



NIEKTÓRE WYNIKI WSTĘPNYCH BADAŃ ERGONOMICZNYCH I NIEZAWODNOŚCIOWYCH KARABINKÓW-GRANATNIKÓW PROJEKTU RAWAT

ERGONOMIC AND RELIABILITY TEST RESULTS OF RAWAT PROJECT ASSAULT RIFLE-GRENADE LAUNCHERS

Przemysław KUPIDURA, Adam GAWRON
Wojskowa Akademia Techniczna
Military University of Technology

Streszczenie: Jednym z nowych elementów Modułowego Systemu Broni Strzeleckiej kalibru 5,56 mm (MSBS-5,56) jest granatnik modułowy (podwieszany) przystosowany do amunicji 40 x 46 mm. Jego ogólny układ jak i rozwiązania konstrukcyjne zostały dobrane tak, aby zapewnić jak najlepsze właściwości użytkowe karabinka-granatnika. Przedstawiono niektóre wyniki badań użytkowych karabinków-granatników systemu MSBS-5,56 skonfigurowanych na bazie karabinków zarówno w klasycznym jak i bezkolbowym układzie konstrukcyjnym. W badaniach odzwierciedlono podstawowe sytuacje eksploatacyjne broni występujące w warunkach taktycznych. W części badań wykorzystano, w celach porównawczych, najnowocześniejszą broń tej klasy, użytą obecnie przez Siły Zbrojne RP: 5,56 mm karabinek wz.96 „Beryl” z granatnikiem podwieszonym GPBO-40. Na uwagę zasługują znaczne dysproporcje otrzymanych wyników, na korzyść systemu MSBS.

Słowa kluczowe: broń strzelecka, badania użytkowe broni, modułowy system broni strzeleckiej

1. Wstęp

Celem badań była weryfikacja założeń konstrukcyjnych karabinków-granatników MSBS-5,56K (klasyczny) i MSBS-5,56B (bezkolbowy), dotyczących przede wszystkim właściwości użytkowych broni w realnych sytuacjach taktycznych. Jako jednostka referencyjna został użyty karabinek-granatnik wz.96 „Beryl” z granatnikiem podwieszonym GPBO-

Abstract: One of the newest members of 5.56 mm calibre Small Arms Modular System (SAMS-5.56) family is a modular grenade launcher (fixed under barrel) chambered with 40 x 46 mm grenade rounds. Its overall layout and design were chosen to provide the best functional features of assault rifle-grenade launcher. Some results of practical tests with SAMS-5.56 rifle-grenade launchers in both classical and bull-pup configurations of rifles are presented in this paper. The basic scenarios occurring in the weapon use at tactical conditions were reflected in tests. The most modern weapon of this class being now used by the Polish Armed Forces, 5.56 mm Mod.96 rifle “Beryl” with 40 mm GPBO-40 grenade launcher fixed under barrel, was also used in some tests for comparison reasons. It has to be noted that obtained results show significant advantages of SAMS system.

Keywords: small arms, firearm practical tests, small arms modular system

1. Introduction

The aim of the tests was to verify designing assumptions of SAMS-5.56K (conventional) and SAMS-5.56B (bull-pup) assault rifle-grenade launchers for using the weapons in real tactical conditions. The assault rifle-grenade launcher wz.96 „Beryl” with grenade launcher GPBO-40 attached under the barrel was used as a

40. Dla potrzeb niniejszych badań zostały wybrane najbardziej typowe sytuacje eksploatacyjne/taktyczne, możliwe do przetestowania na danym etapie rozwojowym karabinka MSBS-B. Karabinki w ukończeniu do badań pokazano na fot. 1.1.

reference weapon. The most typical usage/tactical situations, which were possible to be tested at the current stage of SAMS-B rifle development, were selected for testing. Photograph 1.1 shows the rifles in testing configurations.



Fot. 1.1. Karabinki-granatniki użyte do badań, od góry: MSBS-5,56K, MSBS-5,56B i wz. 96 „Beryl” z GPBO-40

Photograph 1.1. Rifle-grenade launchers used for tests, from the top: SAMS-5.56K, SAMS-5.56B and wz. 96 „Beryl“ with GPBO-40

2. Zakres badań

Podczas badań zostały odwzorowane wybrane sytuacje prowadzenia ognia z karabinka (strzelanie dynamiczne, prowadzenie ognia zza osłon, procedury usuwania zacięć) oraz granatnika (złożenia w różnych postawach, ładowanie broni, strzelanie na różnych dystansach).

2.1. Posługiwanie się karabinkiem granatnikiem

Ta część badań miała na celu przede wszystkim określenie wpływu granatnika

2. Scope of tests

Some scenarios of firing with the rifle (dynamic firing, firing from behind the screen, procedures of removing malfunctions) and with the grenade launcher (aiming at different positions, loading the gun, shooting at various ranges) were reconstructed during the tests.

2.1. Using the rifle-grenade launcher

This part of tests was aimed to check the impact of attached grenade launcher into

podwieszanego na posługiwanie się karabinkiem. Podczas strzelań dynamicznych określano głównie czas potrzebny do oddania celnego strzału w danej postawie i przy danym położeniu broni, zaś podczas realizacji procedur obsługowych - czas niezbędny na wykonanie czynności - do oddania kolejnego strzału.

2.1.1. Utrzymywanie broni na celu w postawie stojącej

Ćwiczenie to miało na celu weryfikację własności ergonomicznych karabinka – granatnika, a w szczególności weryfikację wpływu na strzelca masy broni, położenia środka ciężkości oraz umieszczenia chwytów. Badanie prowadzono w postawie stojącej wykorzystując wskaźnik laserowy. Strzelec miał za zadanie utrzymać punkt wskaźnika wewnątrz okręgu o średnicy 30 cm na dystansie 10 m, zachowując poprawną postawę strzelecką. Mierzony był czas utrzymania rozładowanej broni na celu - którego pomiar zatrzymywano, gdy punkt wskaźnika wykraczał poza obszar okręgu. Wyniki pomiarów zamieszczono w tab. 2.1.

the rifle functionality. During the dynamic shooting the time needed for delivering an accurate shot at a specific position of the shooter and the gun was mainly determined, whereas at performing the maintenance procedures the time of an action was measured before the next shot was fired.

2.1.1. Aiming with the gun at standing position

This test was aimed to verify the ergonomic features of the rifle-grenade launcher and especially the impact of the gun weight, positions of the mass centre and handgrips into the shooter. The test was carried out in the standing position by using a laser pointer. The task of the shooter was to keep the beam of the pointer inside diameter of 30 cm at the distance of 10 m and to maintain the proper shooting position. The time of aiming with the unloaded gun into the target was measured until the moment when the pointer left the circle area. The measurement results are presented in table 2.1.

Tab. 2.1. Czasy utrzymywania broni na celu [s]

Table. 2.1. Times of aiming with the gun into the target [s]

Broń/ <i>Gun</i>	Strzelec / <i>Shooter A</i> [min]	Strzelec / <i>Shooter B</i> [min]	Śr. / <i>Average</i> [min]
MSBS-K	3:34	2:24	2:59
MSBS-B	6:57	3:56	5:26
„Beryl”	2:38	1:22	2:00

Porównywanie własności broni wskazuje na przewagę karabinków MSBS nad karabinkiem Beryl, przy czym karabinek – granatnik w bezkolbowym układzie konstrukcyjnym cechują znacznie lepsze parametry ergonomiczne (co jest wynikiem położenia środka ciężkości).

2.1.2. Złożenie się do strzału z karabinka

Strzelec rozpoczął ćwiczenie w postawach kolejno: stojąc, kłęcząc, leżąc - z bronią z nabojem wprowadzonym do komory i zabezpieczoną, w położeniu swobodnym. Na sygnał timera składał się do strzału, odbezpie-

The comparison of weapon characteristics indicates that SAMS rifle is better than Beryl rifle and moreover the rifle-grenade launcher in the bull-pup design represents much better ergonomic properties (it is a result of mass centre position).

2.1.2. Shooter's position of firing with the rifle

A shooter has carried out the examination in standing, kneeling and lying down positions, keeping freely the gun that has a round into the chamber and was secured. The shooter took the firing position after receiving the

czał broń, wycelował i ściągał język spustowy. Następnie zabezpieczył broń, przeprowadził kontrolę wzrokową i opuszczał broń do położenia wyjściowego. Mierzonym parametrem był czas, jaki upłynął od sygnału do oddania strzału. Wyniki pomiarów zamieszczono w tab. 2.2.

signal from a timer and then released a safety catch, aimed and pushed the trigger. After that he engaged the safety catch, eyed the gun and put the gun into the initial position. The time period between the signal and the firing was measured. The measurement results are included in table 2.2.

Tab. 2.2. Czasy złożenia intuicyjnego do strzału [s]

Table. 2.2. Times of taking intuitive position for firing [s]

Postawa <i>Position</i>	Broń <i>Gun</i>	Strzelec/ <i>Shooter</i> A [s]				Strzelec/ <i>Shooter</i> B [s]				Śr. <i>Avr.</i>
		I	II	III	śr. <i>Avr.</i>	I	II	III	śr. <i>Avr.</i>	
Leżąc <i>Lying down</i>	MSBS-K*	1,46	1,10	1,35	1,30	0,86	0,89	0,84	0,86	1,08
	MSBS-B*	1,23	1,19	1,50	1,31	0,74	0,77	0,76	0,76	1,04
	„Beryl”	1,77	1,98	1,79	1,85	1,50	1,36	1,53	1,46	1,66
Kłęcząc <i>Kneeling down</i>	MSBS-K	1,69	1,65	1,36	1,57	1,13	1,16	1,04	1,11	1,34
	MSBS-B	1,63	1,46	1,93	1,65	1,62	1,21	0,95	1,22	1,44
	„Beryl”	2,15	2,03	2,85	2,34	1,64	1,45	2,41	1,83	2,09
Stojąc <i>Standing</i>	MSBS-K	1,86	1,65	1,49	1,67	1,14	1,13	1,18	1,15	1,41
	MSBS-B	1,62	1,73	1,63	1,66	1,23	1,23	1,19	1,22	1,44
	„Beryl”	2,17	2,18	2,26	2,20	2,06	1,35	1,80	1,74	1,97

* MSBS-K/ SAMS-K, MSBS-B/ SAMS-B

2.1.3. Zmiana „ręki strzelającej”

Zmiana „ręki strzelającej” jest wykorzystywana podczas prowadzenia ognia zza osłon. Strzelec rozpoczął ćwiczenie w postawie stojącej z bronią na celu, w złożeniu z prawego ramienia; na sygnał timera zabezpieczał broń i zmieniał chwyt obu dłoni na broni tak, aby złożyć się do strzału z lewego ramienia. Po odbezpieczeniu i oddaniu strzału wykonywał sekwencję odwrotną, zakończoną strzałem w złożeniu z prawego ramienia. Przestrzeleny powinny mieścić się w sylwetce popiersia ustawionej w odległości 20 m. Mierzonym parametrem jest czas przejścia „na słabą rękę” do oddania strzału oraz czas powrotu do postawy wyjściowej z oddaniem strzału. Ćwiczenia nie wykonywano na karabinku „Beryl” ze względu na brak możliwości obsługi bezpiecznika lewą

2.1.3. Changing the firing hand

The change of firing hand is used at shooting from behind a screen. Shooter started the trial in standing position with the gun aimed into a target from the right arm position and after receiving the timer signal he switched on the gun's safety catch and changed both hands on the gun grips in order to take a firing position from the left arm. After releasing the safety catch and delivering a shot he performed a reverse sequence terminated by firing from the right hand position. The hitting points have to be placed into the bust silhouette that was put at the distance of 20 m. The time of switching to fire “from the weaker arm” and returning to the starting position with delivering a shot is measured. The trial has not been performed with the „Beryl” rifle as the safety catch cannot be handled by the

dłonią. Przebieg ćwiczenia zobrazowano na fot. 2.1, natomiast wyniki ćwiczenia przedstawiono w tabeli 2.3.

Karabinki-granatniki zarówno w układzie klasycznym, jak i bezkolbowym umożliwiają sprawną i szybką zmianę „ręki strzelającej”. W przypadku strzelca A czas potrzebny do przejścia na lewe oraz na prawe ramię był zbliżony; strzelec B – o wyższym poziomie wyszkolenia strzeleckiego wykonywał przejście na prawe ramię w czasie o około 15% krótszym niż na lewe. Można zauważyć, że w przypadku broni bezkolbowej czynności są wykonywane o około 20% dłużej. Należy również zauważyć, iż w przypadku MSBS-B prowadzenie ognia ze „słabej ręki” nie nastręczało przewidywanych trudności, tj. m.in. związanych z zacinaniem się broni i dyskomfortem strzelca uderzanego wyrzucaną łuską.

left hand. The run of the trial is illustrated in photograph 2.1 and test results are presented in table 2.3.

Efficient and quick change between shooter's firing arm positions is possible for rifle-grenade launchers both in conventional and bull-pup arrangements. Time needed by shooter A for shifting to the left arm and to the right arm was similar whereas shooter B, with higher level of professional training in shooting, needed ca. 15% shorter time for changing into right arm position than into the left arm. It may be noted that for the bull-pup guns the functions are performed within ca. 20% longer time. Moreover in case of SAMS-B the firing from the weaker arm has not led to expected difficulties i.e. connected with the gun seizures or any discomfort of the shooter hit by an ejected case.

Tab. 2.3. Czasy zmiany „ręki strzelającej” [s]

Table. 2.3. Times for switching shooter's arm [s]

Strzelec/ Shooter A				Strzelec/ Shooter B			
MSBS-K/SAMS-K		MSBS-B/SAMS-B		MSBS-K/SAMS-K		MSBS-B/SAMS-B	
Czas przejścia na lewe ramię <i>Time for shifting on the left arm</i> [s]	Czas przejścia na prawe ramię <i>Time for shifting on the right arm</i> [s]	Czas przejścia na lewe ramię <i>Time for shifting on the left arm</i> [s]	Czas przejścia na prawe ramię <i>Time for shifting on the right arm</i> [s]	Czas przejścia na lewe ramię <i>Time for shifting on the left arm</i> [s]	Czas przejścia na prawe ramię <i>Time for shifting on the right arm</i> [s]	Czas przejścia na lewe ramię <i>Time for shifting on the left arm</i> [s]	Czas przejścia na prawe ramię <i>Time for shifting on the right arm</i> [s]
3,85	4,28	5,05	5,22	2,39	1,93	3,63	2,35
3,40	3,14	3,71	3,83	2,40	1,86	2,93	2,48
3,64	3,27	4,68	4,08	2,39	2,25	2,56	2,43
2,66	3,34	3,85	3,64	2,06	2,02	2,81	2,37
3,37	2,84	3,34	5,43	2,68	1,96	2,46	2,60
Średnia / Average							
3,38	3,37	4,13	4,44	2,38	2,00	2,88	2,45

2.1.4. Szybka wymiana magazynka w pozycji stojącej

Szybką wymianę magazynka wykonuje się po wyczerpaniu amunicji w magazynku przyłączonym do broni i wystrzeleniu naboju

2.1.4. Quick exchange of magazine in standing position

When the ammunition in the magazine attached to the gun is spent and the round is fired from the cartridge chamber, a quick ex-

z komory nabojojowej, w sytuacji wymagającej jak najszybszego kontynuowania prowadzenia ognia. Operacja ta składa się z następujących czynności: kontroli wizualnej broni, odłączenia magazynka (który wypada lub jest odrzucany), przyłączenia magazynka, zwolnienia zamka (lub przeładowania broni), ponownego złożenia się do strzału, ściągnięcia języka spustowego, zabezpieczenia broni.

change of magazine has to be performed if situation demands the firing to be continued immediately. This operation consist of following routines: visual check of the gun, disconnecting the magazine (that is dropped or is thrown away), attaching a magazine, releasing the bolt (or reloading the weapon), returning to the firing position, pulling the trigger and engaging the safety catch.



Fot. 2.1. Oddawanie strzału z lewego ramienia (fot. lewa) oraz prawego (fot. prawa)
Photograph 2.1. Firing from the left arm (left) and right arm (right)

Strzelec przyjmuje postawę stojącą z bronią niezaladowaną, z suwadłem w tylnym położeniu i podpiętym pustym magazynkiem. Oś lufy znajduje się na celu, broń jest odbezpieczona, strzelec trzyma palec na języku spustowym. Na sygnał timera ściąga język spustowy. Ponieważ strzał nie pada wykonuje wzrokową kontrolę broni; upewniwszy się, że suwadło znajduje się w tylnym skrajnym położeniu, wciska palcem wskazującym prawej dłoni zatrzask magazynka. Po wypadnięciu magazynka, sięga lewą ręką po nowy magazynek z ładownicy pierwszego kontaktu, przyłącza go do broni i naciska zatrzask zamka. Po ponownym złożeniu się do strzału, ściąga język spustowy.

Po oddaniu strzału zabezpiecza broń, wykonuje kontrolę wzrokową i opuszcza broń do położenia wyjściowego. Mierzonym i ocenianym parametrem jest czas, jaki upłynął od sygnału timera do oddania strzału.

Wyniki badania zamieszczono w tab. 2.4. Można zauważyć, że czas wykonania

The shooter takes the standing position with unloaded gun and the slide in the rear position and an empty magazine attached. The axis of the barrel aims to the target, the gun safety catch is released and the shooter has finger on the trigger. After receiving the signal from the timer he pulls the trigger. As any shot has not been delivered he performs the visual checking of the gun and after assuring himself that the slide is in the rear extreme position, pushes the latch of the magazine by the right hand pointing finger. When the magazine jumps out he reaches by the left hand a new magazine from the first contact magazine holder and after attaching it to the gun pushes the latch of the magazine. The shooter repeatedly takes the firing position and pulls the trigger.

After firing he engages the gun's safety catch and performs visual examination of the gun and puts it into the starting position. The time that expires between the signal of the timer and the shot is measured and evaluated.

Test results are presented in table 2.4. It

czynności dla obu wersji karabinka-granatnika MSBS jest zbliżony (o kilkanaście procent dłuższy dla układu bezkolbowego). Analogiczny czas dla karabinka-granatnika „Beryl”-GPBO jest znacznie dłuższy (w zależności od strzelca o 16÷68%).

may be noted that the time of these actions is similar (a dozen percent longer for the bullpup configuration) for both versions of SAMS rifle-grenade launcher. The same time for rifle-grenade launcher „Beryl”-GPBO is significantly longer (depending on shooter by 16÷68%).

Tab. 2.4. Czasy szybkiej wymiany magazynka [s]

Table 2.4. Magazine rapid replacement time [s]

Lp. No	Strzelec/ Shooter A			Strzelec/ Shooter B		
	MSBS-K SAMS-K	MSBS-B SAMS-B	Beryl	MSBS-K SAMS-K	MSBS-B SAMS-B	Beryl
1	4,46	5,12	8,87	3,03	3,48	4,46
2	4,06	4,41	6,46	2,95	3,51	3,99
3	4,40	3,94	6,61	2,68	3,16	4,03
4	4,79	4,09	7,55	2,47	4,19	4,20
5	3,66	4,31	6,41	3,91	2,82	4,30
Średnia Average	4,27	4,37	7,18	3,01	3,43	4,20

2.1.5. Taktyczna wymiana magazynka

Podczas taktycznej wymiany magazynka, oprócz czynności przewidzianych w procedurze szybkiej wymiany magazynka, wykonuje się odzysk pustego magazynka. Strzelec przyjmuje postawę klęcząc z bronią niezaladowaną, z suwadłem w tylnym położeniu. Podobnie, jak w przypadku szybkiej wymiany magazynka, oś lufy znajduje się na celu, broń jest odbezpieczona, strzelec trzyma palec na języku spustowym. Na sygnał timera ściąga język spustowy. Ponieważ strzał nie pada, wykonuje wzrokową kontrolę broni. Upewniwszy się, że suwadło znajduje się w tylnym skrajnym położeniu, przygotowuje lewą ręką torbę zrzutową (chyba, że torba, której używa nie wymaga tego ruchu), wciska palcem wskazującym prawej dłoni zatrzask magazynka, a lewą przechwytuje magazynek i wkłada go do kieszeni. Podczas ruchu powrotnego lewej dłoni, sięga po nowy magazynek z ładownicy pierwszego kontaktu, przyłącza go do broni i naciska do dołu zatrzask zamka. Po ponownym złożeniu się do strzału, ściąga ję-

2.1.5. Tactical replacing of magazine

During tactical replacement of the magazine additionally to actions of rapid magazine exchange the recovery of empty magazine is also made. Shooter takes the kneeling position with unloaded weapon and the slide in the rear position. Just like in case of rapid replacement of the magazine the barrel's bore is aimed to the target, the gun's safety catch is released and the shooter keeps the finger on trigger lever. The trigger is pulled after the timer signal. As there is no shot fired he performs the visual examination of the gun, prepares the supplying bag by using the left hand (if the used bag requires this move), pushes the magazine button by the right hand pointing finger and then catches the magazine by the left hand to put it into the pocket. During the returning move of the left hand he reaches a new magazine from the first contact magazine holder to put it into the gun and push the bolt latch down. The shooter once again takes a firing position and push-

zyk spustowy. Po oddaniu strzału strzelec zabezpiecza broń, wykonuje kontrolę wzrokową i opuszcza broń do położenia wyjściowego. Mierzonym i ocenianym parametrem jest czas, jaki upłynął od sygnału timera do oddania strzału. Wyniki zestawiono w tab. 2.5.

es the trigger. After firing he engages the gun's safety catch and visually examines the gun to lower it to initial position. The time passing between the timer's signal and firing the shot is measured and evaluated. The results are presented in table 2.5.

Tab. 2.5. Czasy taktycznej wymiany magazynka [s]

Table 2.5. Times for tactical magazine replacement [s]

Lp. No	Strzelec /Shooter A			Strzelec/ Shooter B		
	MSBS-K SAMS-K	MSBS-B SAMS-B	Beryl	MSBS-K SAMS-K	MSBS-B SAMS-B	Beryl
1	5,94	5,24	7,91	5,51	5,59	6,12
2	5,20	6,01	6,90	5,66	4,72	6,67
3	5,48	6,19	6,93	4,65	3,99	6,88
4	5,72	6,09	7,26	4,56	5,98	6,23
5	4,58	5,27	6,52	4,12	5,59	5,86
Średnia Average	5,38	5,76	7,10	4,90	5,17	6,35

Czasy uzyskane podczas testu wymiany magazynka z odzyskaniem magazynka są nieco dłuższe dla broni w układzie bezkolbowym niż broni w układzie klasycznym. Wykonanie tej samej czynności dla karabinka-granatnika „Beryl”-GPBO zajmuje znacznie więcej czasu (w zależności od strzelca o 12÷25%).

The times obtained at replacement of the magazine with its regaining are a bit longer for the gun with bull-pup configuration than for classical arrangement. The performance of the same action for the rifle-grenade launcher „Beryl”-GPBO takes much more time (depending on shooter by 12÷25%).

