska, agencji ochrony i innych służb

Abstract: The paper presents a methodology and research results over propane-butane (P-B) gas cylinders hit by various projectiles fired with a firearm for assessing the susceptibility on initiation a fire (ability to initiate the fire) at the shooting. Cylinders were arranged in two configurations: the cylinder alone, or the cylinder with an armour plate behind it. During the tests, the projectile flight, a gas cylinder behaviour and the temperature released during the projectile impact to the P-B gas cylinder were measured using a high-speed camera (FASTCAM SA-Z 2100K 50.400 fps) and thermal cameras (FLIR X6580sc, FLIR X6901scSLS). The mass of liquid P-B gas in a cylinder at the tests was between $0.5 \div 11.0$ kg.

Keywords: mechanics, gas cylinder, projectile gas ignition, thermal camera

1. Introduction

Knowledge on the behaviour of cylinders, pressure vessels or pipelines with flammable gas fired with small arms is useful for the military, security agencies and

mundurowych. Znajomość pocisków strzeleckich, bezpiecznych w użyciu w środowisku zagrożonym pożarem jest potrzebna do ochrony i akcji antyterrorystycznych, szczególnie w otoczeniu infrastruktury krytycznej zagrożonej pożarem, np. rafinerie, przepompownie gazu, magazyny z substancjami łatwopalnymi, itp.

Sprawdzono wiarygodność dostępnych źródeł dotyczących możliwości eksplozji butli z gazem (Strzelanie z karabinu snajperskiego, 2023). W zacytowanym filmie strzelec oddaje strzały do butli z propanem z wielkokalibrowego karabinu wyborowego BFG-50A z użyciem pocisków przeciwpancerno-zapalających .50 (12,7×99 mm). Przed strzałami strzelec zapala race i umieszcza je przy butlach. Po oddaniu strzału wydobywający się gaz z przestrelonych butli ulega zapaleniu. Nagranie to nie daje odpowiedzi, czy samo przestrelenie butli spowodowałoby zapłon. Najprawdopodobniej autorzy filmu mieli świadomość, że bez rac zapłon może nie nastąpić.

Sprawdzono również drugie źródło (Shooting a Large Propane Tank, 2023). Strzelec także przed oddaniem strzału umieszcza odpalone race przy butli z propanem. Strzela z karabinu Omen Watchman kalibru .300 Winchester Magnum (7,62×67 mm), nie podano jednak typu pocisku. Po strzale dochodzi do zapalenia gazu, jednak źródło to również nie odpowiada na pytanie, czy zapłon jest możliwy na skutek samego przestrelenia bez umieszczenia źródła ognia przy butli.

Wyżej wymienione dwa źródła nie są jednak opracowaniami naukowymi. Wiarygodne źródła o charakterze naukowym (Kukfisz i in., 2018; Woliński i in., 2017) dotyczą problematyki zagrożeń związanych z butlami zawierającymi gazy palne, ale nie dotyczą zagrożenia związanego z przestreleniem butli.

Kolejne opracowania (Półka i in., 2018; Ejsmont i in., 2017) dotyczą przestrelenia pociskami strzeleckimi butli z gazami łatwopalnymi znajdującymi się w warunkach pożaru.

other uniformed services. Information about small arms projectiles that are safe for use in a fire-threatened environment is needed for security and anti-terrorist operations, especially for critical infrastructure at risk of a fire, such as refineries, gas pumping stations, warehouses with flammable substances, etc.

The reliability of available sources regarding the possibility of gas cylinder explosions has been checked (Sniper Rifle Shooting, 2023). In the quoted video, a shooter fires shots at propane gas cylinders with a BFG-50A large-caliber sniper rifle using .50 (12.7×99 mm) anti-tank projectiles. Prior to the firing, the shooter ignites the races and places them next to the cylinders. After the shot is fired, the escaping gas from the shot cylinder is ignited. The footage does not provide any answer as to whether the shooting through the cylinders alone would cause ignition. Most likely, the authors of the video were aware that without flares, the ignition might not occur.

A second source was also checked (Shooting a Large Propane Tank, 2023). The shooter places fired flares next to the propane cylinder before firing. He fires a .300-caliber Winchester Magnum (7.62×67 mm) Omen Watchman rifle, but a kind of projectile is not stated. After the shot, the gas is ignited, but the source also does not answer the question whether ignition is possible as a result of the shot through alone, without placing a fire source next to the cylinder.

However, mentioned sources are not scientific studies. Credible sources of a scientific nature (Kukfisz et al., 2018; Wolinski et al., 2017) deal with the problems of hazards associated with cylinders containing flammable gases, but do not address the danger of cylinders being shot through.

Subsequent studies (Półka et al., 2018; Ejsmont et al., 2017) deal with the shooting

Przestrzelenie butli ma na celu uniknięcie jej wybuchu na skutek narastania ciśnienia wewnętrznego, co z kolei spowodowane jest wysoką temperaturą otoczenia. Mniejsze zagrożenie stanowi palący się gaz wydobywający się z przestrzelonej butli niż wybuch butli, który może nastąpić w przypadku ostrzału butli serią pocisków.

Poniżej przedstawiono badania, które mogą uzupełnić brak wiarygodnych opracowań dotyczących zagrożeń spowodowanych przestrzeleniem zbiorników z gazami palnymi, nieznajdującymi się w środowisku pożaru, z użyciem różnego rodzaju pocisków.