2.1.6. Szybka wymiana magazynka w postawie leżącej

Procedura szybkiej wymiany magazynka w postawie leżącej składa się z analogicznych czynności jak w postawie stojącej. Przebieg ćwiczenia dla karabinka MSBS był następujący. Strzelec przyjmował postawę leżącą z bronią niezaladowaną, z suwadłem w tylnym położeniu, z przyłączonym pustym magazynkiem. Oś lufy znajdowała się na celu, broń była odbezpieczona, strzelec trzymał palec spustowy na języku. Na sygnał timera ściągał język spustowy. Ponieważ strzał nie padł, wykonał wzrokową kontrolę broni. Upewniwszy się, że suwadło znajduje się w tylnym skrajnym położeniu, wcisnął palcem wskazującym prawej dłoni zatrzask magazynka, dokonując jednocześnie obrotu na prawy bok (op-

2.1.6. Rapid magazine replacement at lying down position

The procedure of rapid magazine exchange at lying down position consists of analogous actions as for the standing position. The trial was performed in the following way for SAMS rifle. The shooter took a lying down position with the unloaded gun and the slide in the rear position and with attached empty magazine. The barrel bore was directed towards the target, the gun has a safety catch released and the shooter kept the finger on trigger. He pulled the trigger upon the timer signal. As the shot was not fired he performed a visual examination of the gun. After assuring himself that the slide is in the rear extreme position he pushed the magazine button by the right hand pointing finger turning at the same time himself on the right side (op-

cjonalnie – przez lewe ramię na plecy). Po wyciągnięciu magazynka, sięgał lewą ręką po nowy magazynek z ładownicy pierwszego kontaktu, przyłączył go do broni i nacisnął do dołu zatrzask zamka. Po powrocie do postawy leżąc i ponownym złożeniu się do strzału, ściągał język spustowy. Po oddaniu strzału zabezpieczał broń, wykonał kontrolę wzrokową i opuszczał broń do położenia wyjściowego. Mierzonym i ocenianym parametrem był czas, jaki upłynął od sygnału timera do oddania strzału. Wyniki z badań zamieszczono w tabeli 2.6.

tionally – by the left arm on the back). After pulling the magazine off he reached by the left hand for a new magazine from the first contact magazine loader to put it into the gun and push down the latch of the bolt. After returning to the lying position and composing himself again to firing he pulled the trigger. After firing the shot he switched the safety catch on and performed the visual examination and lowered the gun to the initial position. The time that passed between the timer signal and the shot was measured and evaluated. The results of tests are included in table 2.6.

Tab. 2.6. Czasy wymiany magazynka w pozycji leżąc [s]

Table 2.6. Magazine exchange times in lying down position [s]

Lp. No	Strzelec/Shooter A			Strzelec/Shooter B		
	MSBS-K SAMS-K	MSBS-B SAMS-B	Beryl	MSBS-K SAMS-K	MSBS-B SAMS-B	Beryl
1	5,93	5,69	8,28	4,84	4,66	8,42
2	5,11	6,24	8,19	5,16	4,86	6,32
3	5,27	6,46	7,70	4,77	5,18	5,81
4	5,43	5,84	7,84	3,91	5,96	6,96
5	4,80	6,96	9,00	3,87	4,05	7,55
Średnia/ Average	5,31	6,24	8,20	4,51	4,94	7,01

Można zauważyć nieznaczne zwiększenie czasu wykonania ćwiczenia dla broni w bezkolbowym układzie konstrukcyjnym (8÷17%), natomiast każdorazowo czas wykonania czynności dla karabinka-granatnika „Beryl”-GPBO był znacznie dłuższy (o około 50%).

It may be noted that the time needed for tested sequence of actions is a bit bigger for the bull-pup design gun (8÷17%) whereas for the rifle grenade launcher „Beryl”-GPBO this time was significantly greater (ca. by 50%).

2.1.7. Usunięcie zacięcia I stopnia

Zacięcie I stopnia występuje, gdy strzał nie pada po ściągnięciu spustu a suwadło znajduje się w przednim skrajnym położeniu. Typową przyczyną zacięcia I stopnia jest niewypał (wada amunicji) lub np. niepoprawne przyłączenie magazynka do broni. W celu usunięcia zacięcia I stopnia należy „dobić” magazynek (jednocześnie jest to kontrola jego obecności) oraz przeładować broń. W przypadku karabinka MSBS przebieg ćwiczenia jest następujący: strzelec

2.1.7. Removal of the first level seizures

The first level seizure is defined as the lack of the shot after pulling the trigger and the slide staying in the front extreme position. Typical reason of the first level seizure is a dud (defective ammunition) or e.g. incorrect joining between the gun and magazine. In order to remove the first level seizure the magazine has to be “driven into” the gun (at the same time the checking of magazine presence is made) and reload the gun. In case of SAMS rifle the run of the tri-

przyjmuje postawę stojącą, z osią lufy skierowaną w cel, broń jest odbezpieczona, strzelec trzyma palec na języku spustowym. Broń nie jest nabita, z napiętym kurkiem i odbezpieczona, z podpiętym magazynkiem z amunicją oraz suwadłem w przednim położeniu. Na sygnał timera strzelec ściąga język spustowy. Ponieważ strzał nie pada, wykonuje wzrokową kontrolę broni. Upewniwszy się, że suwadło znajduje się w przednim skrajnym położeniu, dobija prawą dłoń magazynek, po czym przeładowuje broń. Po ponownym złożeniu się do strzału, ściąga język spustowy. Po oddaniu strzału zabezpiecza broń, wykonuje kontrolę wzrokową i opuszcza broń do położenia wyjściowego. Mierzonym i ocenianym parametrem jest czas, jaki upłynął od sygnału timera do oddania strzału.

Wyniki badania zestawiono w tab. 2.7. Odnotowano nieznacznie krótsze czasy trwania procedury dla karabinka MSBS-B niż MSBS-K. Wykonanie tej samej czynności dla karabinka-granatnika „Beryl”-GPBO zajmuje znacznie więcej czasu (w zależności od strzelca o 30÷40%).

al is following: the shooter takes the standing position with the barrel axis directed towards the target, the gun is engaged, the shooter has finger on the trigger. The gun is not charged, the cock is up and the gun's safety catch is released, the magazine with the ammunition is attached and the slide is in the frontal extreme position. The shooter pulls the trigger after the timer signal. As there is no shot he performs the visual check of the gun. After making sure that the slide is in the frontal extreme position he drives the magazine into the gun by the right hand and reloads the gun. He composes himself again into the firing position and pulls the trigger. After delivering a shot he secures the gun, makes the visual checking and lowers the gun into the initial position. The time passing between the timer's signal and the shot is measured and evaluated.

Test results are presented in table 2.7. Duration times of the procedure are a bit shorter for SAMS-B rifle than SAMS-K rifle. The same activities take much more time for rifle-grenade launcher „Beryl”-GPBO (depending on the shooter by 30÷40%).

Tab. 2.7. Czasy usunięcia zacięcia I stopnia [s]

Table 2.7. First level seizure removal times [s]

Lp. No	Strzelec/Shooter A			Strzelec/Shooter B		
	MSBS-K SAMS-K	MSBS-B SAMS-B	Beryl	MSBS-K SAMS-K	MSBS-B SAMS-B	Beryl
1	2,64	2,50	3,60	2,31	2,44	3,03
2	2,89	2,27	4,05	2,08	2,18	3,05
3	3,12	2,68	3,17	2,32	1,94	2,71
4	2,74	2,85	3,22	1,87	1,93	2,70
5	2,68	2,83	3,33	1,82	1,84	3,05
Średnia Average	2,81	2,63	3,47	2,08	2,07	2,91

2.1.8. Usunięcie zacięcia II stopnia

Zacięcie II stopnia występuje, gdy w komorze zamkowej pozostanie łuska lub nabój. Może być spowodowane niewyrzuceniem łuski po strzale lub przekoszeniem naboju pod-

2.1.8. Removal of second level seizures

Second level seizure happens when in the bolt chamber remains a case or a cartridge. It may happen if the case is not ejected after the shot or if the cartridge is

czas dosyłania. Zewnętrznym symptomem zacięcia II stopnia jest zatrzymanie się suwadła w pośrednim położeniu, przy czym różnica pomiędzy skrajnym położeniem (przednim lub tylnym) może być nieznaczna. W celu usunięcia zacięcia II stopnia należy odłączyć magazynek (dla ułatwienia tej czynności należy uprzednio przesunąć suwadło do tyłu i zatrzymać/przytrzymać).

W tym położeniu należy palcami lewej dłoni sprawdzić (oczyścić) wnętrze komory zamkowej, po czym dwu- trzykrotnie przesunąć suwadło w tylne położenie („przetarcie”). W następnej kolejności przyłącza się nowy magazynek i zwalnia suwadło (lub przeładowuje broń). Podczas ćwiczenia strzelec przyjmuje postawę stojącą z osią lufy na celu. Broń jest nie załadowana i odbezpieczona, z suwadłem w pośrednim położeniu (zablokowanym łuską), przyłączonym pustym magazynkiem. Strzelec trzyma palec na języku spustowym i na sygnał timera ściąga go. Ponieważ strzał nie pada, wykonuje wzrokową kontrolę broni. Przemieszcza suwadło w tylne położenie, podpierając przy tym do góry zatrząsk zamka. Po zatrzymaniu suwadła na zatrząsku wypina magazynek, wymuszając jego usunięcie lewą ręką. W celu oczyszczenia komory zamkowej wkłada palec lewej dłoni przez gniazdo magazynka i wykonuje nimi ruchy sprawdzające. Po sprawdzeniu wykonuje kilka przemieszczeń suwadła w całym zakresie jego ruchu, zatrzymując je w tylnym położeniu na zatrząsku. Następnie przyłącza nowy magazynek i zwalnia suwadło z zatrząsku. Po ponownym złożeniu się do strzału, ściąga język spustowy. Po oddaniu strzału zabezpiecza broń, wykonuje kontrolę wzrokową i opuszcza broń do położenia wyjściowego. Mierzonym i ocenianym parametrem jest czas, jaki upłynął od sygnału timera do oddania strzału. Wyniki badania przedstawiono w tab. 2.8. Przy tak złożonej procedurze można zaobserwować wyraźne „straty” czasowe (około 20%) obu strzelców podczas usunięcia zacięcia II stopnia w broni w układzie bull-pup. Średni czas wykonania ćwiczenia na karabinku-granatniku „Beryl”-GPBO zajmuje znacznie więcej czasu (o 57% w porównaniu z MSBS-K i 29% w porównaniu z MSBS-B).

tilted during the feeding. The external symptom of second level seizure is the arresting of the slide in an intermediate position and the difference between the external position (frontal or rear) may be insignificant.

In order to remove the second level seizure the magazine has to be disconnected (in order to do so first the slide has to be shifted backward and kept there by hand). In such arrangement the bolt chamber has to be fingered (cleaned) by the left hand and next the slide has to be moved two or three times into the rear position (“setting”). In the next step a new magazine is attached and the slide is released (or the gun is reloaded). At the trial the shooter takes standing position aiming the gun towards the target. The gun is not charged and with the safety catch released, and the slide in an intermediate position (blocked by the case), and with an empty magazine attached. The shooter keeps the finger on the trigger and pulls it after the timer’s signal. As no shot is fired, he performs the visual check of the gun. He shifts the slide into the rear position pushing up simultaneously the latch of the bolt. When the slide stops against the latch he disconnects the magazine forcing its removal by the left hand. In order to clean the bolt chamber he puts there the fingers of the left hand through the magazine loading recess and examines it. After examination he moves the slide between extreme positions a few times and stops it in the rear position on the latch. In the next step he attaches a new magazine and releases the slide from the latch. Then he composes himself again for firing and pulls the trigger. After firing a shot he secures the gun, makes the visual check and lowers the gun into an initial position. The time passing between timer’s signal and the shot is measured and evaluated. Test results are presented in table 2.8. As the procedure is relatively complicated then there are clearly visible the time “loses” (ca. 20%) for two shooters at removing second level seizures in the bull-pup configuration gun. The average time for making the test by using rifle-grenade launcher „Beryl”-GPBO is significantly greater (by 57% than for SAMS-K and by 29% than for SAMS-B).

W tab. 2.9 porównano otrzymane średnie wyniki z analogicznymi wynikami wcześniejszych badań dla karabinków bez granatników.

The average results obtained now are compared in table 2.9 with the analogous results of earlier tests, obtained for rifles without the grenade launchers.

Tab. 2.8. Czasy usunięcia zacięcia II stopnia [s]

Table 2.8. Times for second level seizure removal [s]

Lp. No	Strzelec/Shooter A			Strzelec/Shooter B		
	MSBS-K SAMS-K	MSBS-B SAMS-B	Beryl	MSBS-K SAMS-K	MSBS-B SAMS-B	Beryl
1	7,47	9,08	13,30	5,90	6,94	9,35
2	8,35	9,55	11,59	5,99	9,38	11,16
3	6,82	8,40	10,24	5,96	7,07	9,02
4	6,28	8,69	10,99	5,84	6,53	8,85
5	8,13	9,19	10,39	5,08	5,68	8,75
Średnio Average	7,41	8,98	11,30	5,75	7,12	9,43

Tab. 2.9. Porównanie czasów wykonywania czynności obsługowych dla karabinków i karabinków-granatników [s]

Table 2.9. Comparison of routine times for rifles and rifle-grenade launchers [s]

	MSBS-K SAMS-K	MSBS-K-G SAMS-K-G	Różnica Difference [%]	MSBS-B SAMS-B	MSBS-B-G SAMS-B-G	Różnica Difference [%]
Szybka wymiana magazynka/ Rapid magazine exchange	3,50	3,64	4	3,65	3,90	7
Taktyczna wymiana magazynka/ Tactical magazine exchange	4,49	5,14	14	4,85	5,47	13
Wymiana magazynka leżąc/ Magazine exchange in lying pos.	5,19	4,91	-5	4,83	5,59	16
Usunięcie zacięcia I st./ First level seizure rem.	2,30	2,44	6	2,70	2,35	-13
Usunięcie zacięcia II st. Second level seizure rem.	6,82	6,58	-3	8,43	8,05	4

Jak można było oczekiwać, zwiększenie masy broni spowodowane zamontowaniem granatnika podwieszanego (oraz niekorzystne przemieszczenie środka masy do przodu) spowodowało wydłużenie czasu trwania

As it could be expected the increasing of the gun mass, caused by the integration of an under barrel grenade launcher (and disadvantageous shifting of the mass centre forward), resulted in increasing times of

czynności obsługowych o kilka, kilkanaście procent. Nie są to jednak różnice znaczące, co oznacza, że żołnierz uzbrojony w karabinek granatnik systemu MSBS może realizować podstawowe zadania (prowadzenie ognia z karabinka) ze zbliżoną skutecznością, co pozostali strzelcy.

2.2. Strzelanie z granatnika

Ta część badań miała na celu określenie możliwości prowadzenia ognia z granatnika podwieszanego w różnych postawach strzeleckich, do celów rozmieszczonych na różnych odległościach.

1.2.1. Złożenie do celu w różnych postawach

Badanie miało na celu określenie czasu niezbędnego na złożenie się do strzału w różnych postawach oraz na załadowanie broni. Ćwiczenie rozpoczyna się od przyjęcia postawy strzeleckiej (odpowiednio: leżącej, klęczącej, stojącej), z bronią w położeniu swobodnym. Granatnik jest załadowany nabojem i zabezpieczony. Kolejne naboje są rozmieszczone w pasie-ładownicy. Na sygnał timera strzelec unosi broń, wcelowuje, odbezpiecza i oddaje strzał. Następnie zabezpiecza granatnik, otwiera lufę i usuwa łuskę, sięga lewą ręką po nowy nabój, wprowadza go do komory nabojowej i zamyka lufę. Po wycelowaniu i odbezpieczeniu granatnika oddaje strzał. Mierzonymi parametrami są: czas od sygnału do oddania pierwszego strzału (czas złożenia) oraz czas pomiędzy strzałami (załadowanie broni). Wyniki zamieszczono w tabeli 2.10. Pozwalają one określić szybkostrzelność praktyczną broni, wyrażoną liczbą strzałów oddanych w ciągu jednej minuty. Przy jednym naboju załadowanym i pozostałymi umieszczonymi w ładownicy, wynosi ona 7 strz./min w postawach leżącej i stojącej oraz 8 strz./min w postawie klęczącej.

2.2.2. Strzelanie z lewego ramienia

Sprawdzono też możliwość prowadzenia ognia z lewego ramienia karabinkiem-gra-

performed routines by a few- dozen percent. Anyway there are not any significant differences what means that the soldier armed with a SAMS system rifle-grenade may fulfil the general tasks (firing with the rifle) at similar level of efficiency as the other gunmen.

2.2. Firing with the grenade launcher

This part of testing was aimed to determine a possibility of firing with the grenade launcher attached under the barred at various shooting poses (positions) against the targets placed at different distances.

2.2.1. Composing against the target in various poses

The aim of the test was to measure the time needed for composing himself for firing at various poses and for loading the gun. The trial starts from taking a firing pose (respectively: lying down, kneeling and standing) with the gun in free position. The grenade launcher is charged by a cartridge and the safety catch is on. Other cartridges are placed in a belt-loader. On the timer's signal the shooter lifts the gun, aims it, releases the safety catch and fires the shot. Next he secures the grenade-launcher, opens the barrel and removes the case, reaches for a new cartridge by the left hand, puts it into the cartridge chamber and locks the barrel. After aiming and releasing the grenade-launcher safety catch he fires a shot. Following parameters are measured: time expiring from the signal to the first shot (the composition time) and the time between the shots (loading of the gun). The results are presented in table 2.10. They provide the determination of gun practical rate of fire expressed in the shots fired within one minute. When one cartridge is loaded and the remaining ones are in the loader, it equals to 7 shots/min for standing and lying poses, and 8 shots/min at kneeling pose.

1.2.2. Firing from the left arm

A possibility of firing from the left arm has been checked for the bull-pup rifle-grenade

natnikiem w układzie bezkolbowym.

Ćwiczenie miało przebieg analogiczny do powyższego z tą różnicą, że strzelec w momencie rozpoczęcia trzymał broń tak, aby złożyć się z lewego ramienia (lewa dłoń na chwycie karabinka, prawa dłoń na granatniku). Złożenie do strzału z lewego ramienia przedstawiono na fot. 2.2.

launcher. The trial was carried out in the same way as described above with the difference that the shooter in the starting moment held the weapon in suitable way for composing himself to shoot from the left arm (the left hand on the rifle grip and the right hand on the grenade-launcher). The composition for firing from the left arm is presented in photograph 2.2.

Tab. 2.10. Czasy złożenia do strzału z granatnika oraz załadowania broni i oddania drugiego strzału [s] (dla karabinka-granatnika MSBS-B)

Table 2.10. Times of composition to firing from the grenade-launcher and loading the gun and firing the second shot [s] (for rifle-grenade SAMS-B)

Postawa <i>Pose</i>	Numer strzału <i>Shot No</i>	Strzelec/ <i>Shooter A</i> [s]				Strzelec/ <i>Shooter B</i> [s]				Śr./avr. [s]
		I	II	III	śr./avr.	I	II	III	śr./avr.	
Leżąca <i>Lying</i>	1	1,14	3,64	2,84	2,87	1,56	1,47	2,39	1,81	2,34
	2	8,43	10,3	12,0	10,24	7,19	7,20	6,80	7,06	8,65
Kłęcząca <i>Kneeling</i>	1	3,24	3,63	2,79	3,22	1,54	1,64	1,55	1,58	2,40
	2	9,36	9,01	8,28	8,88	6,45	6,64	7,08	6,72	7,50
Stojąca <i>Standing</i>	1	4,44	4,47	3,54	4,15	2,44	3,02	1,84	2,43	3,29
	2	10,3	11,1	9,58	10,34	7,44	8,15	7,50	7,70	9,02



Fot. 2.2. Złożenie do strzału z granatnika na odległość 50 m z lewego ramienia

Photograph 2.2. Composition for firing the grenade launcher on the range of 50 m from the left arm

Ze względu na ograniczone zasoby amunicji granatnikowej każdy strzelec wykonał je tylko jednokrotnie, jednakże uzyskane czasy należy uznać za reprezentatywne – porównując je z wynikami treningu bezstrzałowego. Wyniki zamieszczono w tabeli 2.11. U strzelca A podczas strzału nastąpiło samoczynne przemieszczenie się skrzydełka bezpiecznika o nieznaczny kąt, powodujące jednak zablokowanie spustu (jeden z dwóch przypadków po modyfikacji granatnika przez producenta,

Because of the limited amount of grenade ammunition each shooter has performed the firing only one time but nevertheless the received times may be considered as the representative ones when compared with the practicing sessions without firing. The results are placed in table 2.11. The lever of the safety catch has been shifted a bit by itself for shooter A, what caused that the trigger was blocked (one of the cases for 52 shots after the modification of the

na 52 oddane strzały). Niemniej szybkostrzelność praktyczna granatnika wynosi, co najmniej 5 strz./min.

grenade launcher made by the manufacturer). Nevertheless the practical rate of fire equals to 5 shots/min at least.

Tab. 2.11. Czasy złożenia do strzału z lewego ramienia z granatnika oraz załadowania broni i oddania drugiego strzału [s] (dla karabinka-granatnika MSBS-B; postawa strzelecka klęcząca)

Table 2.11. Times of composition to firing the grenade-launcher from the left hand and loading the gun and firing the second shot [s] (for rifle-grenade launcher SAMS-B; the firing pose - kneeling)

Numer strzału <i>Number of a shot</i>	Strzelec A [s] <i>Shooter</i>	Strzelec B [s] <i>Shooter</i>	Średnio / Avr. [s]
1	4,83	2,32	3,58
2	13,91	12,22	13,07

Podczas tego ćwiczenia uwidocznił się problem związany ze zbliżeniem głowy do przyrządów celowniczych granatnika – znajdujących się bardzo nisko, co utrudniało złożenie się z granatnika do celu znajdującego się na małym dystansie (płaskotorowo).

This exercise has showed a problem of putting the head near the sight instruments of the grenade launcher, which are placed relatively low, what caused that the composition for firing the grenade launcher towards a close range target (flat path) was difficult.

2.2.3. Przejście od prowadzenia ognia z karabinka do oddania strzału z granatnika

1.2.3. Switching between firing the rifle and the grenade launcher

Celem badania było określenie czasu potrzebnego strzelcowi prowadzącemu ogień z karabinka do oddania celnego strzału z granatnika. Z uwagi na niesprawność jednego z granatników ćwiczenie przeprowadzono bezstrzałowo. Jego przebieg był następujący: strzelec jest złożony do strzału z karabinka (broń wycelowana, odbezpieczona, palec na spuście) w postawie strzeleckiej klęczącej; na sygnał zabezpiecza karabinek, składa się do strzału z granatnika (nie zmieniając postawy), odbezpiecza granatnik i ściąga język spustowy. Następnie zabezpiecza broń, usuwa łuskę i ładuje nabój treningowy; składa się do strzału, odbezpiecza granatnik i ściąga język spustowy. Mierzonym parametrem był czas od podania sygnału do ściągnięcia spustu granatnika. Wyniki zamieszczono w tabeli 2.12.

The aim of the test was to determine the time needed for a shooter firing with the rifle to switch for firing an accurate shot with the grenade launcher. As one of the grenade launchers was defective the trial was performed without shooting. The course of it was the following: the shooter is composed to fire with the rifle (the gun is aimed, safety catch released, the finger on the trigger) in the kneeling firing pose; after receiving the signal he puts the rifle safety catch on, composes himself to fire with the grenade launcher (without changing the pose), releases the grenade launcher safety catch and pulls the trigger. Next he secures the gun, removes the case and loads the training cartridge; composes to firing, releases the grenade launcher safety catch and pulls the trigger. The time between the signal and pulling the grenade launcher trigger was measured. The results are presented in table 2.12.

Można zauważyć nieznaczne wydłużenie czasu złożenia i ładowania granatnika podwieszono pod karabinkiem bezkolbowym

It may be noticed that the times for com-

(o kilka procent), wynikające głównie z nawyków strzelców w posługiwaniu się bronią w klasycznym układzie konstrukcyjnym.

W przypadku karabinka-granatnika „Beryl” analogiczne czynności zajmują o ponad 50% więcej czasu. Określona na podstawie powyższych wyników szybkostrzelność praktyczna broni, wyrażona liczbą strzałów oddanych w ciągu jednej minuty (przy jednym naboju załadowanym i pozostałymi umieszczonymi w ładownicy), wynosi dla poszczególnych systemów broni odpowiednio: MSBS-K - 9 strz./min; MSBS-B - 9 strz./min; „Beryl” - 6 strz./min.

position and loading the grenade launcher suspended under the bull-pup rifle are a bit longer (a few percent) what results in general from the force of habit the shooters have acquired by using the guns in classical designs.