2. Metodyka badań

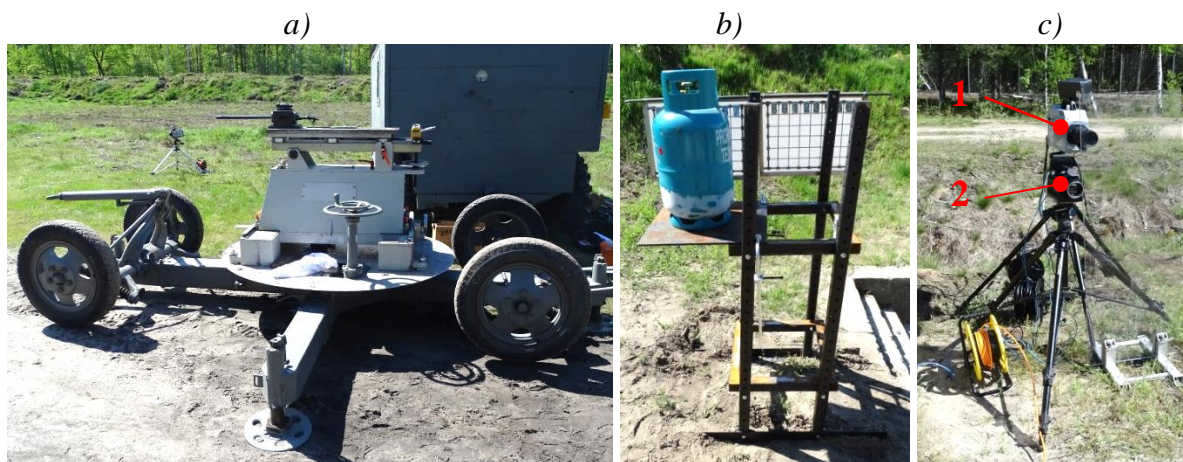
Badanie zdolności zapłonu gazu propan-butan (P-B) po przestrzeleniu butli przeprowadzono wykorzystując specjalnie przygotowane stanowisko badawcze (rys. 1, 2).

with firearm rounds through the flammable gas cylinders located in fire conditions. The purpose of shooting through the cylinder is to prevent it from exploding due to the build-up of internal pressure, which in turn is caused by the high ambient temperature. Less of a danger is posed by burning gas coming out of a shot-through cylinder than by a cylinder explosion, which can occur if the cylinder is shot with a series of projectiles.

The following is a study that can fill the lack of reliable studies on the hazards caused by shooting through tanks with flammable gases, not located in the fire environment, with various types of projectiles.

2. Test methodology

Testing the ignition capability of propane-butane (P-B) gas after firing a cylinder through was carried out using a specially prepared test stand (Figures 1, 2).



Rys. 1. Stanowisko badawcze do ostrzału butli z gazem propan-butan: a) statyw z lufą balistyczną; b) butla P-B na stojaku; c) kamera szybka (1) i termalna (2)

Fig. 1. Test stand for shooting propane-butane gas cylinders: a) mounting stand with ballistic barrel; b) P-B gas cylinder on the stand; c) high-speed (1) and thermal (2) camera

Stanowisko składa się ze statywu z lufą balistyczną (rys. 1a), butli umieszczonej na stojaku bez przymocowania (rys. 1b) oraz dwóch kamer do obserwacji zjawiska: szybkiej FASTCAM SA-Z 2100K i termalnej




The stand consists of a tripod with a ballistic barrel (Fig. 1a), a cylinder loosely placed on a stand (Fig. 1b) and two cameras for observation of the phenomenon: a high-speed FASTCAM SA-Z 2100K and a thermal FLIR

FLIR X6580sc, FLIR X6901scSLS lub FLIR A6753sc (rys. 1c). Prędkość rejestracji kamery szybkiej wynosiła 50400 fps (frames per second – liczba nagranych klatek na sekundę). Do badań użyto amunicji wyszczególnionej w tabeli 1.

X6580sc, FLIR X6901scSLS or FLIR A6753sc (Fig. 1c). The recording speed of the high-speed camera was 50.400 fps (frames per second - the number of recorded frames per second). The ammunition listed in Table 1 was used for the tests.

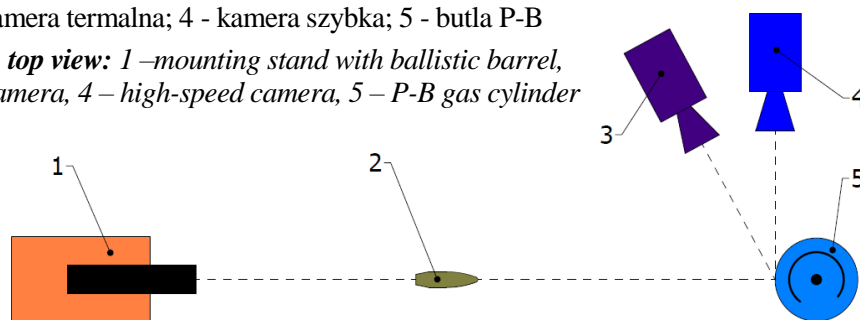
Tab. 1. Amunicja użyta do badań

Tab. 1. Ammunition used for the tests

Lp. No.	Amunicja <i>Ammunition</i>	Producent <i>Manufacturer</i>	Opis <i>Description</i>	Przekrój <i>Cross-section</i>	Masa m_p , g, <i>Mass</i>	Prędkość V_0 , m/s <i>Speed</i>	Energia E_0 , J <i>Energy</i>
1	7,62×54R B-32	Mesko	Pocisk przeciwpancerno-zapalający <i>Armour Piercing Incendiary (API)</i>		10,4	810	3412
2	7,62×54R ŁPS	Mesko	Pocisk pełnopłaszczowy <i>Full Metal Jacket (FMJ)</i>		9,6	827,5	3287
3	7,62×51T	Mesko	Pocisk smugowy <i>Tracer (T)</i>		9,1	825	3097

Rys. 2. Schemat stanowiska badawczego, widok z góry: 1 - statyw z lufą balistyczną; 2 - pocisk; 3 - kamera termalna; 4 - kamera szybka; 5 - butla P-B

Fig. 2. Scheme of the setup, top view: 1 – mounting stand with ballistic barrel, 2 – projectile, 3 – thermal camera, 4 – high-speed camera, 5 – P-B gas cylinder



Ostrzeliwano jedną lub kilka butli z gazem P-B bez podparcia lub z podparciem płytą pancerną Armox 500 o grubości 10 mm ustawioną prostopadłe lub pod kątem 45° za butlą względem kierunku strzelań. Do jednej butli z gazem P-B oddano po jednym strzale lub serię strzałów.

3. Wyniki badań

Badania prowadzone były w temperatu-

One or more P-B gas cylinders were fired without support or with support of 10 mm thick Armox 500 armour plate positioned behind the cylinder perpendicularly or at a 45° angle relative to the direction of firing. One shot or series of shots was fired at each P-B gas cylinder.

3. Experimental results

The tests were conducted at ambient temper-

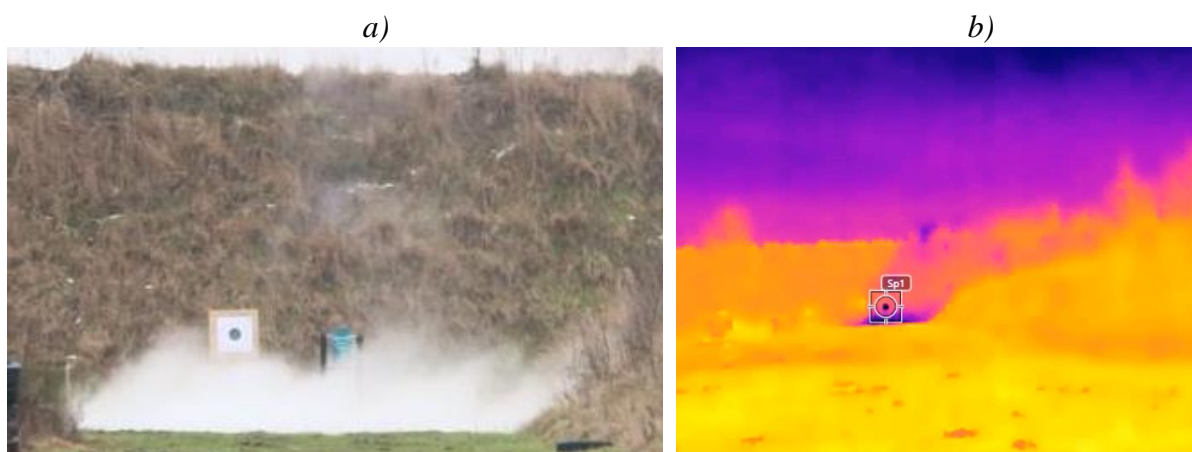
rze otoczenia (T_e) 3,5 °C, 11 °C i 22 °C. Do 6 butli oddano 12 strzałów w temperaturze otoczenia (T_e) 3,5 °C (tab. 2, rys. 3-5).

atures (T_e) 3.5 °C, 11.0 °C and 22 °C. Twelve shots were fired at 6 cylinders at ambient temperature (T_e) 3.5 °C (Table 2, Figures 3-5).

Tab. 2. Wyniki ostrzału butli propan-butan ($T_e=3,5$ °C)

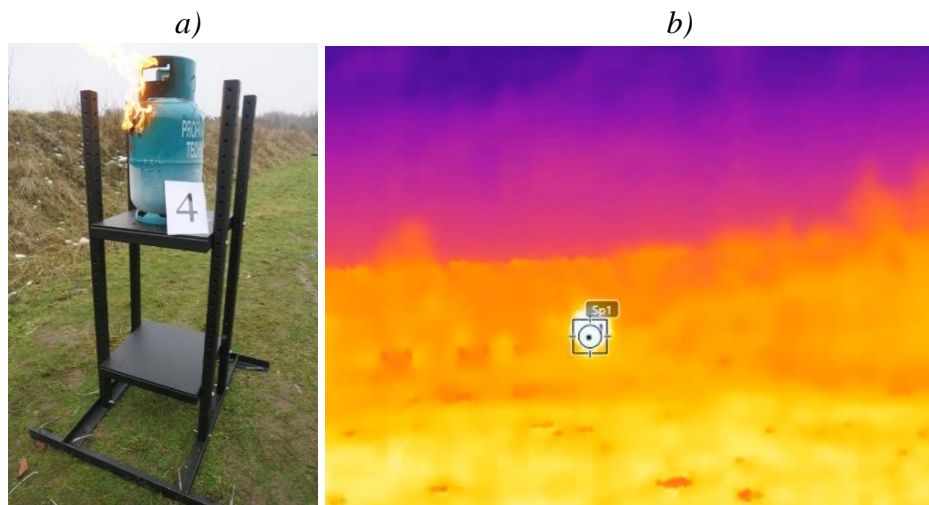
Tab. 2. Results of firing a propane-butane cylinder ($T_e=3,5$ °C)