In the case of rifle-grenade launcher „Beryl” the same routines take more than 50% longer time. Basing on the above results the practical rate of fire, expressed by the number of shots fired within one minute (with one cartridge loaded and the remaining ones in the loader), equals for the particular guns respectively: SAMS-K - 9 shots/min; SAMS-B - 9 shots/min; „Beryl” - 6 shots/min.

Tab. 2.12. Czasy przejścia od prowadzenia ognia z karabinka do oddania strzału z granatnika [s]
Table 2.12. Switching times between firing from the rifle and delivering a shot from the grenade launcher [s]

Broń Gun	Nr strz. Shot No	Strzelec/ Shooter A [s]				Strzelec/ Shooter B [s]				Śr. [s] Aver.
		I	II	III	śr./av.	I	II	III	śr./av.	
MSBS-K SAMS-K	1		3,78	3,61	3,77	0,81	1,32	1,17	1,28	2,53
	2		7,48	5,97	6,94	5,35	5,86	6,23	5,81	6,38
MSBS-B SAMS-B	1		3,64	3,57	3,58	1,32	1,51	1,21	1,35	2,47
	2		9,92	6,78	7,81	7,55	5,51	5,27	6,11	6,61
Beryl	1		4,43	3,65	4,11	3,59	2,31	2,22	2,71	3,41
	2	11,8	7,41	9,65	9,62	10,18	12,5	9,33	10,6	10,15

2.2.4. Zmiana dystansu prowadzenia ognia

Badanie to miało na celu weryfikację ergonomii zmiany nastaw celownika oraz konstrukcji karabinka – granatnika. Ze względu na konstrukcję celownika konieczne jest jego manualne przestawienie wraz ze zmianą dystansu prowadzenia ognia. W tym celu strzelec musi oderwać wzrok od przyrządów celowniczych, przenieść kolbę „pod pachę” (co ułatwia utrzymanie broni jedną ręką), dłonią podtrzymującą sięgnąć do zatrzasku celownika i obrócić jego ramię na żadaną nastawę. Złożenia do strzału z karabinka – granatnika MSBS przedstawiono na fot. 2.3 – 2.4.

Badanie przeprowadzono bezstrzałowo, jego wynik jest czysto doznaniowy (nie była

2.2.4. Changing the firing range

This test was aimed to verify the ergonomics of the rifle-grenade launcher design and the adjustment of sight settings. The design requires the sight has to be manually rearranged together with the change of the firing range. To do so the shooter has to take his eye out from the sight instruments, put the butt “under the armpit” (what helps to hold the gun in one hand), and move the suspending hand to the sight latch and turn its lever to required setting. The composition for the firing from the rifle-grenade launcher SAMS is presented in photographs 2.3 – 2.4.

The test has been carried out without shooting and its result depends merely on in-

możliwa ocena skuteczności prowadzenia ognia na różnych dystansach). Obawy związane z potencjalnymi trudnościami w złożeniu się do strzału z karabinków – granatników, w postawie leżącej lub przy dużym zakresie kątów celowania nie potwierdziły się.

dividual sensations (there was not possible to check the effectiveness of firing on various ranges). The concerns of potential difficulties in composing for firing from rifle-grenade launchers at the lying pose or for the wide range of aiming angles were not confirmed.



Fot. 2.3. Złożenie do strzału z karabinka klasycznego MSBS, z granatnikiem podlufowym na odległość 50 m (fot. lewa) oraz 400 m (fot. prawa) w postawie kłęczącej
Photograph 2.3. Composition for firing from classical rifle SAMS with the under-barrel grenade launcher on the range of 50 m (left) and 400 m (right) at kneeling pose



Fot. 2.4. Złożenie do strzału z karabinka bezkolbowego MSBS z granatnikiem podlufowym na odległość 50 m (fot. lewa) oraz 400 m (fot. prawa) w postawie kłęczącej
Photograph 2.4. Composition for firing from bull-pup rifle SAMS with the under-barrel grenade launcher on the range of 50 m (left) and 400 m (right) at kneeling pose

3. Wnioski

Na podstawie wyników przeprowadzonych badań można sformułować następujące wnioski:

- karabinki-granatniki w układzie klasycznym i bezkolbowym nie różnią się znacząco z punktu widzenia ergonomii i właści-

3. Conclusions

The following conclusions may be formulated basing on the results of carried out tests:

- The rifle-grenades in classical and bull-pup designs do not show significant differences from the point of ergonom-

- | | |
|--|--|
| <p>wości użytkowych; konstrukcja referencyjna – karabinek-granatnik „Beryl”/GPBO ustępuje im w znacznym stopniu (wydłużenie o nawet 50% czasu trwania procedur manualnych, niemożliwość realizacji niektórych zadań);</p> <ul style="list-style-type: none"> – zamontowanie granatnika pod karabinkami MSBS-K i MSBS-B w niewielkim stopniu wpływa na możliwości bojowego wykorzystania broni podstawowej, przy czym mniejszy wpływ ma na użycie karabinka bezkolbowego; – podczas badań nie odnotowano zdarzeń oraz nie zidentyfikowano czynników mogących wpływać negatywnie na bezpieczeństwo eksploatacji broni. | <p>ics and functional properties; the reference design of rifle-grenade launcher „Beryl”/GPBO is worse in a significant degree than these designs (some manual procedures take even 50% more time and some tasks cannot be performed).</p> <ul style="list-style-type: none"> – The integration of the grenade launcher under the barrel of SAMS-K and SAMS-B rifles has an insignificant impact on the combat use possibilities of the basic gun and the impact is less for the bull-pup rifle. – During the tests no events were noted or the factors identified which could have a negative impact on the safety of using the guns. |
|--|--|

Literatura / Literature

- [1] Kupidura P., Zahor M., *Examining the MSBS 5,56 mm Assault Rifle- the Polish Soldier's Future Weapon*, proceedings of 7th Infantry Weapons 2012, Londyn, 18-19.09.2013 r. Defence IQ
- [2] Kupidura P., Gawron A., *Wyniki wstępnych badań użytkowych karabinka podstawowego MSBS-5,56*, XIX Międzynarodowa konferencja naukowo-techniczna „Problemy rozwoju, produkcji i eksploatacji techniki uzbrojenia UZBROJENIE 2013”, Jachranka, 11-14.06.2013, wyd. na nośniku elektr. Nr 35
- [3] Kupidura P., Gawron A., *Niektóre wyniki porównawczych badań użytkowych karabinków MSBS-5,56 w klasycznym i bezkolbowym układzie konstrukcyjnym*, X Międzynarodowa konferencja uzbrojeniowa Uzbrowienie 2014, Ryn 15-18.09.2014, wyd. na nośniku elektr.

Projekt rozwojowy nr O ROB003403 001 dofinansowany przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju ze środków na naukę w latach 2012-2016

Development Project No O ROB003403 001 partially Funded by the National Research and Development Centre from science assets within 2012-2016.



STAŁE PALIWA RAKIETOWE Z DRUTAMI W ŚWIETLE LITERATURY PATENTOWEJ

ROCKET SOLID WIRED PROPELLANTS IN THE LIGHT OF PATENT LITERATURE

Maciej MISZCZAK

Wojskowy Instytut Techniczny Uzbrojenia
Military Institute of Armament Technology

Streszczenie: W artykule przedstawiono rezultaty poszukiwań i analiz zagranicznej literatury patentowej w zakresie ładunków stałych paliw rakietowych spalanych czołowo, z osadzonymi w nich poosiowo drutami oraz sposobów otrzymywania tego rodzaju ładunków. Wprowadzenie do masy paliwa rakietowego drutów o wysokim przewodnictwie cieplnym powoduje kilkukrotny wzrost szybkości spalania. Na przykład, dzięki zastosowaniu drutów wykonanych ze srebra szybkość spalania ładunku paliwa wzrasta nawet 5 krotnie w porównaniu z szybkością spalania samego paliwa rakietowego (bez drutów). W wyniku poszukiwań i analiz publikacji patentowych, wyselekcjonowano kilkanaście opisów patentowych wynalazków z przedmiotowego zakresu, z datą pierwszeństwa z lat 50, 60, 70 i 80 ubiegłego wieku, zgłoszonych w USA, Francji, Wielkiej Brytanii i Japonii. Mimo ponad 60 letniej historii tematyka prezentowana w artykule, jest bardzo rzadko poruszana. Informacje zawarte w znalezionych opisach patentowych powinny zainteresować, zwłaszcza technologów zajmujących się wytwarzaniem ładunków stałych paliw rakietowych oraz konstruktorów silników rakietowych zaelaborowanych takimi paliwami.

Słowa kluczowe: ładunki stałych paliw rakietowych, druty, szybkość spalania, literatura patentowa

1. Wstęp

Ładunki stałych paliw rakietowych spalające się „papierosowo”, często nazywane typu „end-burning”, charakteryzują się stosunkowo

Abstract: Results of investigations and studies of foreign patent literature on the manufacture of end-burning charges of solid rocket propellants with axially embedded wires are presented in the paper. The introduction of wires, possessing a high thermal conductivity level, into the stuff of rocket propellant makes the burning velocity increase by several times. For example the application of silver wires boosts the propellant burning velocity up to 5 times comparing to the same propellant without the wires. In the result of a research work and studies of patent publications a dozen of patent descriptions of inventions on the subject scope was selected, with the date of priority, issued in the 50-ties, 60-ties, 70-ties and 80-ties of the former century, applied in the USA, France, Great Britain and Japan. The subject of this paper has been very seldom presented for over 60 years. The data included in the patent descriptions seems to be very interesting, particularly for technologists dealing with manufacture of rocket solid propellant charges and for designers of rocket motors using such propellants.

Keywords: solid rocket propellant charges, wires, burning rate, patent literature

1. Introduction

The charges of solid rocket propellants burning like “cigarettes”, or „end-burning”, are characterised by a relatively

małą powierzchnią spalania i wysokim współczynnikiem wypełnienia komory spalania silnika raketowego. Pierwsza z tych cech jest wadą, druga zaletą. Aby uzyskać wysoki współczynnik wypływu produktów spalania z dyszy silnika raketowego zaelaborowanego ładunkiem typu „end-burning”, należy zwiększyć jego powierzchnię spalania i/lub szybkość spalania. Aby zwiększyć powierzchnię spalania, należałoby zwiększać średnicę ładunku, jednak nadmierny wzrost średnicy ładunku jest niekorzystny z punktu widzenia konstrukcji i eksploatacji raket oraz pocisków raketowych. Wobec tego, starając się utrzymać jak najmniejszą średnicę ładunków typu „end-burning”, należy istotnie zwiększyć szybkość ich spalania poprzez zmiany w składzie paliwa, np. wprowadzając katalizatory spalania. Alternatywnym rozwiązaniem jest wprowadzenie strukturalnych (fizycznych) elementów, zazwyczaj metalowych, o odpowiednio wysokiej przewodności cieplnej [1].

Celem pracy jest wykazanie, że w ramach fizycznych sposobów zwiększania szybkości spalania tego typu ładunków, bardzo skutecznym i najprostszym jest zastosowanie drutów o wysokiej dyfuzyjności (przewodności) cieplnej, usytuowanych w osi ładunku i/lub równoległe do niej.

Przedstawiono badania patentowe obejmujące poszukiwania i analizę zagranicznej literatury patentowej w zakresie ładunków stałych paliw raketowych typu „end-burning” z drutami, oraz sposobów otrzymywania tego rodzaju ładunków.

2. Badania patentowe

2.1. Zakres badań patentowych

Badania patentowe obejmowały technologię wytwarzania ładunków stałych paliw raketowych typu „end-burning” z osadzonymi w nich poosiowo drutami, zwłaszcza wykonanymi ze srebra, charakterystyki geometryczne i materiałowe drutów oraz ocenę wpływu tych charakterystyk na parametry procesu spalania paliw raketowych.

W wyniku poszukiwań i analizy publikacji patentowych, wyselekcjonowano kilkanaście opisów patentowych wynalazków z przed-

small surface of burning and a high coefficient of filling the rocket motor burning chamber. The first feature is a disadvantage whereas the second one is an advantage. In order to get a high coefficient of outflow of combustion products from the nozzle of a rocket motor, filled with “end-burning” charge, its surface and/or rate of burning has to be increased. An increase of the burning surface may be achieved by increasing the diameter of the charge but this way has some drawbacks concerning the design and use of rockets and missiles. The other way is to apply possibly small diameter of “end-burning” charges but instead boost their rate of burning by changing the composition of the propellant, e.g. introducing a combustion catalyser. An alternative solution is the introduction of high thermal conductivity metal components having structural (physical) character [1].

The paper is aimed to show that a very effective and simple physical way for boosting the rate of burning, for this type of charges, is the use of high thermal diffusion (conductivity) wires placed in the charge axis, or parallel to it.

The paper includes the description of research work on patents, reviewing foreign patent literature of “end-burning” rocket solid propellant charges with embedded wires and methods of their manufacture.

2. Scrutiny of patents

2.1. Scope of patent scrutiny

The scrutiny of patents included technology of manufacturing methods for “end-burning” rocket solid propellant charges with axially embedded wires, especially made from silver, material and geometrical characteristics of wires, and evaluation of influence of these characteristics into the rocket propellant burning process parameters.

As the result of the research and studies made on patent publications a dozen of descriptions of patented inventions on the

miotowego zakresu, zgłoszonych z datą pierwszeństwa z lat 50, 60, 70 i 80 ubiegłego wieku, w Japonii, USA, Wielkiej Brytanii i Francji [2-13]. Przedstawiają one sposoby formowania ładunków stałych paliw rakietowych homogenicznych i heterogenicznych metodą odlewania i wytłaczania, w tym sposoby umieszczania, pozycjonowania i mocowania drutów w takich ładunkach, a także wyniki badań wpływu parametrów materiałowych drutów, zwłaszcza dyfuzyjności cieplnej i temperatury topnienia oraz geometrycznych, zwłaszcza średnicy - na szybkość spalania ładunków oraz na wykładnik potęgowy występujący we wzorze na szybkość spalania paliw rakietowych w zależności od ciśnienia produktów spalania.

2.2. Wyniki badań patentowych i ich dyskusja

Sposoby otrzymywania ładunków stałych paliw rakietowych z drutami najszerzej przedstawione są w japońskim [2], amerykańskim [3] opisie patentowym oraz dwóch brytyjskich opisach patentowych [4,5] francuskich wynalazków, zaś bardzo zdawkowo w amerykańskim [6] i brytyjskim [7] opisie patentowym amerykańskich wynalazków.

W japońskim opisie patentowym [2] zgłoszonym przez firmę NISSAN MOTOR COMPANY, przedstawiono urządzenie i sposób mocowania miedzianego drutu w zawieszynie stałego paliwa rakietowego. Drut po zamocowaniu jednego z jego końców do dna komory odlewniczej (po zakrzywieniu dolnego końca i zablokowaniu jego ruchu), wkładany jest do sztywnego rękawa otaczającego drut na całym odcinku znajdującym się w komorze odlewniczej. Rękaw z drutem jest pozycjonowany wzdłuż osi komory odlewniczej za pomocą uchwyty ze śrubą, po czym do zbiornika wlewana jest masa paliwa rakietowego. Po zakończeniu napełniania, rękaw otaczający drut jest usuwany (wyciągany) z komory odlewniczej. Podczas termostatowania komory odlewniczej masa paliwa rakietowego ulega zestaleniu (utwardzeniu).

W opisie patentowym [3] zgłoszonym

subject, published with the priority date between 50-ties and 90-ties of the last century in Japan, USA, UK and France, was selected [2-13]. They present the methods of forming rocket solid propellant charges of homogeneous and heterogeneous types by casting and extrusion, and moreover the methods of positioning and fixing the wires within such charges, and also some results of tests over the influence of material characteristics of wires, especially thermal diffusion and melting temperature and their geometry with the diameter on the first place, onto the charge burning rate and the value of the power exponent in the formula describing the rate of burning of rocket propellants depending on the pressure of combustion products.

2.2. Results of patent scrutiny and discussion

The fabrication methods for rocket solid propellant charges with embedded wires are widely presented by Japanese [2], American [3] patents and two British patent descriptions [4,5] of French inventions, and rather shortly by American [6] and British [7] patent description of American inventions.

Description of application for Japanese patent [2] made by NISSAN MOTOR COMPANY presents a device and method for fixing a copper wire within the suspension of rocket solid propellant. One end of the wire is fixed to the bottom of casting chamber (by bending its end and blocking it) and then it is put into the rigid sleeve that surrounds the wire along its whole part placed in the casting chamber. The sleeve with the wire is positioned along the axis of casting chamber by using a screw catcher and then the stuff of rocket propellant is poured into the container. When the filling is completed the sleeve surrounding the wire is removed (pulled out) from the casting chamber. Then the casting chamber is subjected to a thermostatic process providing the solidification (hardening) of rocket propellant stuff.

przez firmę THIOKOL CHEMICAL CORPORATION (USA) przedstawiono sposób otrzymywania jednokierunkowej (poosiowej) orientacji pojedynczych drutów w utwardzanych materiałach elastomerowych, polegający na tym, że na dennej płycie czołowej posiadającej szereg poosiowych otworów przelotowych ustawia się komorę spalania silnika raketowego. Przez otwory przelotowe dna komory spalania, leżące naprzeciw otworów przelotowych dennej płyty czołowej przekłada się dolne końce drutów, ustala się ich położenie (blokuje ruch) za pomocą dolnych końcówek ograniczających (ustalających) np. w kształcie stożków, usytuowanych pod denną płytą czołową, wprowadza się do dennej części komory spalania urządzenie pozycjonujące – kosz, posiadające zespół kanałów przelotowych (pozycjonujących), korzystnie o strukturze przypominającej plaster miodu, przekłada się druty przez kanały urządzenia pozycjonującego, do górnych końców drutów mocuje się górne elementy ograniczające (blokujące), np. również w postaci stożków, usytuowane nad komorą spalania, nie niżej niż jej górna krawędź, po czym umieszcza się komorę spalania wraz z denną płytą czołową i drutami oraz urządzeniem pozycjonującym w próżniowej komorze odlewniczej, napełnia się komorę spalania płynną masą paliwa raketowego, a następnie podnosi urządzenie pozycjonujące w górne skrajne położenie, sięgające górnej krawędzi komory, za pomocą kabli i uchwytów zamocowanych na końcach kabli, do chwili oparcia górnej krawędzi czołowej urządzenia pozycjonującego o górne elementy ograniczające. Druty napina się (naciąga), po czym utwardza się ładunek paliwa raketowego. Opcjonalnie, po utwardzeniu się paliwa raketowego i zdemonstrowaniu dennej płyty czołowej oraz urządzenia pozycjonującego, odcina się nadmiernie wystające odcinki drutów z zestawionego ładunku paliwa, opcjonalnie równo z jego powierzchnią czołową albo pozostawia się odcinki drutu wystające nieco poza powierzchnię czołową.

W brytyjskim opisie patentowym [4] zgłoszonym przez francuską firmę Societe Nationale Des Poudres et Explosifs (SNPE)

The description of patent application [3] made by THIOKOL CHEMICAL CORPORATION (USA) presents a method securing one directional (axial) orientation of individual wires within the hardened elastomeric materials by mounting the rocket motor burning chamber onto the base head plate with many through axial holes. Through the holes made in the burning chamber base, which are placed opposite to through axial holes of the base head plate, the bottom ends of wires are pulled and their position is settled (the movement blocked) by the bottom arresting (setting) terminals, e.g. in the form of cones placed under the base head plate, and then the locating device - basket is put into the base part of burning chamber with a set of through (locating) channels, favourably with the structure similar to honeycomb, the wires are pulled through the channels of locating device, the top arresting (setting) terminals are fixed to the upper ends of wires, e.g. also in the form of cones, situated over the burning chamber but not lower than its top edge, and then the burning chamber, the base head plate, the wires and the locating device are placed within the vacuum casting chamber to fill it by the liquid stuff of rocket propellant and to lift the locating device to the upper extreme position, that reaches the top edge of the chamber, by using cables and catchers installed at their ends until the top head edge rests against the upper limiting elements. The wires are tightened (strained) and the rocket propellant charge is hardened. Optionally after hardening the rocket propellant and removing the base head plate and the locating device, the parts of wires that are sticking out from the solid charge are cut off just at its head surface or optionally the parts of wires sticking out beyond the surface are left.

In the British description of the patent [4] of application made by French company Societe Nationale Des Poudres et Explosifs (SNPE) the methods of casting or extruding are presented for fabrication of homogeneous and heterogeneous rocket solid propellant charges, filled with copper

przedstawiono sposób wytwarzania ładunków stałych paliw raketowych – homogenicznych i heterogenicznych za pomocą odlewania lub wytłaczania, zaelaborowanych drutami, korzystnie miedzianymi lub srebrnymi i o średnicy od 0,1 mm do 1,0 mm, równoległymi do osi ładunku i rozciągającymi się na całej jego długości. Druty są wprowadzane w kanały wykonane w ładunku po jego uformowaniu (utwardzeniu), albo są umieszczane w komorze formowania ładunku, przed wprowadzeniem do niej masy paliwa.

Po wprowadzeniu drutów w kanały uformowanego ładunku paliwa raketowego albo do pustej komory formowania, są one rozciągane i naciągane za pomocą układu sprężyn oraz elementów ustalających, zamocowanych do końców drutów. Po ułożeniu drutów w kanałach ładunków paliwa raketowego, wprowadza się substancję wiążącą zapewniającą szczelne przyleganie drutów do ładunków paliwa. Substancję wiążącą, łączącą drut z homogenicznym, nitrocelulozowo-nitroglicerynowym paliwem raketowym korzystnie stanowi mieszanina estru kwasu azotowego, zazwyczaj nitrogliceryny, plastyfikatora np. trójacetyny i stabilizatora powstrzymującego fizykochemiczny rozkład paliwa, np. 2-nitrodifenyloaminy lub centralitu. Nitrogliceryna zawarta w mieszaninie wiążącej powoduje pęcznienie (żelatynizację) nitrocelulozy, w wyniku tego drut ściśle przylega do paliwa.

W przypadku zapewnienia przylegania drutu do heterogenicznego paliwa raketowego, korzystnie substancją łączącą drut z paliwem jest lepsze heterogeniczne paliwo raketowe np. na bazie kauczuku. Po uformowaniu ładunku typu „end-burning”, korzystnie wykonuje się na jego zapłonowej powierzchni czołowej wnęki w postaci stożków, których osie leżą wzdłuż drutów.

W kolejnym brytyjskim opisie patentowym [5] zgłoszonym przez firmę SNPE przedstawiono sposób wytwarzania ładunków stałych paliw raketowych, analogiczny do przedstawionego w brytyjskim opisie patentowym [4], lecz różniący się od niego wprowadzeniem dwuetapowego procesu formowania ładunku finalnego oraz zastososo-

or silver wires, and positioned in axial direction along the whole length of the charge, and with diameters between 0.1 mm to 1.0 mm. The wires are introduced into the channels of the charge made in it after forming (hardening) or are placed into the charge casting chamber before the propellant stuff is poured into it.

After introduction of wires to the channels of formed solid rocket propellant or to the empty casting chamber the wires are strained by a system of springs and setting devices fixed to the ends of wires. After location of the wires within the channels of rocket propellant charges the binding composition is introduced to provide tight sticking between the wires and charges of propellant. The efficient agent binding the wire with the homogeneous nitrocellulose – nitroglycerine rocket propellant is the mixture of esters of nitric acid, usually nitroglycerine, and plasticiser e.g. triacetin, and a stabiliser that inhibits the physical-chemical decomposition of the propellant e.g. 2-nitrodifenyloamine or centralit. Nitroglycerine included in the binding mixture causes the bulging (gelatinization) of the nitrocellulose and then the wire tightly sticks to the propellant. In the case when the sticking of the wire to the rocket heterogeneous propellant has to be secured an advantageous mixture connecting the wire with the propellant is the adhesive of rocket heterogeneous propellant e.g. on the base of rubber. After forming the “end-burning” charge the recesses in the form of cones, with axes parallel to the wires, are made on its ignition head surface.