Nr butli <i>Gas cylinder No.</i>	Nr strzału w serii <i>Shot No. in series</i>	Typ pocisku <i>Projectile type</i>	m_{fluid} - masa płynu przed strzałem 1, kg <i>m_{fluid} - fluid mass before 1st shot, kg</i>	F - zapłon, NF - brak zapłonu <i>F - Fire, NF - No Fire</i>	Uwagi <i>Comments</i>
1	1	7.62×54R B-32	11	NF	-
	2	7.62x54R ŁPS		F	-
2	1	7.62x54R ŁPS	3.7	NF	-
	2	7.62x54R ŁPS		F	-
3	1	7.62×54R B-32	3.7	F	-
4	1	7.62x54R ŁPS	3.7	NF	-
	2	7.62x54R ŁPS		NF	-
	3	7.62×54R B-32		F	-
6	1	7.62x51T	3.7	NF	Strzały co 3 s <i>Shots at every 3 s</i>
	2	7.62x51T		NF	
	3	7.62x51T		F i po chwili palenie się gazu ustało F and after a while the burning of the gas stopped	
	4	7.62x51T		F	



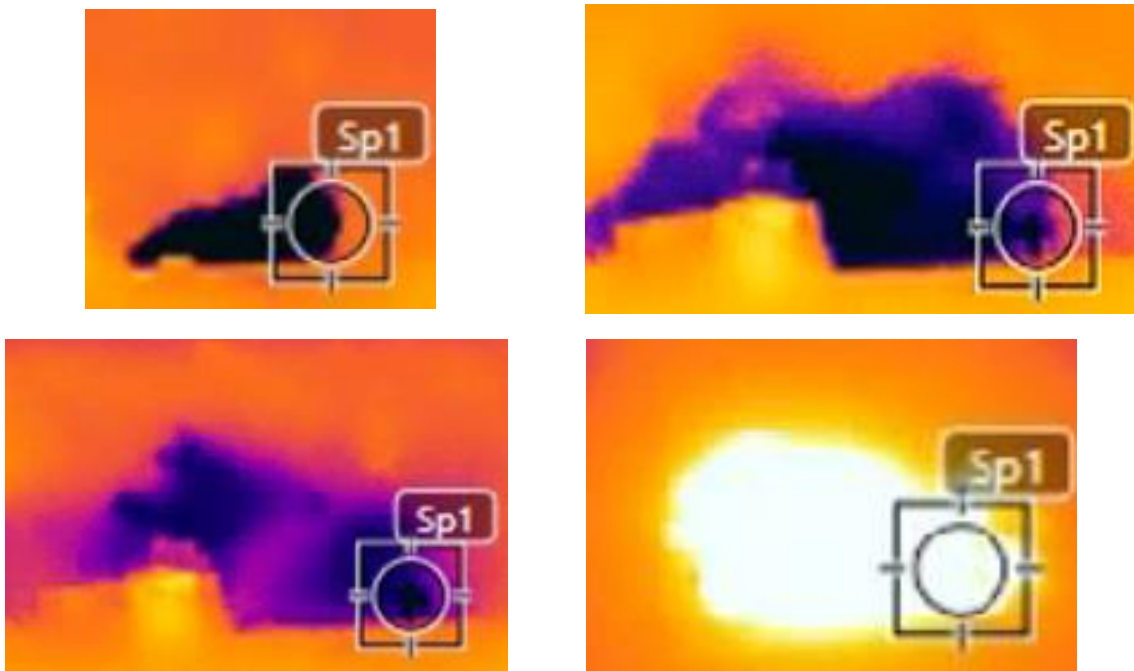
Rys. 3. Wydobywający się gaz P-B z butli nr 1 po strzale nr 1 pociskiem 7,62×54R B-32 ($T_e=3,5$ °C): a) fotografia; b) termogram z kamery termalnej FLIR T540

Fig. 3. P-B gas coming out of cylinder No. 1 after shot No. 1 with 7.62×54R B-32 projectile ($T_e=3.5$ °C): a) photo; b) thermal camera FLIR T540 thermogram



Rys. 4. Zapalenie gazu P-B z butli nr 4 po strzale nr 3 pociskiem 7,62×54R B-32 ($T_e=3,5\text{ }^\circ\text{C}$):
 a) fotografia palącego się gazu wydostającego się z butli; b) termogram z kamery termalnej FLIR T540

Fig. 4. Ignition of P-B gas from cylinder No. 4 after shot No. 3 with 7.62×54R B-32 projectile ($T_e=3.5^\circ\text{C}$):
 a) photo of burning gas escaping from the cylinder; b) thermal camera FLIR T540 thermogram



Rys. 5. Kolejne strzały (1, 2, 3 i 4 co 3 s) do butli nr 6 z gazem P-B pociskami 7,62×51T ($T_e=3,5\text{ }^\circ\text{C}$) - termogram z kamery termalnej FLIR T540

Fig. 5. Consecutive shots (1, 2, 3, and 4 at every 3 seconds) into cylinder No. 6 with P-B gas with 7.62×51T projectiles ($T_e=3.5^\circ\text{C}$) - thermal camera FLIR T540 thermogram

W kolejnych badaniach oddano 7 strzałów do 7 butli w temperaturze otoczenia (T_e) $22\text{ }^\circ\text{C}$ (tab. 3, rys. 6-7).