In the next British patent description [5] of the application made by SNPE company another method is presented for fabrication of rocket solid propellant charges that is similar to the one presented in the British patent description [4], and the difference is made by introduction of a two stage process for forming the final charge and use of channels for wires in the shape of grooves performed along the side walls of adjacent partial charges creating the final charge.

waniem kanałów mieszczących druty, w postaci rowków wykonanych wzdłuż bocznych powierzchni sąsiednich ładunków składowych, tworzących ładunek finalny.

W opisach patentowych [6,7] wynalazków amerykańskiej firmy ATLANTIC RESEARCH CORPORATION, krótko i dosyć ogólnikowo stwierdzono, że w ramach sposobu otrzymywania ładunków paliw rakietowych z drutami, te ostatnie powinny być stabilnie umocowane/pozycjonowane w komorze spalania, na przykład do jej dna, za pomocą uchwytów zamontowanych do ściany komory spalania przed wprowadzeniem/wtłoczeniem masy paliwa, przy czym korzystnym zabiegiem jest odpowietrzenie masy paliwa rakietowego wzdłuż drutów specjalnym ubijakiem.

Odmienne podejście w zakresie pozycjonowania drutów o wysokim przewodnictwie ciepła w ładunku paliwa rakietowego zaprezentowano w amerykańskim opisie patentowym [8] japońskiego wynalazku zgłoszonego przez firmę NISSAN MOTOR COMPANY.

Istota rozwiązania wynalazku według niniejszego opisu patentowego polegała na wprowadzeniu do masy paliwa rakietowego układu co najmniej dwóch drutów, luźno ze sobą skręconych, każdy o średnicy mniejszej niż 0,2 mm, korzystnie posiadających średnicę 0,1 mm każdy, wykonanych ze złota albo srebra albo platyny. Metale te charakteryzują się małą reaktywnością chemiczną. Zatem, powinny posiadać odpowiednią kompatybilność chemiczną z masą paliwa rakietowego. Druty powinny ściśle przylegać na całej swej długości do masy paliwa. Ilość drutów skręconych ze sobą w ramach pojedynczej wiązki („warkocza”) nie powinna być większa niż osiem. Zastrzegana wiązka drutów o wysokiej przewodności i dyfuzyjności cieplnej oraz małej średnicy charakteryzuje się wystarczającą wytrzymałością mechaniczną, w tym na rozciąganie (rozerwanie) i jednocześnie gwarantuje uzyskanie dużej powierzchni kontaktu z paliwem. Geometryczne i materiałowe charakterystyki, w tym właściwości mechaniczne wiązek drutów umożliwiają otrzymanie ładunków o prawidłowej strukturze i wytrzymałości mecha-

Patent descriptions [6,7] of inventions of American company ATLANTIC RESEARCH CORPORATION includes a brief statement that for the rocket propellant charges filled with wires they have to be firmly fixed/positioned in the burning chamber, for example to its base, by means of fixing devices fastened to the wall of the burning chamber, before the propellant stuff is introduced/pressed, and that removing any air bubbles from the propellant stuff along the wires by a special caulking tool is a beneficial procedure.

A bit different approach is presented for the question of positioning high thermal conductivity wires in the American patent description [8] of Japanese invention for which the application was made by NISSAN MOTOR COMPANY.

The essence of the invention's solution, according to the patent description, is that a system of at least two wires is introduced into the propellant stuff, and each of them has the diameter that is less than 0.2 mm, and in the best case with the diameter of 0.1 mm for each one, and they are loosely twisted, and in the best case they have to be made from the gold, silver or platinum. These metals are characterised by a low chemical reactivity and for this reason they have to have a relevant chemical compatibility with the stuff of rocket propellant. The wires have to stick strictly to the propellant stuff along the whole length. The number of wires twisted together in the form of a single bunch (“braid”) has not to exceed eight ones. The bunch of wires, being the subject of proprietary rights, possessing high thermal diffusivity and conductivity, and low diameter is also characterised by a high mechanical strength, concerning the straining (breaking), and at the same time provides a large value of surface interfacing with the propellant. Geometrical and material characteristics, including mechanical properties of bunches of wires, give possibilities for fabrication of charges with proper structure and mechanical strength, and have a significant influence on

nicznej oraz wpływają na istotne zwiększenie szybkości spalania masy paliwa stanowiącego osnowę drutów.

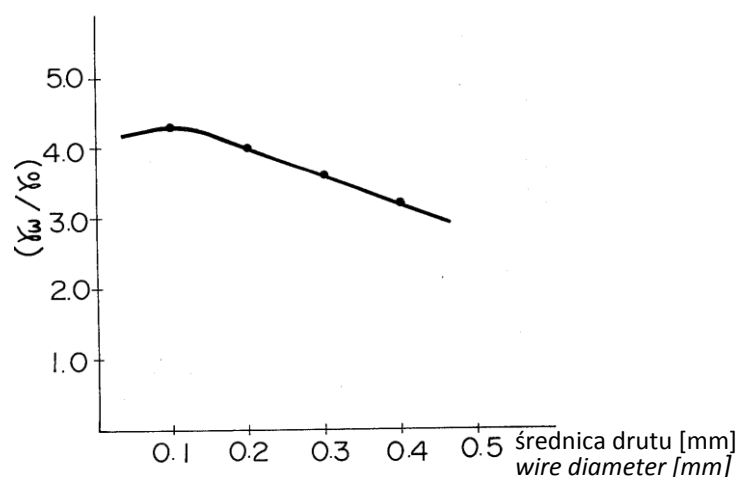
W ramach przykładów realizacji wynalazku, przedstawiono heterogeniczne paliwo raketowe, którego lepiszczem był polibutadien. Do masy paliwa wprowadzono srebrne druty o ustalonej średnicy z zakresu od 0,1mm do 0,4mm. Z niniejszego paliwa i drutów wykonano próbki do badania szybkości spalania, umieszczając je w komorze spalania typu kominowego (tzw. „komorze Kuboty”) w atmosferze azotu, pod ciśnieniem 50 atm.

Próbki w postaci prostopadłościennych prętów o wymiarach (5x5x80) mm, pokrytych na jednej z powierzchni czołowych i całej powierzchni bocznej warstwą ekranującą (inhibującą), opcjonalnie były zaelaborowane drutem srebrnym przechodzącym wzdłuż osi próbki przez jej całą długość albo nie miały drutu. Próbki były zapalane od strony odsłoniętego (nie ekranowanego) czoła. W przypadku paliwa raketowego zaelaborowanego srebrnym drutem, z nieosłoniętej (zapłonowej) powierzchni występował odcinek drutu o długości ułamka milimetra. Mierzono średnie szybkości spalania. Zmiany stosunku szybkości spalania próbek paliwa zaelaborowanych drutem do szybkości spalania próbek paliwa bez drutu, w zależności od średnicy drutu przedstawiono na wykresie (rys.1).

boosting the rate of burning of propellant stuff filling the space between wires.

As an example of application of the invention a rocket heterogeneous propellant, with poly-butadiene as the adhesive, has been presented. To the stuff of propellant the silver wires with diameter ranging between 0.1 and 0.4 mm were introduced.

The samples for testing the rate of burning were made from this propellant and then placed into a chimney type burning chamber (so called „Kubota chamber”) in the nitrogen atmosphere and pressure of 50 atm. The samples in the form of cuboid rods with dimensions of (5x5x80) mm had the side walls and one of the head surfaces covered with a screening layer (inhibitor), and they were optionally filled with the silver wire passing through the axis of the sample or were without the wire. The samples were ignited from the side of not protected head (not screened). In the case of rocket propellant filled with the silver wire a fragment of the wire with the length below 1 mm has stuck out from the opened (ignition) surface. The average velocities of burning have been measured. The changes of the relation between the rates of burning for the propellant filled with the wire and without the wire depending on the wire diameter are presented below (Figure1).



Rys.1. Wykres zmian stosunku szybkości spalania (γ_w) ładunku paliwa raketowego ze srebrnym inkorporowanym drutem do szybkości spalania (γ_0) paliwa raketowego bez drutu w zależności od średnicy drutu (według opisu patentowego US 4369710 [8])

Figure 1. Relation between the ratio of the burning rate (γ_w) for the rocket propellant charge with embedded silver wire and the burning (γ_0) for the rocket propellant without the wire in dependence on the wire diameter (according to patent description US 4369710 [8])

Szybkość spalania próbki paliwa bez drutu wynosiła 18,2 mm/s. Maksymalny wzrost szybkości spalania wynoszący 4,3 uzyskano w przypadku zastosowania srebrnego drutu o średnicy 0,1 mm. Ze względów wytrzymałościowych zastosowanie pojedynczych drutów o średnicy 0,1 mm jest niewskazane, zaś z drugiej strony, biorąc pod uwagę przyspieszenie szybkości spalania, zastosowanie drutów o takiej średnicy jest bardzo korzystne. Aby pogodzić ww. sprzeczne wymagania zastosowano wiązki luźno skręconych ze sobą drutów srebrnych o średnicy 0,1 mm każdy. Układy te posiadały wystarczającą wytrzymałość na rozciąganie (rozerwanie), ponieważ wzrasta ona wraz ze wzrostem całkowitego przekroju poprzecznego drutów tworzących wiązkę. Poniżej, w tabeli przedstawiono wytrzymałość pojedynczych srebrnych drutów o średnicy 0,1 mm, 0,2 mm i 0,3 mm oraz wytrzymałość mechaniczną wiązek składających się z dwóch, trzech i czterech srebrnych drutów, każdy o średnicy 0,1 mm.

The burning velocity of the propellant sample without the wire was 18.2 mm/s. The maximal increase of burning velocity equal to 4.3 was obtained in the case of using the silver wire of 0.1 mm diameter. The use of single wires with diameter of 0.1 mm is not recommended from the reasons of the strength, whereas on the other hand, the application of wires with such diameter is beneficial accounting the boost of burning rate. In order to reconcile the above mentioned contradictory requirements, bunches of loosely twisted silver wires, of 0.1 mm diameter for each one, were used. These arrangements had a sufficient tensile resistance (breaking) as it increases with the raising of total cross-section of bunch wires. The resistance of individual silver wires of 0.1 mm, 0.2 mm and 0.3 mm diameters and the mechanical strength of bunches consisting of two, three and four silver wires with 0.1 mm diameter for each one is presented in the table below.

Tabela. Wytrzymałość na rozciąganie pojedynczych srebrnych drutów o średnicy 0,1mm, 0,2mm i 0,3mm oraz wiązek drutów o średnicy 0,1mm, wyrażona ciężarem powodującym przerwanie drutu albo wiązki drutów (według opisu patentowego US 4369710 [8])

Table. Tensile resistance of individual silver wires of 0.1 mm, 0.2 mm and 0.3 mm diameters and bunches of wires with 0.1mm diameter expressed by the weight causing the break of the wire or the bunch (according to patent description US 4369710 [8])

Średnica drutu <i>Wire diameter</i>	Liczba drutów/ <i>Number of wires</i>			
	1	2	3	4
0,1 mm	156 G	315 G	562 G	820 G
0,2 mm	814 G	-	-	-
0,3 mm	1375 G	-	-	-

Długość pojedynczego drutu wynosiła 50 cm. Na przykład, dwa druty skręcano, tak by ilość węzłów na 10 mm odcinku wiązki wynosiła dziesięć. Z tabeli tej wynika, że wytrzymałość wiązki składającej się z czterech drutów srebrnych o średnicy 0,1 mm każdy, wynosząca 820 G jest porównywalna z wytrzymałością pojedynczego drutu srebrnego o średnicy 0,2 mm, wynosząca 814 G. Zbliżone wartości wytrzymałości wynikają z bliskich pod względem wielkości powierzchni przekroju poprzecznego wiązki

The length of individual wire was 50 cm. Two wires were twisted in a way providing ten twisting cycles on the bunch distance of 10 mm. The table shows that the strength of the bunch consisting of four silver wires with 0.1 mm diameter of each one is 820 G that is compared with the resistance of a single silver wire of 0.2 mm diameter equal to 814 G. The similar values of the strength are caused by identical values of cross section total surfaces for four wires of 0.1 mm diameter and a single wire with 0.2 mm di-

czterech drutów o średnicy 0,1mm każdy oraz powierzchni przekroju poprzecznego drutu o średnicy 0,2mm. Szybkość spalania ładunku zaelaborowanego ww. wiązką drutów wynosiła 80,1 mm/s, zaś pojedynczym drutem o średnicy 0,2 mm - 72,8 mm/s. Różnica szybkości spalania prawdopodobnie wynika z większej powierzchni kontaktu wiązki drutów z paliwem niż pojedynczego drutu (o zbliżonej pojemności cieplnej badanej wiązki drutów i badanego pojedynczego drutu).

Wpływ średnicy oraz dyfuzyjności cieplnej i temperatury topnienia pojedynczych drutów wprowadzonych do ładunków paliw raketowych na szybkość ich spalania prezentowany jest w opisach patentowych [5-13].

Przed przystąpieniem do opisanego ww. wpływu na szybkość spalania ładunków paliw raketowych warto pokrótce opisać charakterystyczny ze względu na obecność drutów proces spalania paliw raketowych, dosyć szczegółowo zilustrowany w opisach patentowych [5,6,8,10-13]. Charakter procesu spalania ładunków paliw raketowych typu „end-burning” z inkorporowanymi drutami dobrze oddaje rys. 2 pochodzący z opisu patentowego US 4396710 [8].

Na podstawie rysunku 2 można wywnioskować, że proces spalania ma następujący przebieg. W wyniku zapłonu i spalania ładunku paliwa, produkty spalania o wysokiej temperaturze ogrzewają najpierw końce drutów usytuowanych nad czołową powierzchnią zapłonową ładunku. Ciepło bardzo szybko wnika wzdłuż drutu w głąb paliwa, ogrzewając, a następnie zapalając je. Podczas spalania płaska, czołowa powierzchnia spalania przekształca się w stożkową. Promień podstawy stożka utworzonego przez powierzchnię spalania, o wierzchołku przemieszczającym się wzdłuż drutu/drutów wzrasta do chwili uzyskania przez stożek spalania promienia podstawy równej promieniowi czoła ładunku.

Kąt wierzchołkowy stożka spalania (tu kąt α) zależy przede wszystkim od materiału, z którego wykonany jest drut, zwłaszcza od jego dyfuzyjności (przewodności) cieplnej, średnicy drutu/ drutów (od której zależy pojemność cieplna drutu/drutów) oraz składu paliwa.

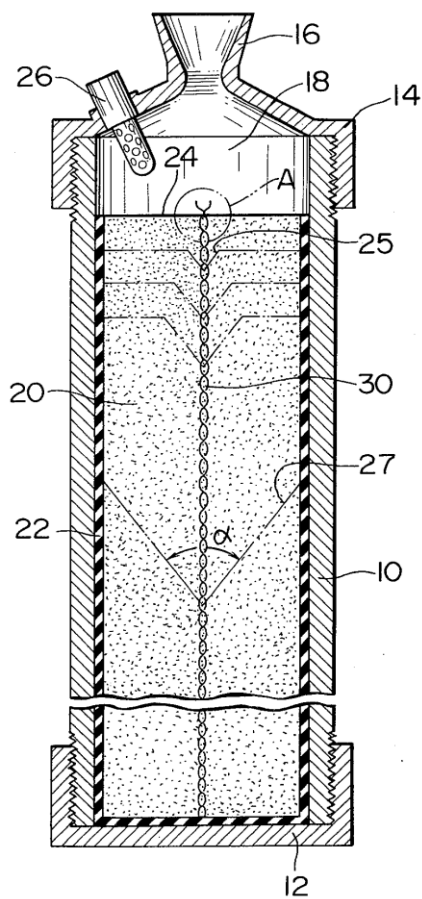
The burning rate of the charge filled with the above mentioned bunch of wires was 80.1 mm/s and with a single wire of 0.2 mm diameter it was 72.8 mm/s. The difference of the burning rate is probably caused by a greater surface of the contact between the bunch of wires and the propellant than for the single wire (at similar thermal capacities of tested bunch of wires and tested single wire).

The influence of the diameter, thermal diffusivity and melting temperature of single wires, introduced into the rocket propellant charges, on their rate of burning is presented in patent descriptions [5-13].

It is sensible to enlarge a bit the specific process of burning for rocket wired propellants, that is described quite precisely in patent descriptions [5,6,8, 10-13], before starting the discussion about the above mentioned influence on the rocket propellant velocity of burning. The character of burning process in rocket propellant charges of “end-burning” type with introduced wires is well rendered in the figure 2 that originates from patent description US 4396710 [8].

The following course of burning process may be deduced from figure 2. As the result of propellant charge ignition and burning, the high temperature burning products firstly heat the ends of wires, placed over the head ignition surface of the charge. The heat very quickly penetrates the volume of the propellant along the wires causing its heating and ignition. During the combustion process the head flat burning surface is transformed into a conical one.

Radius of the base of the cone that is created by the surface of burning, and has the apex displacing along the wire/wires, increases to the moment when it becomes equal to the radius of the charge head. The apex angle of the burning cone (here angle α) most of all depends on the material of the wire and especially its thermal diffusivity (conductivity), diameter (that influences thermal capacity of the wire/wires), and the propellant composition.



Rys. 2. Osiowy przekrój silnika raketowego zaelaborowanego ładunkiem paliwa raketowego typu „end-burning” z wiązką drutów. Rysunek zawiera schemat powstawania i rozwoju stożkowej powierzchni spalania stałego paliwa raketowego podczas pracy silnika raketowego (według opisu patentowego US 4369710 [8]).

Oznaczenia: 10 – korpus silnika raketowego; 12 – przednia pokrywa, 14 – tylny kołnierz, 16 – dysza, 18 – komora spalania, 20 – stałe paliwo raketowe, 22 – inhibitor, 24 – początkowa powierzchnia spalania paliwa, 25 – stożkowa powierzchnia spalania paliwa, 26 – zapłonnik, 27 – maksymalna stożkowa powierzchnia spalania paliwa, 30 – druty

Figure 2. The axial cross-section of a rocket motor filled with the wired rocket propellant charge of „end-burning” type. The picture includes the schematic outline of creating and developing a conical burning surface within the rocket solid propellant during the operation of rocket motor (according to patent description US 4369710 [8]).

Meanings for numbers of rocket motor components: 10 – body of rocket motor, 12 – front cover, 14 – rear flange, 16 – nozzle, 18 – burning chamber, 20 – rocket solid propellant, 22 – inhibitor, 24 – propellant initial burning surface, 25 – propellant conical burning surface, 26 – igniter, 27 – propellant maximal conical burning surface, 30 – wires.

Kąt ten jest tym mniejszy, im większe jest natężenie (strumień) ciepła przekazywanego z drutu/ drutów do paliwa. Wskutek wzrostu szybkości spalania i powierzchni spalania następuje wzrost szybkości wytwarzania produktów spalania (głównie gazowych). Według opisu patentowego [5], w przypadku zastosowania srebrnych drutów o średnicy 0,2 mm, wierzchołkowy kąt stożkowej powierzchni spalania mieścił się w zakresie od 17° do 20°.

Wpływ średnicy srebrnych drutów na dynamikę procesu spalania (tj. na liniową szybkość spalania i wykładnik potęgowy opisane wzorem Vieille'a lub Saint Roberts'a [14]) ładunków paliw w zależności od ciśnienia produktów spalania, dosyć szeroko przedstawiony jest w opisach patentowych [12,13].

Z opisu patentowego [12] wynika, że w przypadku zastosowania drutu ze srebra można uzyskać maksymalnie 5-krotny wzrost szybkości spalania ładunku paliwa w porównaniu z szybkością spalania ładunku

This angle decreases with the increase of the intensity (flux) of the heat transferred from the wire/wires to the propellant. The increase of the burning rate and surface causes an increase of the rate for generating the combustion products (mainly gaseous). According to patent description [5] the application of silver wires of 0.2 mm diameter resulted in the values between 17° to 20° for the apex angle of conical burning surface.

The influence of diameter of silver wires on the dynamics of combustion process (i.e. on the linear velocity of burning and the value of the power exponent in Vieille or Saint Roberts formula [14]) of propellant charges, depending on the pressure of combustion products, is relatively widely presented in patent descriptions [12,13].

Patent description [12] indicates that it is possible to get a 5-times boost of burning rate of propellant charge with silver wire, comparing to the burning rate of the charge made from the same stuff but without any wires. The pressure of the burning products

wykonanego z tego samego paliwa, ale bez wprowadzonego weń drutu. Ciśnienie produktów spalania w laboratoryjnym silniku raketowym podczas jego podstawowego reżimu pracy wynosiło ok. 1000 psi (ok. 7 MPa). Dolna (progowa) wartość ciśnienia pracy silnika mieściła się w zakresie 100-300 psi (0,7-2,1 MPa).

W opisie patentowym [12] podano m.in. szybkości spalania ładunku paliwa raketowego na bazie nadchloranu amonu (81% cz. wag), polichloroku winylu (8,44% cz. wag.) i sebacynianu dibutyłowego (10,23% cz. wag.), zaelaborowanego srebrnym drutem o średnicy 0,125 mm lub 0,175 mm, oraz szybkość spalania ww. paliwa bez drutu, przy ciśnieniu produktów spalania (ciśnieniu pracy silnika raketowego) wynoszącym ok. 0,7 MPa, 1,4 MPa oraz 7 MPa. W przypadku ładunku paliwa raketowego bez drutu, szybkość spalania paliwa wynosiła 5,08 mm/s przy ciśnieniu 0,7 MPa, 7,1 mm/s przy ciśnieniu 1,4 MPa oraz 15 mm/s przy ciśnieniu 7 MPa. W przypadku ładunków paliwa raketowego z inkorporowanymi srebrnymi drutami o średnicy 0,125 mm szybkość spalania ładunku wynosiła 19,8 mm/s przy ciśnieniu 0,7 MPa, 33 mm/s przy ciśnieniu 1,4 MPa oraz 70 mm/s przy ciśnieniu 7 MPa. A zatem wzrost szybkości spalania wyniósł ok. 3,9 przy ciśnieniu 0,7 MPa, 4,65 przy ciśnieniu 1,4 MPa oraz 4,66 przy ciśnieniu 7 MPa. W przypadku ładunków paliwa raketowego z inkorporowanymi srebrnymi drutami o średnicy 0,175 mm, szybkość spalania ładunku wynosiła 19,8 mm/s przy ciśnieniu 0,7 MPa, 35,6 mm/s przy ciśnieniu 1,4 MPa oraz 68,6 mm/s przy ciśnieniu 7 MPa. A zatem wzrost szybkości spalania był zbliżony w badanym zakresie ciśnień pracy silnika raketowego, czyli jak w przypadku zastosowania drutu ze srebra o średnicy 0,125 mm.

W opisie patentowym [12] podano również wartości wykładnika potęgowego we wzorze na szybkość spalania paliwa o ww. składzie, w zależności od ciśnienia produktów spalania, wynoszącego 0,7 MPa, 7 MPa i 14 MPa, dla ładunków paliwa ze

measured in a laboratory rocket motor at its basic operation mode was ca. 1000 psi (ca. 7 MPa). The bottom (limit) value of motor operation pressure is in the range of 100-300 psi (0.7-2.1 MPa).

In patent description [12] are given among others the burning velocities of the rocket propellant charge prepared on the base of ammonium perchlorate (81% of weight), vinyl poly-chloride (8.44% of weight) and di-butene seba-cyanide (10.23% of weight) filled with the silver wire of 0.125 mm or 0.175 mm diameter, and the burning velocities of this propellant without the wire for the pressures of combustion products (rocket motor operation pressure) of ca. 0.7 MPa, 1.4 MPa and 7 MPa. In the case of rocket propellant without the wire the propellant burning velocity was 5.08 mm/s at pressure of 0.7 MPa, 7.1 mm/s at pressure of 1.4 MPa and 15 mm/s at pressure of 7 MPa. In the case of rocket propellant charges with embedded silver wires of 0.125 mm diameter the charge burning velocity was 19.8 mm/s at pressure of 0.7 MPa, 33 mm/s at pressure of 1.4 MPa and 70 mm/s at pressure of 7 MPa. Then the increase of burning velocity was ca. 3.9 times for 0.7 MPa pressure, 4.65 times for pressure 1.4 MPa and 4.66 times for 7 MPa. In the case of rocket propellant charges with introduced silver wires of 0.175 mm diameter the charge burning velocity was 19.8 mm/s for 0.7 MPa, 35.6 mm/s for 1.4 MPa and 68.6 mm/s for 7 MPa. Then the increase of burning velocity was similar to the values received with 0.125 mm diameter silver wire within the range of tested rocket motor operation pressures.

Moreover the patent description [12] includes the values of the exponent of power in the formulae describing the burning velocity of the propellant of the above mentioned composition depending on the burning product pressures equal to 0.7 MPa, 7 MPa and 14 MPa, for charges of the propellant with the silver wire of 0.125 mm and 0.175 mm diameters. In the case of the rocket propellant charge without the wire the exponent of power is 0.52 at

srebrnym drutem o średnicy 0,125 mm i 0,175 mm. W przypadku ładunku paliwa raketowego bez drutu, wykładnik ten wynosił 0,52 przy ciśnieniu 0,7 MPa, 7 MPa i 14 MPa. W przypadku ładunków paliwa raketowego z inkorporowanymi srebrnymi drutami o średnicy 0,125 mm wykładnik ten wynosił 0,95 przy ciśnieniu 0,7 MPa oraz 0,42 przy ciśnieniu 7 MPa i 14 MPa. W przypadku ładunków paliwa raketowego z inkorporowanymi srebrnymi drutami o średnicy 0,175 mm wykładnik ten wynosił 0,65 przy ciśnieniu 0,7 MPa, 0,27 przy ciśnieniu 7 MPa i 0,22 przy ciśnieniu 14 MPa. A zatem, obecność srebrnych drutów generalnie spowodowała podwyższenie wykładnika potęgowego w przypadku niskich ciśnień ok. 1 MPa i obniżenie wykładnika potęgowego dla wyższych ciśnień, tj. 7 MPa i 14 MPa. A zatem, obecność srebrnych drutów sprzyja stabilizacji procesu spalania w wyższych ciśnieniach, a co za tym idzie - zmniejsza podatność ładunku paliwa na fluktuacje szybkości spalania przy zmianach (fluktuacjach) ciśnienia produktów spalania, natomiast obecność drutów obniża stabilność procesu spalania w niskich ciśnieniach.

Ponadto, w opisie patentowym [12] podano wartości wykładnika potęgowego we wzorze na szybkość spalania (w zależności od ciśnienia) paliwa na bazie nadchloranu amonu (58,9% cz. wag) polichlorku winylu (8,62% cz. wag.), adypinianu dioktylu (10,79% cz. wag.) i proszku glinowego (5 μ m) (21,1% cz. wag.), zaelaborowanego srebrnym drutem o średnicy 0,175 mm, oraz bez drutu, przy ciśnieniu produktów spalania (ciśnieniu pracy silnika raketowego) wynoszącym ok. 0,7 MPa, 3,5 MPa, 7 MPa oraz 14 MPa. W przypadku ładunku paliwa raketowego bez drutu, wykładnik ten wynosił 0,38 dla wszystkich ww. ciśnień. W przypadku ładunków paliwa raketowego z inkorporowanymi srebrnymi drutami o średnicy 0,175 mm wykładnik ten wynosił 0,49 dla ciśnienia 3,5 MPa, 7 MPa i 14 MPa.

A zatem obecność drutów ze srebra generalnie spowodowała podwyższenie

pressures 0.7 MPa, 7 MPa and 14 MPa. In the case of rocket propellant charges with embedded silver wires of 0.125 mm diameter the exponent was 0.95 at 0.7 MPa and 0.42 at 7 MPa and 14 MPa. In the case of rocket propellant charges with incorporated silver wires of 0.175 mm diameter the exponent was 0.65 at 0.7 MPa, 0.27 at 7 MPa and 0.22 at 14 MPa. So generally, the presence of silver wires has led to an increase of the exponent of power in the range of low pressures ca. 1 MPa and reduction of the exponent of power for higher pressures i.e. 7 MPa and 14 MPa. It means that the presence of silver wires is beneficial for stabilisation of the burning process at higher pressures, as it reduces the sensibility of the propellant charge against the fluctuation of burning velocities at changes (fluctuations) of burning products pressure, whereas the presence of wires reduces the stability of burning process for low pressures.

Moreover in the patent description [12] the values of exponent of power are given for the burning rate formulae (depending on pressure) of the propellant based on ammonium perchlorate (58.9% of weight), vinyl poly-chloride (8.62% of weight), dioctyl adipinian (10.79% of weight) and aluminium powder (5 μ m) (21.1% of weight) filled with the silver wire of 0.175 mm diameter, and without the wire, at the pressures of burning products (rocket motor operation pressure) equal to ca. 0.7 MPa, 3.5 MPa, 7 MPa and 14 MPa. In the case of the rocket propellant charge without the wire the exponent was 0.38 for all pressures listed above. In the case of rocket propellant charges with incorporated silver wires of 0.175 mm diameter the exponent was 0.49 for the pressure of 3.5 MPa, 7 MPa and 14 MPa.

Then the presence of silver wires has caused, in general, the increase of the exponent of the power in the propellant charge burning law, and in any case was not beneficial for the stabilisation of burning process, or in other words increased the susceptibility of the propellant charge against fluctuations of burning rate

wykładnika potęgowego w prawie spalania ładunku paliwa, czyli nie sprzyjała stabilizacji procesu spalania, a co za tym idzie – zwiększała podatność ładunku paliwa na fluktuacje szybkości spalania przy zmianach (fluktuacjach) ciśnienia produktów spalania.

Z kolei w opisie patentowym [13] podano wartości wykładnika we wzorze na szybkość spalania paliwa dla ciśnienia produktów spalania wynoszącego 7 MPa, w zależności od metalu, z którego wykonano drut i jego średnicy. Badano wpływ drutów miedzianych, srebrnych, wolframowych i molibdenowych posiadających średnice z zakresu od 0,0254 mm do 0,254 mm.

W przypadku paliwa zaelaborowanego drutem o średnicy 0,0254mm – miedzianym, srebrnym lub wolframowym, wartość wykładnika mieściła się w zakresie od 0,75 do 0,87, czyli była prawie dwukrotnie większa niż wartość wykładnika dla paliwa bez wprowadzonego weń drutu (0,43-0,46).

Dla średnicy drutów (wykonanych z czterech ww. metali) w zakresie od 0,127 mm do 0,254 mm wprowadzonych do paliwa raketowego, wartość wykładnika mieściła się w zakresie od ok. 0,2 do 0,40, czyli była mniejsza od wartości wykładnika dla paliwa bez drutów.

Wpływ dyfuzyjności cieplnej i temperatury topnienia drutów na szybkość spalania ładunków paliw raketowych oraz na wykładnik występujący w prawie spalania najbardziej wyczerpująco i metodycznie przedstawiono w opisie patentowym [13]. Badania przeprowadzono przy ustalonym ciśnieniu produktów spalania, wynoszącym 7 MPa, dla paliwa raketowego zawierającego 74,63% cz. wag. nadchloranu amonu, 12,44% cz. wag. chlorku poliwinylowego, 12,44% cz. wag. sebacynianu dibutyloвого. Szybkość spalania samego paliwa raketowego (bez drutu) w ww. warunkach wynosiła 12,7 mm/s. W temp. 650°C najwyższą dyfuzyjność cieplną posiada srebro (1,23 cm²/s), mniejszą glin (0,94 cm²/s), zbliżoną do glinu dyfuzyjność cieplną posiada miedź (0,90 cm²/s), wyraźnie mniejszą wolfram

at changes (fluctuations) of the burning product pressure.

Further in description of patent [13] is given a value of the exponent in the propellant burning formulae for the combustion burning pressure of 7 MPa, depending on the metal, the wire is made from, and its diameter. The influence of copper, silver, tungsten and molybdenum wires has been investigated for diameters between 0.0254 mm to 0.254 mm. In case of the propellant filled with copper, silver or tungsten wires of 0.0254 mm diameter the value of the exponent was in the range 0.75 to 0.87 what means that it was almost two times greater than the value of the exponent for the propellant without any wires (0.43-0.46).

For the wires, (made of four above mentioned metals) having diameters between 0.127 mm and 0.254 mm, incorporated to the rocket propellant, the value of the exponent was in the range of ca. 0.2 to 0.40 what means that it was lower than the exponent value for propellant without wires.

The impact of thermal diffusivity and melting temperature of the wires on the rate of burning of rocket propellant charges and on the exponent existing in the law of burning has been presented in the most comprehensive and methodical way in the patent description [13]. Tests were carried out at a settled pressure of burning products, that was equal 7 MPa, for a rocket propellant consisting of weighed 74.63% of ammonium perchloride, 12.44% of polyvinyl chloride and 12.44% of dibutylene seba-cyanide. The burning velocity of the propellant itself (without wire) in the above mentioned conditions was 12.7 mm/s. In temperature 650°C the highest diffusivity has silver (1.23 cm²/s), aluminium has the smaller (0.94 cm²/s), copper has similar diffusivity to aluminium (0.90 cm²/s), tungsten has significantly less one (0.67 cm²/s), magnesium has thermal diffusivity similar to tungsten (0.66 cm²/s), platinum has considerably less thermal diffusivity (0.35 cm²/s) and steel has the smallest one (0.064 cm²/s). Melting

($0,67 \text{ cm}^2/\text{s}$), zbliżoną do wolframu dyfuzyjność cieplną posiada magnez ($0,66 \text{ cm}^2/\text{s}$), znacznie niższą dyfuzyjność cieplną ma platyna ($0,35 \text{ cm}^2/\text{s}$), zaś najniższą stal ($0,064 \text{ cm}^2/\text{s}$). Temperatura topnienia ww. metali od największej do najmniejszej jest następująca: wolfram (3370°C), platyna (1755°C), stal (1460°C), miedź (1083°C), srebro (960°C), glin (660°C) i magnez (651°C). Najwyższy wzrost szybkości spalania, wynoszący 5,3, wyrażony stosunkiem szybkości spalania ładunku paliwa raketowego z zaelaborowanym drutem do szybkości spalania ładunku samego paliwa raketowego (bez drutu), występuje, gdy paliwo zaelaborowane jest drutem srebrnym. Kolejno, wzrosty szybkości spalania ładunków paliw raketowych w przypadku zastosowania drutów wykonanych z innych metali są następujące: 4,6 (drut miedziany), 3,6 (drut wolframowy), 2,9 (drut platynowy), 2,3 (drut glinowy), 1,9 (drut magnezowy) i 1,6 (drut stalowy).

Z powyższych danych można wywnioskować, że istotny wpływ na wzrost szybkości spalania paliwa ma dyfuzyjność cieplna i temperatura topnienia metalu, z którego wykonany jest drut. Im wyższa jest dyfuzyjność cieplna drutu i jego temperatura topnienia, tym wyższy jest wzrost szybkości spalania paliwa wzdłuż drutu. Potwierdza to porównanie temperatury topnienia miedzi i glinu oraz wpływ tej temperatury na wzrost szybkości spalania paliwa. Glin ma znacznie mniejszą temperaturę topnienia niż miedź i mimo, iż metale te mają zbliżoną dyfuzyjność cieplną, to dzięki temu, że miedź ma prawie dwukrotnie wyższą temperaturę topnienia, wzrost szybkości spalania paliwa zaelaborowanego drutem miedzianym (wynoszący 4,6) jest dwukrotnie wyższy niż wzrost szybkości spalania paliwa z drutem glinowym (wynoszący 2,3). Podobna sytuacja występuje podczas porównania wpływu na szybkość spalania paliwa temperatur topnienia innej pary metali, tj. wolframu i magnezu, mających podobną dyfuzyjność cieplną, wynoszącą odpowiednio $0,67 \text{ cm}^2/\text{s}$ i $0,66 \text{ cm}^2/\text{s}$. Ze względu na znacznie wyższą temperaturę topnienia wolframu (3370°C) niż

temperatures for the above metals in decreasing order are following: tungsten (3370°C), platinum (1755°C), steel (1460°C), copper (1083°C), silver (960°C), aluminium (660°C) and magnesium (651°C). The highest boost on the combustion rate, equal to 5.3, that is expressed by the ratio of burning velocity of rocket propellant charge filled with wire to the burning velocity of rocket mere propellant charge (without wire), takes place when the propellant is filled with the silver wire. Next rates of boosting the burning velocity of rocket propellant charges in cases when the wires made from other metals are used are following: 4.6 (copper wire), 3.6 (tungsten wire), 2.9 (platinum wire), 2.3 (aluminium wire), 1.9 (magnesium wire) and 1.6 (steel wire). The above data indicates that the thermal diffusivity and melting temperature of the metal, the wire is made from, has a significant influence on the propellant burning velocity. The higher thermal diffusivity and melting temperatures of the wire are, the greater increase of the propellant burning velocity along the wire is. It is confirmed by the comparison of melting temperatures for copper and aluminium and impact of these temperatures on the increase of propellant burning velocity. Aluminium has significantly smaller melting temperature than copper, and in spite of the fact that these metals have similar levels of thermal diffusivity, it is thanks to almost two times greater melting temperature of the copper that the increase of burning velocity of propellant with incorporated copper wire (equal to 4.6) is two times greater than the boost of burning velocity for the propellant with aluminium wire (equal to 2.3). The similar situation happens when another pair of metals is compared at assessment of the influence, the melting temperatures have onto the propellant burning velocity i.e. tungsten and magnesium possessing comparable thermal diffusivities equal respectively to $0.67 \text{ cm}^2/\text{s}$ and $0.66 \text{ cm}^2/\text{s}$. As tungsten melting temperature (3370°C) is significantly greater than for magnesium

magnezu (651°C), wzrost szybkości spalania paliwa zaelaborowanego drutem wolframowym jest prawie 2 krotnie wyższy niż w przypadku spalania paliwa o tym samym składzie, zaelaborowanym drutem magnezowym. Wzrost szybkości spalania ładunku paliwa raketowego, w przypadku zastosowania drutu wolframowego i magnezowego wynosi odpowiednio 3,6 i 1,9.

3. Podsumowanie i wnioski

Cel pracy został zrealizowany. Badania patentowe wykazały, że w ramach fizycznych sposobów zwiększania szybkości spalania ładunków typu „end-burning”, bardzo skutecznym i najprostszym sposobem jest zastosowanie drutów o wysokiej dyfuzyjności (przewodności) cieplnej, zazwyczaj wykonanych ze srebra, usytuowanych w osi ładunku i/lub równoległe do niej.

Generalnie, w opisach patentowych podaje się stosunkowo mało informacji na temat sposobów wprowadzania drutów do ładunków paliw raketowych. Opisy patentowe zawierają znacznie więcej danych na temat charakterystyk geometrycznych i materiałowych drutów oraz ich wpływu na parametry spalania ładunków paliw raketowych, zwłaszcza na szybkość spalania i wykładnik potęgowy podany we wzorze na szybkość spalania w zależności od ciśnienia produktów spalania.

Decydujący wpływ na wzrost szybkości spalania ładunków paliw raketowych zaelaborowanych drutami mają geometryczne i materiałowe charakterystyki drutów, zwłaszcza średnica, dyfuzyjność cieplna i temperatura topnienia. Wraz ze wzrostem dyfuzyjności cieplnej i temperatury topnienia drutów wzrasta szybkość spalania ładunków paliw raketowych.

Maksymalny wzrost szybkości spalania ładunku paliwa wywołany obecnością drutu wynosi ok. 5. Występuje on w przypadku zastosowaniu drutów srebrnych.

W przypadku inkorporacji do ładunku paliwa raketowego pojedynczych, srebrnych drutów, biorąc pod uwagę wpływ ich średnicy na wytrzymałość na rozciąganie oraz na szybkość spalania, średnica ta powinna być większa niż 0,1 mm i nie przekraczać 0,2 mm.

(651°C) then the increase of burning velocity for the propellant filled with tungsten wire is almost two times greater than in the case of burning the propellant of the same composition but filled with the magnesium wire. The increase of burning velocity of the rocket propellant charge when the tungsten and magnesium wires are used equals respectively to 3.6 and 1.9.

3. Summing up and conclusions

The goal of the work has been achieved. Scrutiny of patents has proved that the application of wires with high thermal diffusivity (conductivity), usually made of silver and placed in the axis of the charge or parallel to it, is one of very effective and simple physical ways of boosting the burning velocity of charges.

In general there is a relatively limited amount of information about methods for incorporation of wires into rocket propellant charges. Descriptions of patents usually include more information on geometrical and material characteristics of wires and their influence on rocket propellant charge burning parameters, especially on the velocity of burning and the exponent of the power in the formulae for burning velocity depending on the pressure of burning products.

Geometrical and material characteristics of wires, especially diameter, thermal diffusivity (conductivity) and melting temperature, have deciding influence on the burning velocity of rocket propellant charges filled with wires. Along with the increase of thermal diffusivity and melting temperature of wires the rocket propellant charge burning rate also increases.

The maximal increase of burning velocity of a propellant charge, caused by the presence of the wire, is ca. 5 times. It happens when the silver wires are deployed.

In case of implementation of single silver wires for a rocket propellant charge, and taking into account the influence of their diameter on the tensile resistance and the burning rate, this diameter has to be larger than 0.1 mm and not greater than 0.2 mm.

Literatura / Literature

- [1] Czulkow A. Z., Skworcow I. D., Szur M. S., *Авиационные и ракетные двигатели – часть 1 – Процессы горения топлив в ракетных двигателях твердого топлива*, Wsesojuznyj Institut Naucznoj i Techniczeskoj Informacii (WINITI), Moskwa 1974, str. 88-103
- [2] Okamoto S., Okamoto H., Fukuma D., *Fixing wiring material in slurried propellant*, Opis patentowy JPS 5578143, 1978 (zgłoszony z datą pierwszeństwa w Japonii w 1978r.)
- [3] Olliff M. T., Jr, *Method of obtaining unidirectional orientation of monofilaments in curable elastomeric materials*, Opis patentowy US 3413384, 1968 (zgłoszony z datą pierwszeństwa w USA w 1967r.)
- [4] Pastol R.B, Caire-Maurisier M., Desormeaux Ch., *Solid propellant blocks*, Opis patentowy GB 2233430, 1991 (zgłoszony z datą pierwszeństwa we Francji w 1983r.)
- [5] Desormeaux Ch., Mespouledé R., *Solid propellant blocks*, Opis patentowy GB 2233745, 1991 (zgłoszony z datą pierwszeństwa we Francji w 1983r.)
- [6] Rumbel K.E., *Monopropellant grains*, Opis patentowy US 3128706, 1964 (zgłoszony z datą pierwszeństwa w USA w 1959r.)
- [7] *Rocket motor*, Opis patentowy GB 972724, 1964, (zgłoszony z datą pierwszeństwa w USA w 1961r.)
- [8] Okamoto H., Fukuma D., Opis patentowy US 4396710, *End-burning gas-generating composition grain containing intertwisted wires*, 1983 (zgłoszony z datą pierwszeństwa w Japonii w 1980r.)
- [9] Lawrence R.W., Opis patentowy US 3793097, *Method of increasing propellant burning rate by the use of high conductive wires*, 1974, (zgłoszony z datą pierwszeństwa w USA w 1964r.)
- [10] Rumbel K.E., Cohen M., Opis patentowy US 3109374, *Propellant grains*, 1963 (zgłoszony z datą pierwszeństwa w USA w 1956r.)
- [11] O'Donnell T.J., Opis patentowy US 3107620, *Propellant grains*, 1963 (zgłoszony z datą pierwszeństwa w USA w 1959r.)
- [12] Rice M.L., Burton J.M., Shaver R.G., Opis patentowy US 3509822, *Propellant grains*, 1970 (zgłoszony z datą pierwszeństwa w USA w 1960r.)
- [13] Rumbel K.E., Cohen M., Nugent R.G., Scurlock A.C., O'Donnell T.J, Opis patentowy GB 994184, *Improvements in or relating to propellant grains*, 1965 (zgłoszony z datą pierwszeństwa w USA w 1961r.)
- [14] Florczak B., Wolszakiewicz T., Gawor T., *Badanie homogenicznego stałego paliwa raketowego zawierającego dodatki modyfikujące szybkość spalania*, Problemy Techniki Uzbrojenia 3/2007, str. 129-136.



BADANIA EKSPLOATACYJNE BATERII TERMICZNYCH KONSTRUOWANYCH I PRODUKOWANYCH W POLSCE

FUNCTIONAL TESTS OF THERMAL BATTERIES CONSTRUCTED AND PRODUCED IN POLAND

Sławomir STYCZYŃSKI, Bożena RYDZYŃSKA, Włodzimierz MAJCHRZYCKI,
Maciej KOPCZYK

Instytut Metali Nieżelaznych, Oddział w Poznaniu, Centralne Laboratorium Akumulatorów i Ogniw
Division of Institute of Non-ferrous Metals in Poznań, Central Laboratory of Batteries and Cells

Streszczenie: W artykule przedstawiono wyniki badań baterii termicznych, stosowanych, jako źródło zasilania broni raketowej i amunicji precyzyjnego rażenia. Badane baterie wykonane były w Instytucie Metali Nieżelaznych Oddział w Poznaniu Centralnego Laboratorium Akumulatorów i Ogniw według zasad dwóch różnych technologii: nasycanej i proszkowej. Przedstawiono wyniki badań elektrycznych, baterii wytworzonych w technologii nasycanej, otrzymane krótko po ich wyprodukowaniu oraz po wieloletnim okresie przechowywania. Wyniki badań jednoznacznie wskazują, że baterie zachowują wymagane parametry eksploatacyjne dłużej niż deklarowany okres gwarancji. Zaprezentowano też wyniki badań baterii o nowej konstrukcji, opartych o układy elektrochemiczne LiAl/FeS_2 i LiSi/FeS_2 stanowiących zamienniki baterii produkowanych w oparciu o technologię nasycaną. Przedstawiono także wyniki badań elektrycznych baterii bazujących na technologii proszkowej i stanowiących propozycje nowych zastosowań. Otrzymane wyniki wykazały, że technologia proszkowa umożliwia nie tylko uzyskanie wyrobów w pełni zastępujących baterie bazujące na technologii nasycanej, ale pozwala na konstruowanie szerokiej gamy nowych baterii o wyższych parametrach eksploatacyjnych.

Słowa kluczowe: baterie termiczne, broń raketowa, amunicja inteligentna

1. Wstęp

Amunicja inteligentna, broń raketowa, torpedy, które stanowią o potencjale precyzyjnego rażenia, to urządzenia wymagające niezawodnego i stabilnego, a często również bezobsługowego zasilania elektrycznego dającego gwarancję skuteczności nawet po wieloletnim składowaniu. Do tego typu urządzeń idealnym

Abstract: The paper presents some results of tests on thermal batteries used as power source of rocketed weapon and precision guided munitions. Tested batteries were made in Poznań Division of Institute of Non-ferrous Metals of Central Laboratory of Batteries and Cells according to two different technologies: impregnated and powdered. The paper shows results of electric tests for batteries produced by impregnated technology, received shortly after their manufacture and after many years of storage. It was found that batteries have maintained required operating parameters even longer than for the guaranteed period. The paper also presents electric test results for batteries of a new design, based on LiAl/FeS_2 and LiSi/FeS_2 electrochemical systems, which are a replacement for batteries based on impregnated technology. Moreover the paper presents electrical test results for batteries based on a powder technology that offers some perspective applications. Received results indicate that the powder technology secures not only the fabrication of products which completely replace the batteries based on impregnated technology but also the design of a wide range of new batteries with higher operating parameters.