In subsequent tests, 7 shots were fired into 7 cylinders at ambient temperature (T_e) $22\text{ }^\circ\text{C}$ (Table 3, Figures 6-7).

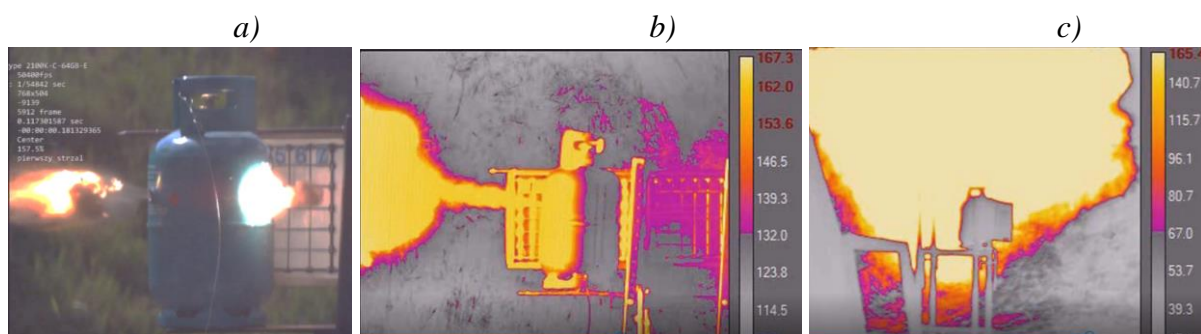
W ostatnich badaniach oddano 6 strzałów do 7 butli w temperaturze otoczenia (T_e) 11 °C (tab. 4, rys. 8-9). Aby wydłużyć czas oddziaływania odłamków z przebitej butli, pocisku i palącej się masy pirotechnicznej (dla pocisków API) na gaz P-B, za butlami ustawiono płytę pancerną Armox 500 o wymiarach 500×500×10 mm. Płyta pochylona była pod kątem 90° i 45° względem toru lotu pocisku w celu zwiększenia prawdopodobieństwa zapłonu gazu.

In the last tests, 6 shots were fired into 7 cylinders at ambient temperature (T_e) 11°C (Table 4, Fig. 8-9). To prolong the time of interaction of fragments from punctured cylinder, projectile and burning pyrotechnic mass (for API projectiles) with P-B gas, an Armox 500 armour plate of 500×500×10 mm was placed behind the cylinders. The plate was inclined at angle of 90° or 45° to the trajectory of the projectile in order to increase the probability of gas ignition.

Tab. 3. Wyniki ostrzału butli propan-butan ($T_e=22$ °C)

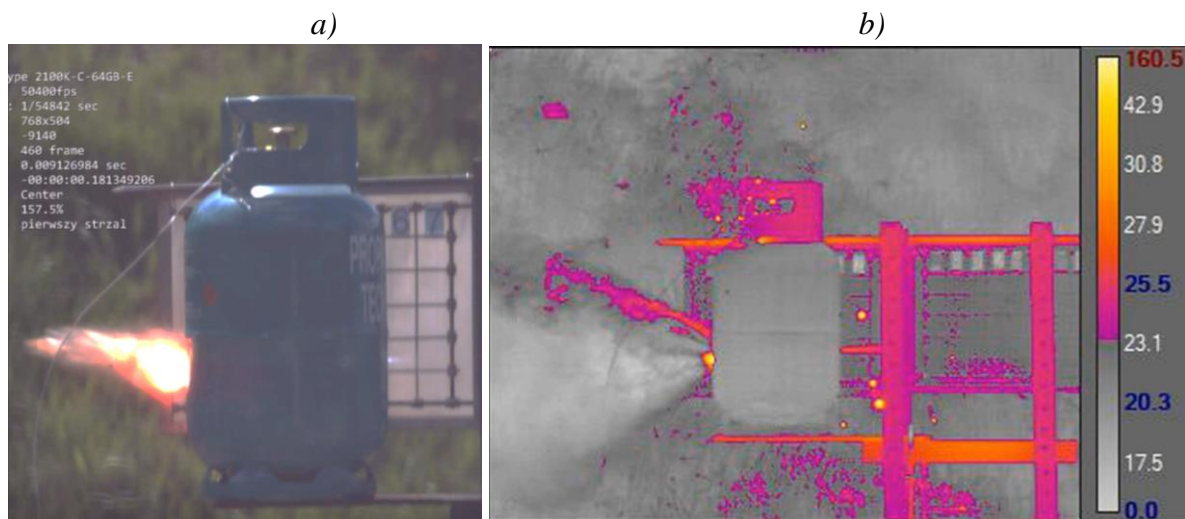
Tab. 3. Results of firing at propane-butane cylinder ($T_e=22$ °C)

Nr butli <i>Gas cylinder No.</i>	Nr strzału w serii <i>Shot No. in series</i>	Typ pocisku <i>Projectile type</i>	m_{fluid} - masa płynu przed strzałem 1, kg <i>m_{fluid} - fluid mass before 1st shot, kg</i>	F - zapłon, NF - brak zapłonu <i>F – Fire, NF – No Fire</i>	Uwagi <i>Com- ments</i>
1	1	7.62×54R B-32	3	F	-
2	1	7.62×54R B-32	1	F	-
3	1	7.62×54R B-32	0.5	NF	-
4	1	7.62×54R B-32	10.5	NF	-
5	1	7.62x54R ŁPS	1	NF	-
6	1	7.62×54R ŁPS	5	NF	-
7	1	7.62×51T	5	NF	-