Keywords: thermal batteries, rocket weapon, smart ammunition

1. Introduction

Smart ammunition, missiles and rockets, and torpedoes decide about the effectiveness of precise strikes and require a reliable and stable, and often unmanned, source of electric supply that has to be efficient even after long term storage. Thermal batteries are usually used as a suitable source of electric energy for

i najczęściej stosowanym źródłem energii elektrycznej są baterie termiczne. Prócz wysokiej, wieloletniej niezawodności i bezobsługowości ich istotnymi cechami eksploatacyjnymi są: wysoka gęstość mocy, dobra odporność mechaniczna i klimatyczna, stosunkowo krótki czas pracy wynoszący od ułamków sekundy do kilkunastu minut, brak napięcia na biegunach baterii w czasie składowania, co stanowi dodatkowe zabezpieczenie zasilanych urządzeń przed przypadkowym uruchomieniem i jednoczesna zdolność do natychmiastowej aktywacji w wyniku świadomie zadanego przez operatora impulsu aktywującego. Baterię termiczną aktywować można na kilka sposobów: mechanicznie – w wyniku uderzenia iglicy w spłonkę udarową baterii lub w wyniku nagłego przyspieszenia w momencie wystrzału pocisku, impulsem elektrycznym o określonych parametrach lub za pomocą impulsu laserowego. Jedną z najważniejszych cech baterii termicznych jest to, że są one prawie zawsze konstruowane pod kątem zasilania konkretnego typu odbiornika o określonej charakterystyce zapotrzebowania na energię elektryczną [1,2,3,4].

Baterie tego typu produkowane są przez nielicznych producentów na świecie, a dostawy tego podzespołu mają charakter krytyczny dla producentów uzbrojenia raketowego i amunicji precyzyjnego rażenia, a w konsekwencji także dla obronności państw. Jednym z ośrodków samodzielnie konstruujących i produkujących baterie termiczne jest poznański oddział Instytutu Metali Nieżelaznych czyli Centralne Laboratorium Akumulatorów i Ogniów (IMN CLAiO). W niniejszym artykule przybliżono parametry eksploatacyjne wybranych typów baterii termicznych pochodzących z tego jedyne w Europie środkowej ośrodka zajmującego się tą tematyką.

2. Baterie termiczne produkowane w kraju

Baterie termiczne produkowane są w dwóch technologiach. Pierwotną jest tzw. technologia nasycana, w której katody i elektrolity ogniów wytwarzane są w procesie nasycania nośników substancjami aktywnymi a następnie wykrawania odpowiednich kształtek; w przypadku katod są

the mentioned types of equipment. They are characterised not only by a high and long term reliability, and lack of maintenance, but also by the high density of power, good climatic and mechanical resistance, relatively short time of operation between fragments of a second to dozen minutes, lack of voltage on battery terminals at storing, what is an additional protection for powered equipment against any casual switching on, and in the same time the readiness for an immediate activation through an activating pulse that is intentionally triggered by the operator. Thermal battery may be activated by many ways: mechanically – as the result of an impact of a striking pin into the firing primer of the battery or as the result of a sudden increase of acceleration in the moment when a projectile is fired, electrically by a pulse with specific parameters or by a laser pulse. One of the most important features of thermal batteries is that they are designed almost exclusively to meet the supplying demands of a specific type of receiver with determined parameters of electric energy consumption [1,2,3,4].

Such batteries are fabricated by a limited number of manufacturers in the world, and procurement of this unit is a critical issue for manufacturers of rockets, missiles and ammunition for precise strikes, and finally for defence of states. One of the centres where thermal batteries are independently designed and fabricated is the Poznań division of the Institute of Non-ferrous Metals also known as the Central Laboratory of Batteries and Cells (INM – CLBC). The paper describes some functional parameters of selected types of thermal batteries supplied by the alone manufacturer of such category of products in Central Europe.

2. Thermal batteries manufactured in country

Thermal batteries are manufactured in two technologies. The impregnated technology is a primary one in which the cathodes and electrolytes of cells are fabricated in the process where the active agents impregnate the substrata from which the suitable shapes are cut out. In case of cathodes as the agents

to np. CaCrO_4 , $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ czy PbSO_4 , a w przypadku elektrolitu mieszaniny chlorowców metali alkalicznych. Natomiast anody uzyskuje się na drodze obróbki mechanicznej metali aktywnych takich jak wapń czy magnez. Przykładami konstrukcji opracowanych w tej technologii są baterie typu BTR-03 i BTR-05 (skrót BTR oznacza baterię termiczną rezerwową) opisane w dalszej części tego artykułu. Bardziej zaawansowaną technologią wytwarzania baterii termicznych jest technologia proszkowa, w której podstawowe elementy (anody, katody, elektrolity i elementy grzejne) uzyskuje się na drodze prasowania odpowiednich materiałów proszkowych.

Materiałami aktywnymi stosowanymi w tego typu rozwiązaniach są: FeS_2 , FeS (katoda); Li(M) , LiAl , LiSi (anoda); LiCl , KCl , LiF , KBr , LiBr (elektrolit); oraz układ Fe-KClO_4 w elemencie grzejnym [1,2,3,4,5]. Przykłady takich konstrukcji, wykonanych zgodnie z samodzielnie opracowaną technologią proszkową również opisano poniżej.

2.1. Baterie typu BTR-03 wykonane w technologii nasycanej

Baterie BTR-03 produkowane są seryjnie w IMN CLAiO od 1998 roku, to czas wystarczający, aby zweryfikować ich zdolność do pracy po długim okresie przechowywania. Początkowo czas gwarancji tych baterii wynosił 10,5 roku obecnie jest on wydłużony do 13 lat. W niniejszym artykule przedstawiono porównanie wyników badań elektrycznych świeżo wyprodukowanych baterii i baterii odzyskanych po wieloletnim przechowywaniu, zainstalowanych w Przenośnych Przeciwlotniczych Zestawach Rakietowych (PPZR) GROM. Na rysunku 1 przedstawiono krzywe wyładowania baterii świeżo wyprodukowanej oraz baterii badanej 14 lat po wyprodukowaniu.

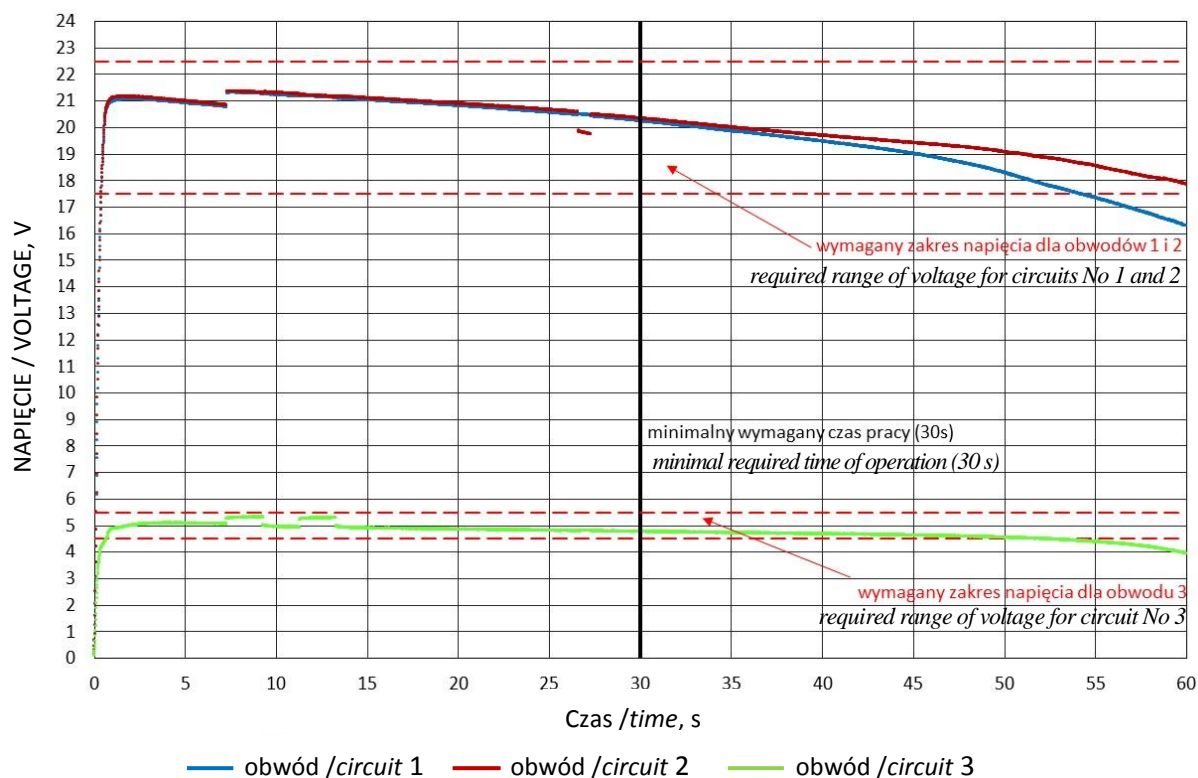
a)

are used e.g. CaCrO_4 , $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ or PbSO_4 , and in the case of electrolyte the mixtures of chlorides of alkali metals. Anodes are made through mechanical processing of active metals such as calcium or magnesium. The batteries of BTR-03 and BTR-05 (the abbreviation BTR stands for “Bateria Termiczna Rezerwowa” – Reserve Thermal Battery) types are the examples of designs developed in this technology and they are described further in the paper. A bit more advanced technology used for fabrication of thermal batteries is the powdered technology where the basic components (anodes, cathodes, electrolytes and heating elements) are received by pressing relevant powdered compositions.

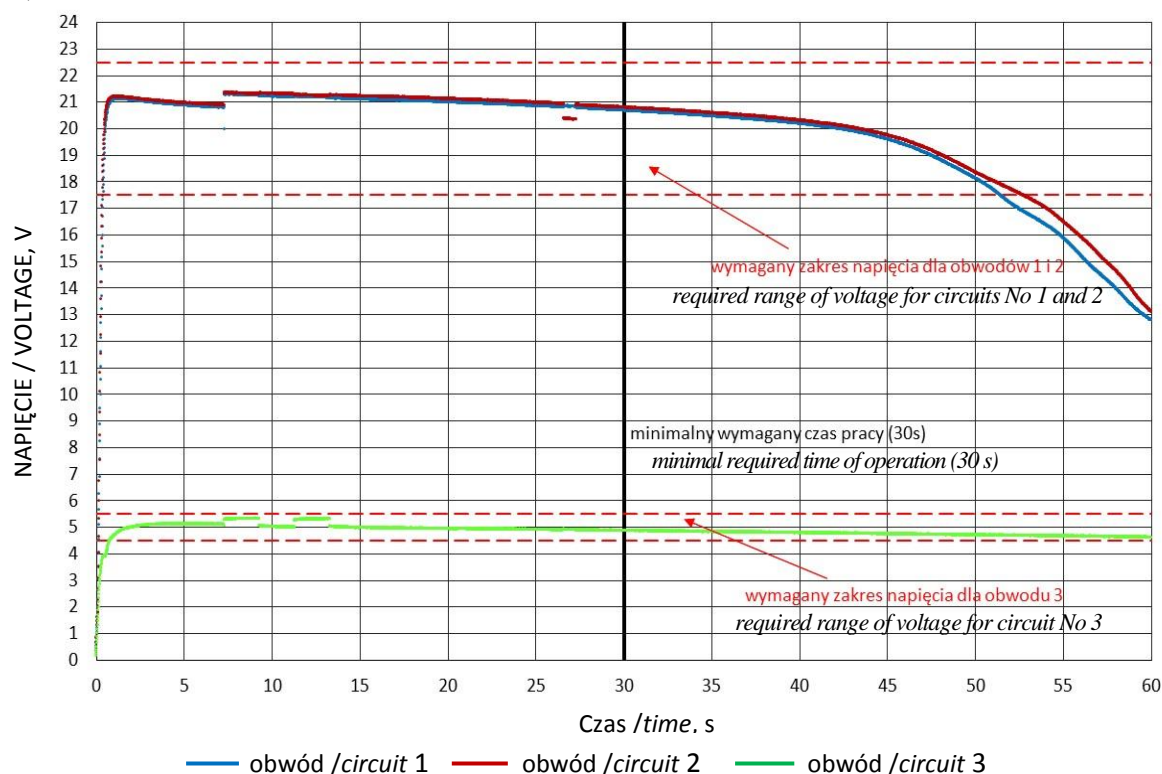
The active materials used for these types of solutions are: FeS_2 , FeS (cathode); Li(M) , LiAl , LiSi (anode); LiCl , KCl , LiF , KBr , LiBr (electrolyte); and Fe-KClO_4 in heating component [1,2,3,4,5]. Some examples of such designs prepared according to independently developed powdered technology are also described below.

2.1. Batteries of BTR-03 types developed in impregnated technology

As the batteries BTR-03 have been under the serial production in INM – CLBC since 1998, the amount of passed time gives a ground for the verification of their serviceability after long term storage. Initially the warranty time for the batteries was granted for 10.5 years and now it is extended to 13 years. In the paper a comparison is presented for the results of electric tests made on just fabricated batteries and the batteries recovered from the Antiaircraft Portable Missile System (APMS) GROM after long term storage. In figure 1 are presented the graphs of unloading for batteries that are newly manufactured and after 14 years of storing.



b)



Rys. 1. Krzywe wyładowania $U=f(t)$ baterii termicznych typu BTR-03 badanych w temperaturze -50°C ; a) bateria świeżo wyprodukowana, b) bateria badana 14 lat po wyprodukowaniu
Figure 1. Graphs $U=f(t)$ for unloading thermal batteries of BTR-03 type, tested in temperature of -50°C ; a) battery newly manufactured, b) battery after 14 years of storing

Tabela 1. Zestawienie wyników badań elektrycznych baterii termicznych BTR-03 uzyskanych

po wieloletnim przechowywaniu

Temperatura badania		-50°C			+50°C		
Liczność próbki		5			4		
Czas od wyprodukowania		Od 10 lat i 2 miesięcy do 14 lat i 2 miesięcy			Od 10 lat i 9 miesięcy do 13 lat i 1 miesiąca		
Parametry podstawowe							
parametr		wymaganie	uzyskane wyniki		wymaganie	uzyskane wyniki	
Czas aktywacji		max. 1,3 s	0,73÷0,90s		max. 1 s	0,57÷0,62s	
Czas pracy		min. 30 s	50,95÷54,59s		min. 30 s	57,10÷59,05s	
Napięcie w 30s	obw. 1	min. 17,5 V	20,512÷20,700V		min. 17,5 V	20,209÷20,480V	
	obw. 2	min. 17,5 V	20,375÷20,800V		min. 17,5 V	20,513÷20,720V	
	obw. 3	min. 4,5 V	4,59÷4,900V		min. 4,5 V	4,862÷4,925V	
Pozostałe parametry liczone do 30 s pracy baterii							
Obwód		1	2	3	1	2	3
Napięcie średnie		20,939÷ 21,162V	20,753÷ 20,909V	5,051÷ 5,072V	20,586÷ 20,772V	20,753÷ 20,909V	5,051÷ 5,072V
Natężenie średnie		2,163÷ 2,259A	2,197÷ 2,233A	1,083÷ 1,141A	2,102÷ 2,174A	2,187÷ 2,195A	1,104÷ 1,141A
Moc średnia		45,35 ÷47,80W	46,12 ÷47,39W	5,412 ÷5,736W	43,27 ÷45,15W	45,39 ÷45,88W	5,576 ÷5,796W
Pojemność elektryczna		63,95÷ 66,92As	65,01÷ 66,06As	31,63÷ 33,42As	62,37÷ 64,32As	64,87÷ 65,20As	32,49÷ 33,54As
Energia elektryczna		1341÷ 1412VAs	1365÷ 1412VAs	158,0÷ 167,9VAs	1284÷ 1336VAs	1346÷ 1359VAs	164,1÷ 170,4VAs

Table 1. Comparison of electric test results for thermal batteries BTR-03 after long term storage

Testing temperature		-50°C			+50°C		
Test population		5			4		
Time after manufacture		between 10 years and 2 months to 14 years and 2 months			between 10 years and 9 months to 13 years and 1 month		
Basic parameters							
Parameter		Specification	Test results		Specification	Test results	
Activation time		max. 1.3 s	0.73÷0.90s		max. 1 s	0.57÷0.62s	
Operation time		min. 30 s	50.95÷54.59s		min. 30 s	57.10÷59.05s	
Voltage in 30s	circ. 1	min. 17.5 V	20.512÷20.700V		min. 17.5 V	20.209÷20.480V	
	circ. 2	min. 17.5 V	20.375÷20.800V		min. 17.5 V	20.513÷20.720V	
	circ. 3	min. 4.5 V	4.59÷4.900V		min. 4.5 V	4.862÷4.925V	
Remaining parameters calculated to 30 s of battery operation							
Circuit		1	2	3	1	2	3
Average voltage		20.939÷ 21.162V	20.753÷ 20.909V	5.051÷ 5.072V	20.586÷ 20.772V	20.753÷ 20.909V	5.051÷ 5.072V
Average amperage		2.163÷ 2.259A	2.197÷ 2.233A	1.083÷ 1.141A	2.102÷ 2.174A	2.187÷ 2.195A	1.104÷ 1.141A
Average power		45.35 ÷47.80W	46.12 ÷47.39W	5.412 ÷5.736W	43.27 ÷45.15W	45.39 ÷45.88W	5.576 ÷5.796W
Electric capacity		63.95÷ 66.92As	65.01÷ 66.06As	31.63÷ 33.42As	62.37÷ 64.32As	64.87÷ 65.20As	32.49÷ 33.54As
Electric energy		1341÷ 1412VAs	1365÷ 1412VAs	158.0÷ 167.9VAs	1284÷ 1336VAs	1346÷ 1359VAs	164.1÷ 170.4VAs

Baterie wyładowywano stosując skoko-

The batteries were discharged by using

wo zmieniającą się rezystancję dla każdego z obwodów osobno. W obwodach 1 i 2 od 0 do 7 sekundy wartość rezystancji wynosiła $6,89 \Omega$, a od 7 sekundy do końca wyładowania $10,25 \Omega$, przy czym obwód 2 między 25,3 a 27 sekundą obciążono rezystancją 7Ω . Obwód 3 od 0 do 7 s wyładowywano przy obciążeniu $5,1 \Omega$, od 7 do 9 sekundy i od 11 do 13 sekundy przy obciążeniu $100 \text{ k}\Omega$, od 9 do 11 sekundy oraz od 13 sekundy do końca przy obciążeniu $3,5 \Omega$.

Bateria BTR-03 ma trzy obwody o nominalnych napięciach odpowiednio: 20 V, 20 V i 5 V; zatem każdej z baterii odpowiadają trzy krzywe wyładowania.

Przedstawione przykładowe wykresy pracy baterii otrzymano dla baterii schłodzonych do temperatury -50°C , stanowiącej dolną granicę zakresu temperatury eksploatacyjnej tych baterii. Maksymalna temperatura eksploatacji tych baterii ma wartość $+50^\circ\text{C}$. Analogiczne badania przeprowadzono dla szerszej grupy baterii w obu skrajnych temperaturach, uzyskane wyniki badań przedstawiono skrótowo w tabeli 1.

Zestawione w tabeli 1 wyniki pokazują, że baterie po długim przechowywaniu, przekraczającym okres gwarancji (w jednym przypadku dobiegającym końca), wykazują pełną zdolność eksploatacyjną spełniając wszystkie parametry z zadowalającym zapasem. Zebrane w dolnej części tabeli parametry elektryczne obliczone zostały dla minimalnego wymaganego czasu pracy baterii - do 30 s eksploatacji. Faktycznie osiągalne wielkości pojemności elektrycznej i energii są o około 50% wyższe [6,7,8].

2.2. Baterie wykonane w technologii proszkowej

Baterie BTR-03 stanowiące źródło prądu naziemnego bloku zasilania PPZR GROM są niezawodnym i pewnym wyrobem. Mimo to w ostatnich latach w IMN CLAiO, w ramach modernizacji wyrobu GROM, opracowano zamiennik tej baterii wykonany w nowocześniejszej technologii proszkowej – BTR-06.

separate resistances for each circuit and changing their values in steps. The value of resistance was 6.89Ω for circuits No 1 and 2 in time between 0 to 7 seconds, and later to the end of discharge it was 10.25Ω , and additionally the circuit No 2 in time between 25.3 a 27 second was charged by the resistance of 7Ω . The circuit No 3 was discharged from 0 s to 7 s by the load of 5.1Ω , and in time between 7 and 9 second, and 11 to 13 second at the load of $100 \text{ k}\Omega$, and from 9 s to 11 s and from 13 s to the end at the load of 3.5Ω .

The battery BTR-03 has three circuits at nominal voltages which equal respectively to: 20 V, 20 V and 5 V; then three unloading curves correspond to each battery.

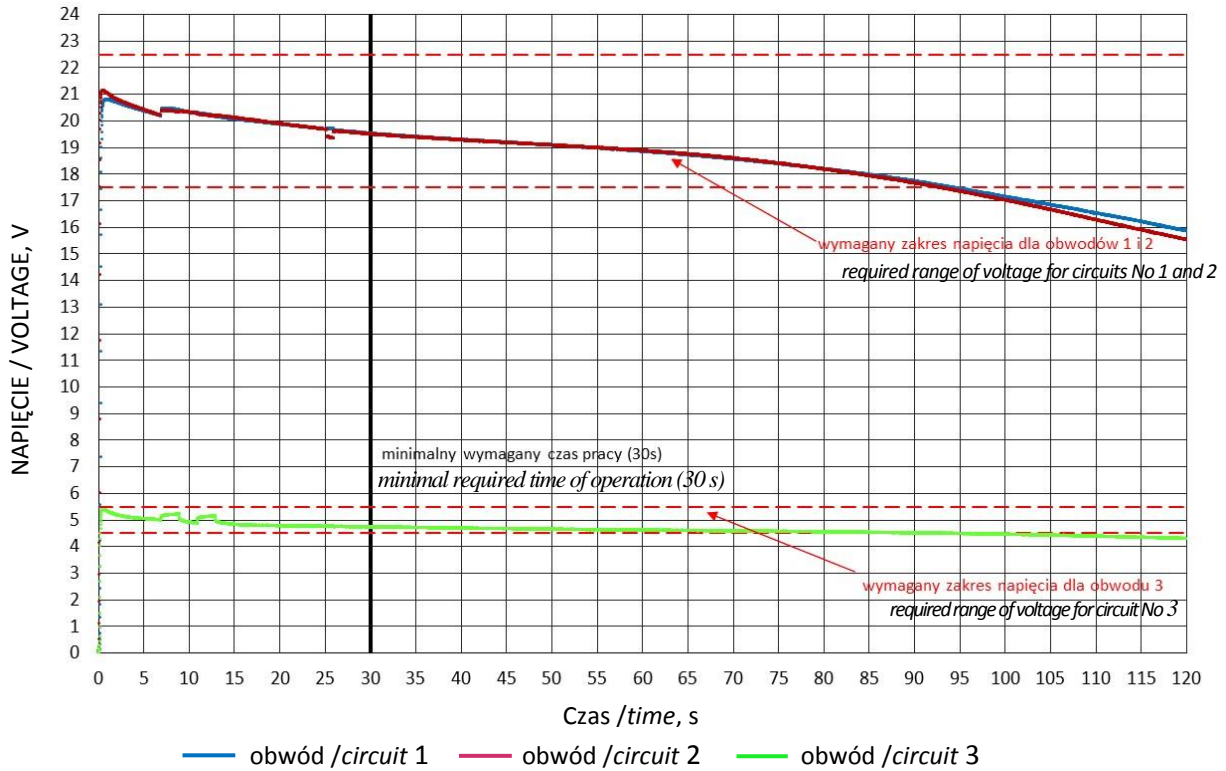
Presented examples of graphs, illustrating the operation of batteries, were received for the batteries cooled to temperature of -50°C which is the lower temperature limit of their operation. The maximal temperature of operation for these batteries is $+50^\circ\text{C}$. Similar tests have been carried out for the greater population of batteries in two extreme temperatures and obtained results of the tests are shortly presented in table 1.