Rys. 6. Zapalenie się gazu P-B z butli nr 2 po strzale pociskiem 7,62×54R B-32 ($T_e=22$ °C):
 a) klatka filmu z kamery szybkiej; b) termogram z kamery termalnej FLIR X6580sc;
 c) termogram z kamery termalnej FLIR X6901scSLS

Fig. 6. Ignition of P-B gas from cylinder No. 2 after firing with 7.62×54R B-32 projectile ($T_e=22$ °C):
 a) high-speed camera image; b) thermogram from thermal camera FLIR X6580sc;
 c) thermal camera FLIR X6901scSLS thermogram



Rys. 7. Wydobywający się gaz P-B z butli nr 7 po strzale nr 7 pociskiem 7,62×51T ($T_e=22\text{ °C}$):
 a) klatka filmu z kamery szybkiej, płomień spowodowany zainicjowaniem pirotechnicznej masy zapalającej pocisku; b) termogram z kamery termalnej FLIR X6580sc

Fig. 7. Releasing P-B gas from No.7 cylinder after firing No. 7 with 7.62×51T projectile ($T_e=22\text{ °C}$):
 a) frame of film from a high-speed camera, flame caused by initiation of incendiary pyrotechnic mass of the projectile; b) thermal camera FLIR X6580sc thermogram

Tab. 4. Wyniki ostrzału butli propan-butan opartej o płytę pancerną ($T=11\text{ °C}$)

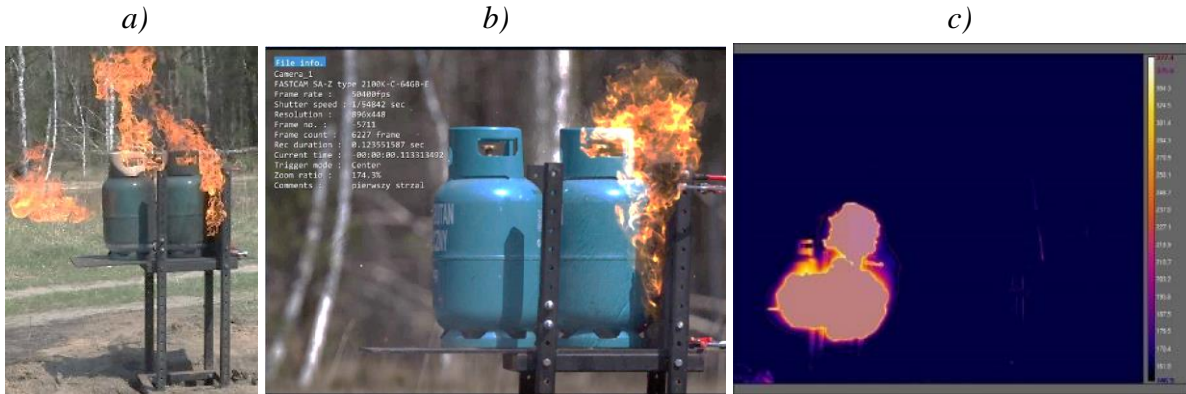
Tab. 4. Results of firing at propane-butane cylinder supported by armour plate ($T=11\text{ °C}$)

Nr butli <i>Gas cylinder No.</i>	Nr strzału w serii <i>Shot No. in a series</i>	Typ pocisku <i>Projectile type</i>	m_{fluid} - masa płynu przed strzałem 1, kg m_{fluid} - fluid mass before 1 st shot, kg	F - zapłon, NF - brak zapłonu <i>F - Fire, NF - No fire</i>	Kąt uderzenia pocisku w płytę <i>Projectile impact angle into plate</i>
1	1	7.62×54R B-32	3.5	F	90
2, 3	1	7.62×54R B-32	3.2	F	
4	1	7.62×54R ŁPS	3.2	NF	
5	1	7.62×51T	3.1	F	
6	1	7.62×54R B-32	3.2	F	45
7	1	7.62×51T	2.0	F	

Tab. 5. Prawdopodobieństwo zapłonu gazu P-B po przestrzeleniu butli poszczególnymi pociskami

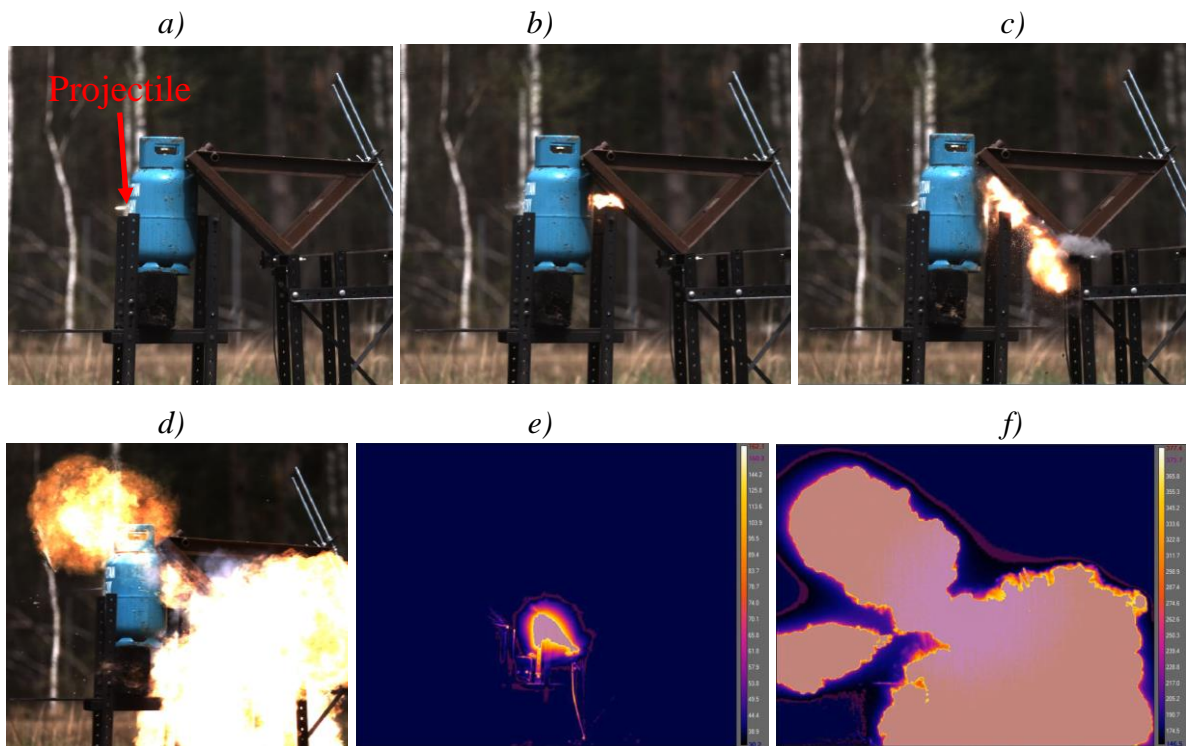
Tab. 5. Probability of ignition of P-B gas after piercing a gas cylinder with different projectiles

Lp. No.	Typ pocisku <i>Projectile type</i>	Płyta umieszczona za butlą <i>Plate behind the gas cylinder</i>	Prawdopodobieństwo zapłonu, % <i>Ignition probability, %</i>
1	7.62×54R B-32	Nie <i>No</i>	57.1
2	7.62×54R ŁPS		28.6
3	7.62×51T		40
4	7.62×54R B-32	Tak <i>Yes</i>	~100
5	7.62×54R ŁPS		0
6	7.62×51T		~100



Rys. 8. Zapalenie się gazu P-B z dwóch butli nr 2 i 3 po strzale pociskiem 7.62×54R B-32, płyta pancerna ustawiona za butlami pod kątem 90° względem toru lotu pocisku ($T_e=11\text{ }^\circ\text{C}$):
 a) fotografia palącego się gazu wydostającego się z butli; b) klatka filmu z kamery szybkiej;
 c) termogram z kamery termalnej FLIR X6580sc

Fig. 8. Ignition of P-B gas from two cylinders No. 2 and 3 shot with 7.62×54R B-32 projectile, armour plate set behind the cylinders at the angle of 90° against projectile flight path ($T_e=11\text{ }^\circ\text{C}$):
 a) photo of burning gas escaping from the cylinder; b) high-speed camera image;
 c) thermal camera FLIR X6580sc thermogram



Rys. 9. Zapalenie się gazu P-B z dwóch butli nr 2 i 3 po strzale pociskiem 7.62×54R B-32, płyta pancerna ustawiona za butlami pod kątem 45° względem toru lotu pocisku ($T_e=11\text{ }^\circ\text{C}$):
 a) 0,00 ms; b) 0,52 ms; c) 4,52 ms; d) 80,02 ms; e i f) termogram z kamery termalnej FLIR X6580sc

Fig. 9. Inflammation of P-B gas from two cylinders No. 2 and No. 3 shot with 7.62×54R B-32 projectile, armour plate set behind the cylinders at the angle of 45° against projectile flight path ($T_e=11\text{ }^\circ\text{C}$):
 a) 0.00 ms; b) 0.52 ms; c) 4.52 ms; d) 80.02 ms; e and f) thermal camera FLIR X6580sc thermograms

Tab. 6. Prawdopodobieństwo zapłonu gazu P-B po pierwszym strzale do butli

Tab. 6. Probability of ignition of P-B gas after the first shot at a gas cylinder

Lp. No.	Typ pocisku Projectile type	Płyta umieszczona za butlą Plate behind the gas cylinder	Prawdopodobieństwo zapłonu, % Ignition probability, %
1	7.62×54R B-32	Nie No	50
2	7.62×54R ŁPS		0
3	7.62×51T		0
4	7.62×54R B-32	Tak Yes	~100
5	7.62×54R ŁPS		0
6	7.62×51T		~100

Tab. 7. Prawdopodobieństwo zapłonu gazu P-B po drugim i kolejnym strzale do butli

Tab. 7. Probability of ignition of P-B gas after the second and subsequent shots at a gas cylinder

Lp. No.	Typ pocisku Projectile type	Płyta umieszczona za butlą Plate behind the gas cylinder	Prawdopodobieństwo zapłonu, % Ignition probability, %
1	7.62×54R B-32	Nie No	~100
2	7.62×54R ŁPS		66,7
3	7.62×51T		66,7
4	7.62×54R B-32	Tak Yes	-
5	7.62×54R ŁPS		-
6	7.62×51T		-