The results presented in table 1 indicate that the batteries after long term storage, exceeding the warranty period (in one case approaching its expiration), are in full operational efficiency and meet all specifications with a safe margin. The electric parameters presented in the bottom part of the table were calculated within the minimal required time of battery operation, i.e. after 30 s. Actually achieved values for electric capacity and energy are ca. 50% higher [6,7,8].

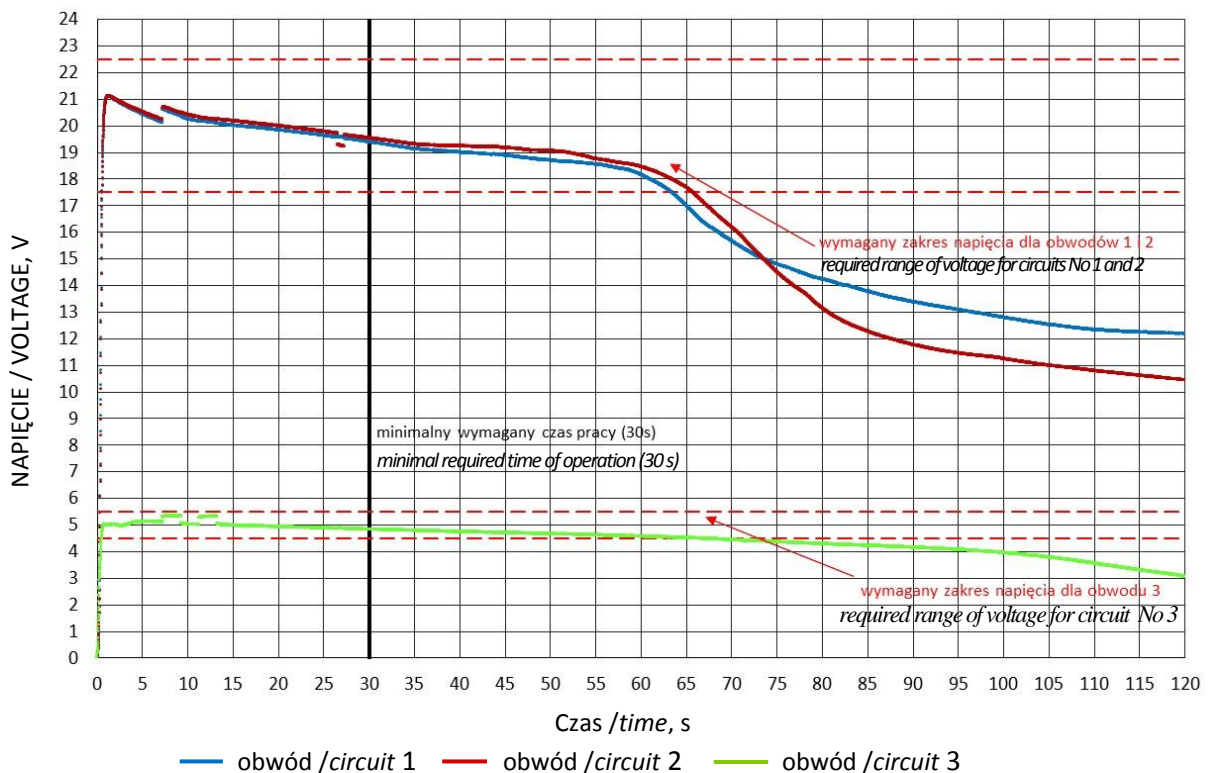
2.2. Batteries fabricated in powdered technology

BTR-03 batteries are used as reliable sources of electric current in APMS GROM for the ground power supply unit. In recent years the INM-CLBC has developed a new BTR-06 battery, performed in powdered technology, to replace these batteries in the frame of GROM upgrading.

a)



b)



Rys. 2. Krzywe wyładowania $U=f(t)$ baterii termicznych typu BTR-06;
 a) bateria badana w temperaturze +50°C, b) bateria badana w temperaturze -35°C

Figure 2. Discharging graphs $U=f(t)$ for BTR-06 thermal batteries;
 a) battery tested in temperature +50°C, b) battery tested in temperature -35°C

Bateria ta w stosunku do swojej poprzedniczki ma zmienione gabaryty - jest o 4 mm wyższa, a jej średnica jest o 12 mm mniejsza, w efekcie zredukowano objętość baterii o 35% a masę o około 20%.

Równoległe do baterii BTR-06 opracowano nową konstrukcję – baterię BTR-07, przeznaczoną do zasilania bloku sterowania rakiety GROM. W ramach tego opracowania wytworzono po jednej partii modelowej i po dwie partie prototypowe obu baterii, które pomyślnie przeszły testy kwalifikacyjne.

Na rys. 2 przedstawiono krzywe wyładowania dla dwóch baterii BTR-06 uzyskane w temperaturach $+50^{\circ}\text{C}$ i -35°C .

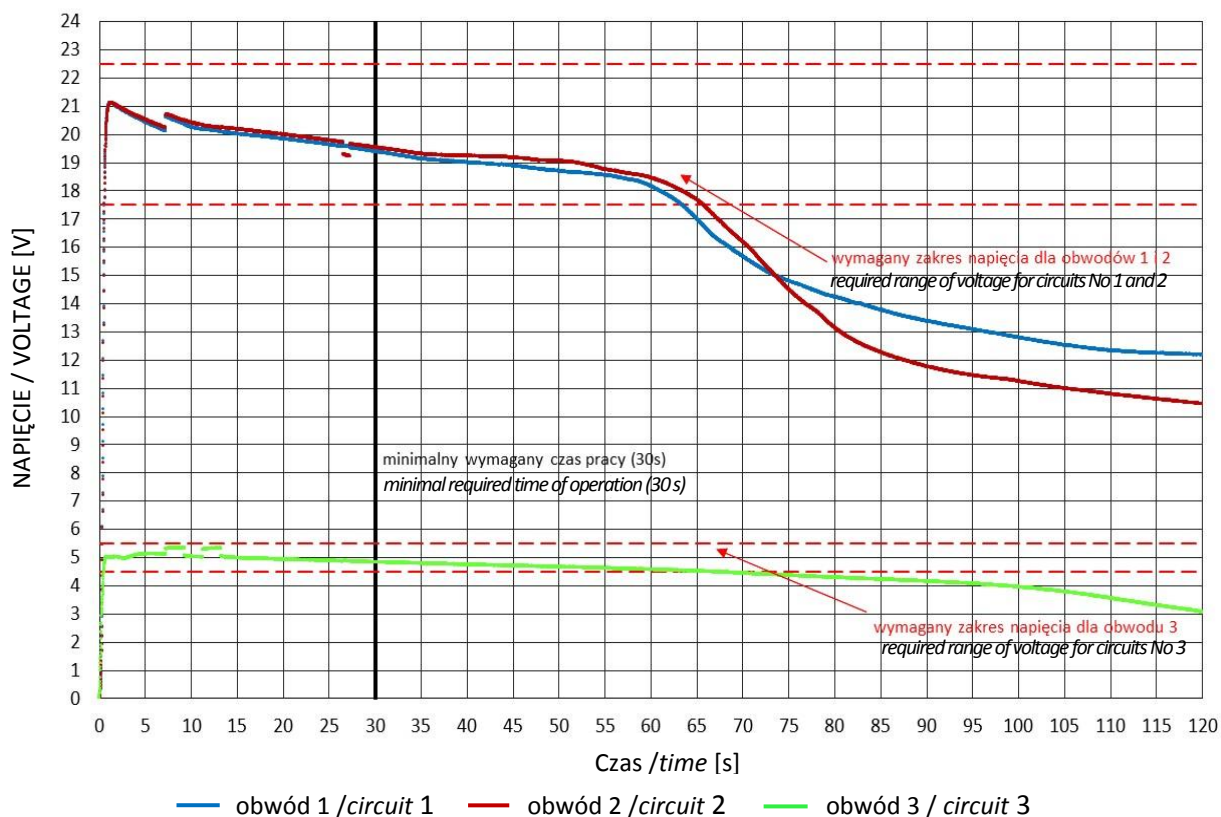
Przedstawione na rysunkach charakterystyki pracy baterii pozwalają stwierdzić, że baterie te spełniają wszystkie stawiane im wymagania, przy czym w stosunku do baterii BTR-03 wyraźnie wydłużył się czas pracy baterii.

The dimensions of this battery has been changed comparing to its predecessor – it is higher by 4 mm and the diameter is smaller by 12 mm what results in saving battery volume by 35% and weight by ca. 20%..

Yet another new design of BTR-07 battery has been developed together with BTR-06 battery to supply GROM missile control unit. In the frame of this development one model lot and two prototype lots were fabricated for each battery and they have passed the qualification tests successfully.

Figure 2 illustrates the discharging curves for two BTR-06 batteries received in temperatures $+50$ and -35°C .

Performances presented in these figures clearly indicate that the batteries successfully meet all requirements and their operational time has increased significantly comparing to BTR-03 battery.



Rys. 3. Krzywe wyładowania $U=f(t)$ baterii termicznej typu BTR-06 badanej w temperaturze -50°C

Figure 3. Discharging graphs $U=f(t)$ for BTR-06 thermal battery tested in temperature -50°C

Tabela 2a. Zestawienie wyników badań elektrycznych baterii termicznych BTR-06 uzyskanych w różnych warunkach temperaturowych (parametry podstawowe)

Table 2a. Comparison of electric test results for BTR-06 thermal batteries at various temperatures (basic characteristics)

Parametr Parameter	Temperatura badania / Testing temperature								
	-50°C			-35°C			+50°C		
Obwód/Circ.	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Czas aktyw. Activation time [s]	0,65	0,64	0,56	0,49	0,41	0,44	0,41	0,28	0,33
Czas pracy Operation time [s]	62,68	65,02	62,57	105,03	107,56	89,38	93,17	91,97	82,27
Napięcie w 30 s Voltage in 30 s [V]	19,37	19,517	4,819	19,414	19,392	4,722	19,504	19,488	4,702

Tabela 2b. Zestawienie wyników badań elektrycznych baterii termicznych BTR-06 uzyskanych w różnych warunkach temperaturowych (pozostałe parametry liczone do 30 s pracy baterii)

Table 2b. Comparison of electric test results for BTR-06 thermal batteries at various temperatures (remaining parameters calculated until 30 s of battery operation)

Parametr Parameter	Temperatura badania / Testing temperature								
	-50°C			-35°C			+50°C		
Obwód/Circ.	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Napięcie śred. Average volt. [V]	20,035	20,147	4,994	19,905	19,893	4,861	20,053	20,073	4,893
Natężenie śred. Average amper. [A]	2,012	2,024	1,074	2,115	2,097	1,088	2,134	2,122	1,096
Moc średnia Average power [W]	40,31	40,77	5,366	42,10	41,72	5,290	42,79	42,60	5,362
Pojemność el. Electric capac. [As]	59,08	59,44	31,64	62,44	62,08	32,18	63,16	63,10	32,52
Energia elektr. Electric energy [VAs]	1184	1198	158,0	1243	1235	156,4	1267	1267	159,1

Mimo, iż zgodnie z wymaganiami odbiorcy, dolną granicę zakresu temperatury eksploatacji baterii określono na poziomie -35°C , również w temperaturze -50°C utrzymuje ona wymagane parametry, co potwierdzają krzywe wyładowania przedstawione na rysunku 3.

Parametry eksploatacyjne tych baterii podano w tabelach 2a i 2b. Tryb wyładowania baterii BTR-06 był zgodny z trybem wyładowania przyjętym dla baterii BTR-03 (p. 2.1) [9].

Drugą z wymienionych baterii – BTR-07, to bateria jednoobwodowa o średnicy 31mm i wysokości 54mm, która aktywowana jest impulsem elektrycznym. Jest ona przewidziana do pracy w zakresie temperatury od -35°C do $+50^{\circ}\text{C}$ podczas narażeń mechanicznych takich jak udary i obroty. Zakładany tryb pracy dla tej baterii to obciążenie natężeniem 2,5 A z czterema impulsami prądowymi o wartości 4 A trwającymi 0,2 sekundy. Na rys. 4 przedstawiono krzywe wyładowania dwóch baterii, z których jedną poddano wyładowaniu w temperaturze -35°C stosując czterokrotnie udar o wartości 120 g w 5, 10, 15 i 20 sekundzie pracy baterii, a drugą w temperaturze $+50^{\circ}\text{C}$ podczas obrotów o częstotliwości 22 Hz, przy czym oś obrotu była przesunięta względem osi baterii o 10 mm. Charakter zastosowanych narażeń mechanicznych jest zgodny z zapisami w warunkach technicznych wyrobu.

W tabeli 3 zestawiono wyznaczone parametry pracy obu baterii. Widoczne na krzywych chwilowe obniżenia wartości napięcia są wynikiem zmian obciążenia (pików prądowych), narażenia mechaniczne w żaden sposób nie wpływają na pracę baterii. Przedstawione na rys. 4 krzywe wyładowania stanowią przykłady wyników uzyskanych podczas zastosowania wybranych konfiguracji warunków termicznych i narażeń mechanicznych. W praktyce baterie wykazują odporność na kombinacje warunków środowiskowych. [10]

2.3. Wstępny model baterii nowego typu oparty o technologię proszkową

Podobnie jak bateria BTR-03, również bateria BTR-05 stosowana w ćwiczebnych celach powietrznych typu SRCP-WR (Ste-

In spite of the customer's requirements for the battery bottom temperature limit on the level of -35°C it also performs well in temperature -50°C what is confirmed by discharging curves presented in figure 3.

The comparison of some service parameters of these batteries is given in tables 2a and 2b. The procedure of discharging for BTR-06 battery was the same as accepted for BTR-03 battery (chapter 2.1), [9].

The second mentioned battery – BTR-07 – is a one circuit type battery, with diameter 31mm and height 54mm, which has to be activated by an electric pulse. It is designed to operate in the range of temperatures -35°C to $+50^{\circ}\text{C}$ and withstand mechanical threats such as shocks and rotation. Assumed mode of operation for this battery takes the load of 2.5 A with four pulses of current at the level of 4 A and duration 0.2 s. Figure 4 includes the discharging curves of two batteries, where one of them has been discharged in temperature -35°C and subjected to four mechanical shocks of 120 g in 5, 10, 15 and 20 second of battery operation, and the second one has been discharged in temperature $+50^{\circ}\text{C}$ and subjected to rotation of 22 Hz rate where the axis of rotation has been shifted by 10 mm in reference to the battery axis. The character of applied mechanical threats complies with the article technical specifications.

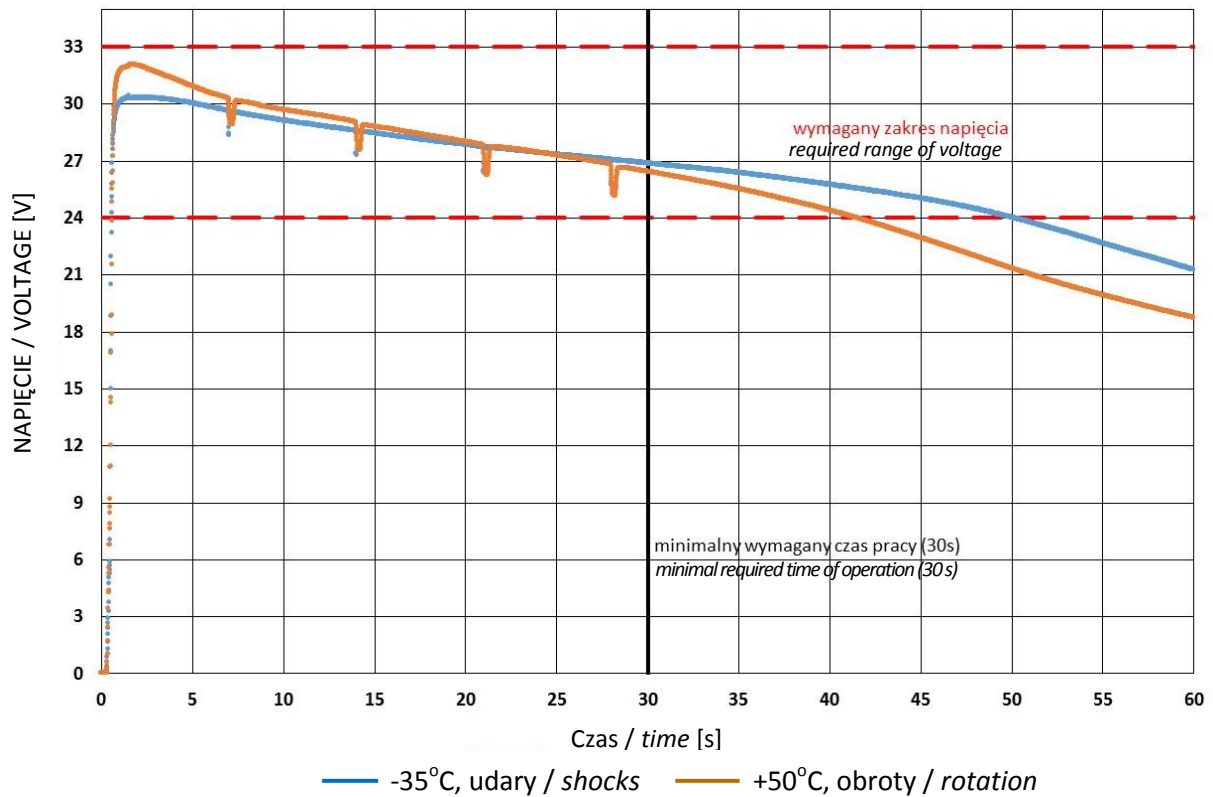
The measured characteristics of two batteries are presented in table 3. The momentary decreases of the voltage visible on the graphs are merely a result of changes in load (current pulses) and the mechanical expositions in any way do not affect the operation of the batteries. The discharging curves presented in figure 4 are the examples of results received at application of selected configurations of thermal conditions and mechanical expositions. In practice the batteries are resistant against any combinations of environmental conditions [10].

2.3. Initial model for new types of batteries based on powdered technology

It is similar as in the case of BTR-03 battery that also BTR-05 battery, used now in training aerial targets of SRCP-WR type (Sterowany

rowany Raketowy Cel Powietrzny – Wojska Raketowe) doczeka się w najbliższej przyszłości swojego zamiennika wykonanego w technologii proszkowej.

Raketowy Cel Powietrzny – Wojska Raketowe/ Controlled Aerial Target – the Rocket Troops), will be replaced in the near future by a battery made in powdered technology.



Rys. 4. Krzywe wyładowania $U=f(t)$ baterii termicznych typu BTR-07 badanych w skrajnych temperaturach eksploatacyjnych -35°C i $+50^{\circ}\text{C}$ oraz w trakcie narażeń mechanicznych
Figure 4. Discharging graphs $U=f(t)$ for thermal batteries BTR-07 tested in extreme service temperatures -35°C and $+50^{\circ}\text{C}$ and under mechanical expositions

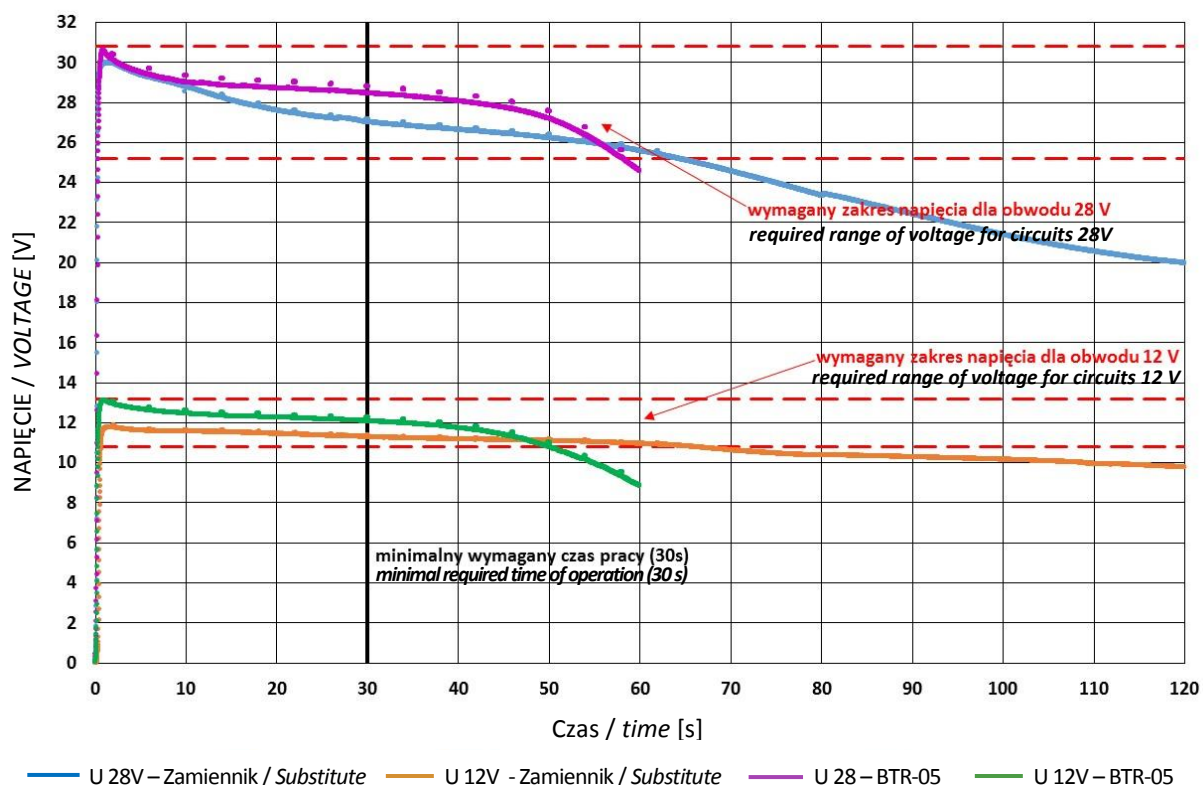
Tabela 3 Zestawienie wyników badań elektrycznych baterii termicznych BTR-07 uzyskanych w różnych warunkach pracy

Table 3. Comparison of electric test results for BTR-07 thermal batteries carried out at different conditions of operation

Wymagane parametry podstawowe Required basic parameters		Warunki pracy baterii/ Battery oper. conds.	
		-35°C , udary/ Shocks	$+50^{\circ}\text{C}$, obroty/ rotation
Czas aktywacji/ Activation time [s]	0,9	0,59	0,62
Czas pracy/ Operation time [s]	30	49,4	40,82
Napięcie minimalne w 30 s [V] Minimal voltage in 30 s	24	26,841	26,430
Pozostałe parametry liczone do 30 s pracy baterii/ Remaining parameters calculated to 30 s			
Napięcie średnie/ Average voltage [V]		27,347	27,872
Natężenie średnie/ Average amperage [A]		2,504	2,514
Moc średnia/ Average power [W]		68,46	70,07
Pojemność elektryczna/ Electric capacity [As]		73,65	73,88
Energia elektryczna/ Electric energy [VAs]		2014	2059

Przeprowadzono już pierwsze prace w tym kierunku. Wykonano dwa egzemplarze pierwszego modelu i przeprowadzono ich badania w skrajnych temperaturach eksploatacyjnych (-50°C i $+55^{\circ}\text{C}$). Wyniki tych badań, w formie krzywych wyładowania, w porównaniu z wynikami baterii BTR-05 przedstawiono na rysunkach 5 i 6.