4. Wnioski

1. Prawdopodobieństwo zapalenia się gazu z butli P-B zależy od rodzaju pocisku, który przebija taką butlę:
 - największe - pocisk 7,62×54R B-32 zawiera zapalającą masę pirotechniczną,
 - mniejsze - pocisk 7,62×51T zawiera pirotechniczną masę smugową,
 - najmniejsze - pocisk 7,62×54R ŁPS bez masy pirotechnicznej.
2. Podparcie butli P-B płytą pancerną zwiększa prawdopodobieństwo zainicjowania palenia się gazu z tej butli do niemal 100% w przypadku przebijania jej pociskami 7,62×54R B-32 lub 7.62×51T. Zwiększenie tego prawdopodobieństwa jest skutkiem dłuższego oddziaływania

4. Conclusions

1. The probability of ignition of gas from a P-B cylinder depends on the type of projectile that pierces such a cylinder:
 - the highest - 7.62×54R B-32 projectile with incendiary pyrotechnic mass,
 - lower - 7.62×51T projectile with a streaking pyrotechnic mass,
 - the smallest - 7.62×54R LPS projectile without any pyrotechnic mass.
2. Supporting the P-B cylinder with an armour plate increases the probability of initiating the burning of gas from this cylinder to almost 100% when pierced by 7.62×54R B-32 or 7.62×51T projectiles. The increase of this probability is a result of a longer interaction of hot debris, pro-

- gorących odłamków powstałych z przebitą butli i palącej się masy pirotechnicznej poprzez znaczące wyhamowanie ich przez tę płytę.
3. Zapalenie się gazu po drugim i kolejnym strzale do tej samej butli jest bardziej prawdopodobne niż po pierwszym strzale. Podczas kolejnych strzałów w otoczeniu butli znajduje się więcej mieszanki propanu-butanu z tlenem znajdującym się w powietrzu.
 4. Zdjęcia z kamer termalnych pozwoliły na obserwację rozkładu temperatur podczas przestrzelenia butli. Temperatury maksymalne na tych zdjęciach najczęściej przekraczały ustawiony zakres temperatury kamery termalnej (dlatego nie zostały one podane w artykule), a najczęstszy odczyt to 165 °C.
 5. Bardzo mało prawdopodobne lub wręcz niemożliwe jest spowodowanie wybuchu butli P-B na skutek przestrzelenia jej pociskiem. Możliwe jest jedynie zainicjowanie palenia się gazu, który wypływa z butli. Spalanie się gazu w butli jest niemożliwe z powodu braku tlenu w jej wnętrzu.
- duced by the pierced cylinder and the burning pyrotechnic mass, which are significantly arrested by the plate.
3. Ignition of gas after the second and subsequent shots at the same cylinder is more likely than after the first shot. During subsequent shots, there is a greater presence of mixture of propane-butane and oxygen in the air around the cylinder.
 4. The thermal camera images allowed observation of temperature distribution when the cylinder is fired through. The maximum temperatures in these images most often exceeded the set temperature range of the thermal camera (which is why they are not given in the article), with the most common reading being 165 °C.
 5. It is very unlikely or even impossible to cause an explosion of a P-B cylinder by shooting it through with a projectile. It is only possible to initiate the burning of the gas flowing out from the cylinder. The burning of the gas in the cylinder is impossible due to the lack of oxygen inside it.

Literatura / Literature

- [1] Ejsmont, J., Świczko-Żurek, B., and Ronowski, G., Shooting Gas Cylinders to Prevent Their Explosion in Fire. *International Journal of Energy and Power Engineering*, Vol.11, No 12, 2017
- [2] Kukfisz, B., Ptak, Sz., Półka, M. i Woliński, M.. Fire and Explosion Hazard Caused by Oxygen Cylinders. *WIT Transactions on The Built Environment*, Vol. 174:141–151. 2018, DOI:10.2495/SAFE170131
- [3] Półka, M. i Kukfisz, B. Acetylene cylinders and bundles under fire conditions. *Scientific Review – Engineering and Environmental Sciences*, 27 (4): 516–523, 2018. DOI: 10.22630/PNIKS.2018.27.4.48
- [4] Shooting a Large Propane Tank in SLOW MOTION. Pobrane 3 lutego 2023 z https://www.youtube.com/watch?v=ptend5StNB8&ab_channel=GY6vids
- [5] Strzelanie z karabinu snajperskiego do butli z gazem. Test. Film. Pobrane 11 stycznia 2023 z <https://www.wykop.pl/link/3953019/strzelanie-z-karabinu-snajperskiego-do-butli-z-gazem-test/>
- [6] Woliński, M., Półka, M. i Kukfisz, B. The Explosion of Tanks Containing Compressed Flammable Gas as a Risk for Firefighters at Work. *Safety & Fire Technique*, Vol. 48, Issue 4: 70-78, 2017, DOI: 10.12845/bitp.48.4.2017.4

Badania zostały sfinansowane przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju na rzecz obronności i bezpieczeństwa państwa (numer umowy o dofinansowanie: DOB-BIO10/11/02/2019), tytuł projektu: „Stanowisko do identyfikacji zagrożeń pożarowych powstających wskutek użycia strzeleckiej broni palnej” (Podpalacze).

This research was funded by The Polish National Centre for Research and Development, for the benefit of state defence and security (financing agreement number: DOB-BIO10/11/02/2019), a title of the project: “Stand for the identification of fire hazards arising from the use of firearms” (Podpalacze).