Initial steps have been already taken in this direction. Two items of the first model have been fabricated and their tests in extreme temperature conditions (-50°C and $+55^{\circ}\text{C}$) have been carried out. Results of these tests in the form of discharging curves are presented in figures 5 and 6 in comparison with BTR-05 battery test results.



Rys. 5. Krzywe wyładowania $U=f(t)$ baterii termicznej typu BTR-05 oraz wstępnego modelu jej zamiennika, uzyskane w temperaturze $+55^{\circ}\text{C}$

Figure 5. Discharging plots $U=f(t)$ for BTR-05 thermal battery and an initial model of its substitute received in temperature $+55^{\circ}\text{C}$

Baterie te zbudowane są z dwóch obwodów o nominalnych napięciach 28 V i 12 V. Wymiary baterii typu BTR-05 to: $\varnothing 56 \text{ mm} \times h 62 \text{ mm}$, podczas gdy prezentowany w tym artykule model zamiennika jest wyraźnie mniejszy, jego wymiary to: $\varnothing 44 \text{ mm} \times h 66 \text{ mm}$. Tryb wyładowania baterii oparty jest o skokowo zmieniającą się wartość rezystancji, zgodnie z wymogami odbiorcy, w następujący sposób:

- obwód 28 V – 14 / 18,2 Ω ,
- obwód 12 V – 6 / 7,8 Ω .

Wyniki uzyskane w badaniach wstępnego modelu zamiennika baterii BTR-05 są bardzo obiecujące. W przypadku pomiaru wykona-

These batteries include two circuits with nominal voltages 28 V and 12 V. Dimensions of BTR-05 battery are following: $\varnothing 56 \text{ mm} \times h 62 \text{ mm}$ and the dimensions of the replacement presented in the paper are smaller and equal to: $\varnothing 44 \text{ mm} \times h 66 \text{ mm}$. The mode of battery discharge is based on the resistance that is changed in steps, according to the customer's demands, in following way:

- Circuit 28 V – 14 / 18.2 Ω
- Circuit 12 V – 6 / 7.8 Ω .

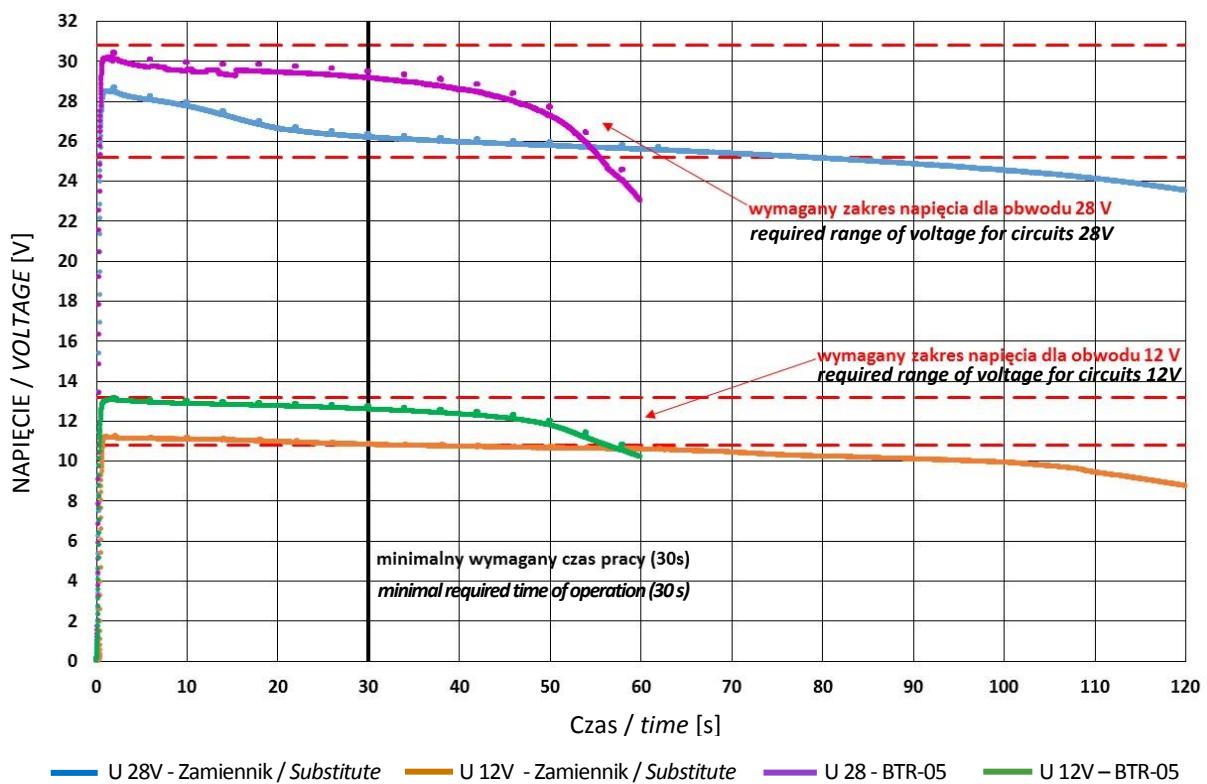
Results received at testing the initial model of BTR-05 battery replacement are very promising. In the case of the meas-

nego w temperaturze dodatniej (rys. 5) krzywe wyładowania mieszczą się w żądanym zakresie napięciowym z wystarczającym zapasem uzyskując dłuższe czasy pracy niż bateria BTR-05, choć na nieco niższym poziomie.

Natomiast egzemplarz badany w temperaturze ujemnej (rys. 6) wykazał w obwodzie dwunastowoltowym napięcie w dolnej granicy dopuszczalnego zakresu. Wyniki takie świadczą o konieczności dokonania niewielkich zmian konstrukcyjno-materiałowych mających na celu zmniejszenie stopnia nachylenia krzywej napięcia obwodu większego oraz podniesienie napięcia w obwodzie mniejszym.

Measurements taken in positive temperature (Figure 5) the curves of discharging are within the required limits of voltages with a secure margin and provide a longer time of operation than BTR-05 battery although on a bit lowered level.

The battery tested in negative temperature (Figure 6) showed the voltage around the down limit of the acceptable range for 12 V circuit. These results indicate that some design-material changes have to be introduced in order to get a bit flatter curve for the higher voltage circuit and a higher voltage value for the lower voltage circuit.



Rys. 6. Krzywe wyładowania $U=f(t)$ baterii termicznej typu BTR-05 oraz wstępno modelu jej zamiennika, uzyskane w temperaturze -50°C

Figure 6. Discharging plots $U=f(t)$ for BTR-05 thermal battery and an initial model of its substitute received in temperature -50°C

3. Podsumowanie

Jak wykazały badania przedstawione w p. 2.1 baterie termiczne typu BTR-03 są wyrobem niezawodnym i nie wykazującym oznak nadmiernego starzenia. Parametry elektryczne uzyskane w końcowej fazie okresu gwarancyjnego lub po jego upływie mieszczą się w przewidzianej normie eksploatacyjnej

3. Conclusions

The tests presented in chapter 2.1 have proved that thermal batteries BTR-03 are reliable and do not show any traces of excessive ageing. Electric parameters, measured in the final part of the warranty period or after its expiration, are in line with respective life cycle standards and they also secure

z zadowalającym zapasem. W populacji testowanych baterii najkrótszy czas pracy wyniósł około 50 sekund przy wymaganych 30 sekundach. Efekt taki jest wynikiem nie tylko właściwej konstrukcji wyrobu, ale również zachowania odpowiednich reżimów technologicznych.

Nowa technologia wytwarzania baterii termicznych oparta o materiały proszkowe, nowe układy elektrochemiczne (LiAl/FeS₂ i LiSi/FeS₂) i nowy układ grzejny baterii (Fe-KClO₄) zapewnia uzyskanie wyrobów w pełni zastępujących baterie wytwarzane na technologii nasycanej. Zaprezentowane wyniki badań baterii BTR-06 i wstępnego modelu zamiennika baterii BTR-05 wykazały przede wszystkim ich zdolność do dłuższej pracy niż w przypadku wyrobów pierwotnych wykonanych w technologii nasycanej. Istotne znaczenie ma również fakt, że podczas pracy baterii wykonanych w technologii proszkowej, ich powierzchnia rozgrzewa się w mniejszym stopniu, uzyskując temperaturę o około 100°C niższą niż w przypadku baterii BTR-03 i BTR-05. Technologia proszkowa pozwala również na konstruowanie szerokiej gamy nowych baterii o bardziej zaawansowanych parametrach eksploatacyjnych czego przykładem może być bateria BTR-07 zdolna do pracy w trakcie narażeń mechanicznych.

a satisfactory safety margin. The shortest time of operation for tested population of batteries was ca. 50 s at 30 s demanded. Such result is achieved not only through the proper design of the product but also through the strict adherence to the technological procedures.

New technology for fabricating thermal batteries, based on powdered stuffs, new electrochemical compositions (LiAl/FeS₂ and LiSi/FeS₂) and a new battery heating composition (Fe-KClO₄), secures the supply of products which completely replace the batteries of impregnated technology. Presented results of tests for battery BTR-06, and initial model of BTR-05 battery substitute, have proved their capability for longer operation time than former products manufactured according to impregnated technology. There is also important that the surface of batteries made in powdered technology is heated in a lesser degree and reaches lower temperatures by ca. 100°C than for batteries BTR-03 and BTR-05. The powdered technology gives also a chance for developing a wide family of new batteries with more advanced parameters of usage, and BTR-07 battery that is able to work during mechanical loads is a good example of that.

Literatura / Literature

- [1] Clasons V., Lamb C.M., *Handbook of Batteries*, Third Edition, Chaper 21 Thermal Batteries
- [2] Garche J., *Encyclopedia of Electrochemical Power Sources*, Primary Batteries – Reserve Systems
- [3] Kopczyk M., Szcześniak B., Tabat S., Brudka Z., Styczyński S., Nowoczesne rezerwowe źródła zasilania aktywowane termicznie – kierunki badań i rozwoju w Polsce i na świecie, *Wiadomości Elektrochemiczne* nr 5, str. 204, (2002)
- [4] Guidoti R.A., Masset P., Thermally activated (“thermal”) battery technology Part I: An overview, *J. Pow. Sources*, vol. 161, p. 1443, (2006)
- [5] Masset P., Guidoti R.A., Thermal activated (thermal) battery technology Part II. Molten salt electrolytes *J. Pow. Sources*, vol. 164, p. 397, (2007)
- [6] Styczyński S., Szłapka R., Sprawozdanie z badań okresowych baterii termicznych BTR-03 w 2012 roku, Poznań, 2012
- [7] Styczyński S., Rydzyńska B., Szłapka R., Sprawozdanie IMN CLAiO nr 3175 Poznań, 2014
- [8] Szłapka R., Styczyński S., Szal D., Sprawozdanie IMN CLAiO nr 3147 Poznań, 2013

[9] Styczyński S., Rydzyńska B., Sprawozdanie IMN CLAiO nr 3120 Poznań, 2012

[10] Styczyński S., Rydzyńska B., Sprawozdanie IMN CLAiO nr 3123 Poznań, 2012

*W niniejszej pracy wykorzystano wyniki prac finansowanych przez MESKO S.A.,
Wojskowy Instytut Techniczny Uzbrojenia oraz ze środków własnych Instytutu Metali
Nieżelaznych.*

*The results of the work, funded by MESKO S.A., the Military Institute of Armament
Technology and own assets of the Institute of Non-ferrous Metals, were used for this paper.*



CHARAKTERYSTYKA SYSTEMU SYMULACJI TRÓJWYMIAROWYCH MODELI PRZYRZĄDÓW OPTYCZNYCH EKSPLOATOWANYCH W MW RP *SYSTEM SIMULATING 3-D MODELS OF OPTICAL INSTRUMENTS USED BY THE POLISH NAVY*

Roman HABEREK, Olaf KASPRZYCKI
Autocopm Management Sp. z o.o.
Mirosław CHMIELŃSKI
Akademia Marynarki Wojennej
The Naval Academy

Streszczenie: W artykule zaprezentowano kluczowe aspekty wspomagania eksploatacji przyrządów optycznych dzięki zastosowaniu wirtualnej rzeczywistości, m.in. realistyczne, interaktywne materiały szkoleniowe. Wyżej wymieniony system symulacji wspiera najważniejsze obszary nauczania budowy oraz obsługi uzbrojenia morskiego, jak również testowanie wiedzy i umiejętności szkolonych oraz umożliwia interaktywną pracę z trójwymiarowymi modelami sprzętu wojskowego

Słowa kluczowe: symulator, kształcenie, szkolenie, trening, kontrola i ocena umiejętności

Abstract: The paper presents key aspects describing the support of service life of optical instruments through the application of virtual reality in realistic and interactive materials for training. This simulating system supports the educatory process concerning both the handling and structure of naval weapon systems and also the examination of knowledge and skill levels of trainees through interactive sessions on 3-D models of weapon systems.

Key words: simulator, education, training, practicing, examination and evaluation of skills

1. Wstęp

Wirtualna rzeczywistość (ang. *Virtual Reality* – VR) jest technologią informatyczną, która umożliwia wejście i pracę w świecie wygenerowanym przez komputer, czyli jest to obraz sztucznej rzeczywistości stworzony z wykorzystaniem IT (ang. *Information Technology*). Polega na multimedialnym kreowaniu komputerowej wizji przedmiotów, przestrzeni i zdarzeń nieistniejących w naturze. Uzyskuje się to poprzez generowanie obrazów, efektów akustycznych, a nawet zapachowych czy smakowych [8].

W praktyce rzeczywistość wirtualna jest pojmowana, jako system składający się ze specjalistycznego oprogramowania oraz sprzętu. Rola oprogramowania najczęściej skupia się na przetwarzaniu obrazu z postaci grafiki 3D do

1. Introduction

The virtual reality (VR) is an information technology (IT) providing the access and work within an environment generated by a computer, or in other words providing an image of an artificial reality created by IT. It is based on a multi-media creation of computerised vision of objects, space and events which do not exist in the nature. It is achieved by generation of pictures, and effects of sounds, and even the scent and taste [8].

In practice the virtual reality is taken as a system consisting of the specialised software and hardware. The software is usually used to transform the image from 3D graphics into a stereoscopic picture.

projekcji obrazu stereoskopowego. Dodatkowy sprzęt wspiera uczucie tzw. immersji czyli zagłębienia w środowisku generowanym komputerowo. Ze względu na mnogość systemów przyjęto definiować rzeczywistość wirtualną.

W literaturze przedmiotu spotykać się można z następującą definicją rzeczywistości wirtualnej jako I^3 : *Interaction* (interakcja) + *Immersion* (zagłębienie) + *Imagination* (wyobraźnia).

Steve Bryson na podstawie swoich prac w NASA razem z Jaronem Lanier zdefiniował rzeczywistość jako:

„Rzeczywistość wirtualna jest sposobem użycia technologii komputerowej w tworzeniu efektu interaktywnego, trójwymiarowego świata, w którym obiekty dają wrażenie przestrzennej obecności”.

2. Charakterystyka wirtualnego środowiska

Rzeczywistość wirtualna jest technologią, która umożliwia interakcję ze środowiskiem symulowanym przez komputer istniejący zarówno jako realny świat albo jakiś specjalnie stworzony dla własnych potrzeb lub oaza gdzie można uspokajać swój umysł przy pomocy sztucznego środowiska zaprogramowanego przez programistów. Najbardziej aktualne aspekty związane z nowoczesną rzeczywistością wirtualną można opisać jako doświadczenia wizualne, wypisywane zarówno przy pomocy ekranów komputerowych albo poprzez specjalne wyświetlacze stereoskopowe (zakresu stereo). Niektóre symulacje zawierają środowisko wirtualne albo wirtualne artefakty, które mogą być obsługiwane przez standardowe urządzenia wejścia-wyjścia, jak klawiatura czy mysz albo poprzez multimodalne środowiska takie jak podłączona do urządzenia rękawica, ożywiona ręka i wielokierunkowy kierat [7].

Symulowane środowisko może być podobne do świata rzeczywistego. Mogą być stosowane symulacje przydatne dla pilotów, w medycynie czy do treningów wojskowych w bardzo trudnych czy nawet ekstremalnych i nietypowych warunkach, ale całkowicie bezpieczne dla człowieka.

Od wielu lat można oglądać specjalistyczny sprzęt, który prowadzi w kierunku porusza-

Additional accessories are used to boost the feeling of so called immersion within the computer generated environment. The presence of many systems has enforced a need to define the virtual realities.

The literature provides a definition of virtual reality as I^3 : *Interaction* + *Immersion* + *Imagination*.

Steve Bryson, basing on his work for NASA, together with Jarone Lanier, has defined the reality as:

„Virtual Reality is the use of computer technology to create the effect of an interactive three-dimensional world in which the objects have a sense of spatial presence”.

2. Characteristics of virtual environment

Virtual reality is a technology providing an interaction with a computer simulated environment existing both as a real world or one that is created especially for a specific own demand, or an oasis for satisfying the mind through an artificial environment created by programmers. The most important present aspects connected with the modern virtual reality may be described as a visual experience provided both by computer displays and by special stereoscopic projectors (stereo selection). Some simulations include the virtual reality or virtual artefacts which may be served by standard input-output accessories like keyboard or mouse, or by multimodal environments like the glove, lively hand or multidirectional controller connected to the device [7].

Simulated environment may be similar to the real world. The simulations are completely safe for trainees like pilots, medicine or military personnel at practicing in very difficult or even extreme and untypical scenarios.

The development of specialised equipment for acting within a different world, controlled by a man, may have been observed for many recent years. Moreover the virtual reality is a tool of intellectual games dedicated especially for children in com-

nia się w innym, kontrolowanym przez człowieka świecie. Rzeczywistość wirtualna to oczywiście wspaniałe pole dla czystej zabawy intelektualnej, jaką potrafią dać szczególnie dzieciom gry komputerowe.

Termin typu *virtual* można spotkać w popularnych językach programowania. Stosowany jest, aby mieć dostęp do funkcji, których nie można idealnie zdefiniować mając jedynie dostęp do jednej określonej figury, można je natomiast wywołać w programie [9].

Świat wirtualny można określić jako komputerowo generowane środowisko, które jest odbierane przez użytkownika w realnym czasie. Systemy rzeczywistości wirtualnej coraz częściej wykorzystywane są do modelowania, prezentacji i oceny obrazów przestrzennych. Korzystając ze specjalnych okularów, widz może zobaczyć nieistniejący obiekt w trójwymiarowej przestrzeni, a poruszając głową, uzyskuje pełną informację o otaczającej go przestrzeni. Dzięki rzeczywistości wirtualnej świat komputerowy, to nie tylko dwuwymiarowy ekran monitora, lecz również pełnoprzestrzenne środowisko sterowane przez człowieka.

Rzeczywistość wirtualna charakteryzuje się sześcioma stopniami swobody, co oznacza, że programy wirtualnej rzeczywistości umożliwiają ruch do przodu - do tyłu, w górę - w dół, w lewo - w prawo oraz obroty względem trzech osi układu współrzędnych [8]. W związku z tym może być ona traktowana, jako symulacja „rzeczywistości realnej”. Człowiek istnieje w czterowymiarowej czasoprzestrzeni i znajduje się w stanie permanentnej interakcji z otaczającym go światem.

Rzeczywistość wirtualna jest w stanie tak symulować realność, że świadomość przebywającego w niej człowieka sugeruje możliwość sterowania znajdującymi się w niej obiektami trójwymiarowymi.

Dzięki specjalnej grafice, sekwencjom animacji i wideo, stereofonicznym efektom dźwiękowym pozorny świat VR wydaje się być rzeczywisty. Wirtualna rzeczywistość rozbudza ludzką wyobraźnię. Powoduje, że przez chwilę można zanurzyć się w fantastyczny świat. Osobom, które same potrafią kreować wirtualną przestrzeń, dostarcza ona niemalże nieskończonych możliwości tworzenia. Pozwala na symulowanie sytuacji trudnych do zrealizo-

puter games.

The term “*virtual*” may be spotted in typical programming languages. It is used to provide the access to functions which can be produced in the program and which cannot be defined precisely when only one specific figure is available [9].

The virtual world may be described as a computer generated environment which is experienced by a user in the real time. The systems of virtual reality have been recently used for modelling, presenting and evaluating space images. The viewer may see a non-existing object within a three dimensional space by using special goggles and moreover by moving his head he receives complete information about the surrounding space. In this way the virtual reality is not only a two-dimensional image on computer monitor but also a full-space environment controlled by a man.

The virtual reality is characterised by six degrees of freedom what means that its software provides the movement forward and backward, up and down, left and right, and the rotation against three axes of the system of coordinates [8]. For this reason it may be treated as a simulation of the existed reality. The mankind exists in the four-dimensional space-time and is involved into a permanent interaction with the surrounding world.

The virtual reality is able to simulate the physical reality in such degree that the consciousness of a man being immersed in it suggests a possibility for controlling its three-dimensional objects.

The artificial world of VR seems to be realistic thanks to special graphics, video and animating sequences, and stereophonic sound effects. The virtual reality excites the human imagination. It makes possible people for a moment immerse in the world of fantasy. The persons who are able to create the virtual space by themselves get almost an unlimited tool of creativity. This makes people simulate situations which cannot be performed easily in real life, communicate without effort, use it as a tool of expression for other users. Even if the virtual world is usually connected with computer games

wania w realnym życiu, ułatwia komunikowanie się, może służyć za narzędzie ekspresji jej użytkowników. I choć wirtualny świat kojarzy się zwykle z grami komputerowymi, niosącymi ze sobą często destruktywne wartości, niniejszy artykuł ukáže jeszcze jeden ze sposobów konstruktywnego zastosowania wirtualnego środowiska.

Mianem wirtualnego świata określa się czasem internet i obecny świat, kiedy życie staje się coraz bardziej związane z siecią. Czasem nazywa się tak świat nierzeczywisty, wytworzony przy pomocy komputera, który dzięki postępowi techniki wydaje się niemal prawdziwy. Sformułowanie "wirtualny świat" można uważać za formę ostrzeżenia i jednocześnie groźby dla tych, którzy mogą pragnąć pozostania w e-świecie na zawsze.

Wirtualne to znaczy istniejące potencjalnie, a nie, jako konkretny, realny byt - nie jest alternatywą dla rzeczywistości, nie wyklucza jej. Wirtualność jest przeciwieństwem faktyczności (stanowi „rzeczywistość zastępczą”) i jednocześnie jej źródłem. Potocznie „wirtualny” znaczy „nierealny”. W codziennym użyciu określenie rzeczywistości wirtualnej odnosi się do różnych rzeczy. Jest to technologia umożliwiająca uzyskiwanie realistycznych obrazów za pomocą grafiki komputerowej wykorzystywanej zarówno w celach rozrywkowych, jak i naukowych czy praktycznych [10].

Obecnie są to coraz doskonalsze symulacje działania urządzeń lub też wykreowanie dzięki multimedialnym zestawom symulacji rzeczywistości: kontrolowana w czasie realnym animacja komputerowa, audiowizualne techniki pozwalające odbiorcy korzystającemu ze specjalnego wyposażenia (hełm izolujący od bodźców wzrokowych i słuchowych; gogle wyłączające bodźce wzrokowe; rękawica pozwalająca odczuwać i dokonywać zmian).

Charakterystyczne cechy rzeczywistości wirtualnej to: interaktywność w czasie rzeczywistym i zanurzenie. Interaktywność polega tu na kontroli systemu oraz reagowaniu elektronicznego środowiska na działania użytkownika. Zanurzenie dotyczy zmysłów, polega na wchłanianiu użytkownika przez sztuczny świat poprzez odcięcie go od bodźców naturalnego środowiska, zastąpienie ich bodźcami generowanymi komputerowo. Im większa in-

which often provide some destructive values, the present paper aims to show an additional way for constructive application of virtual environment.

The Internet and the present world, when the life and the Net infiltrate each other in a stronger way, are sometimes described as the virtual world. Sometimes the unrealistic world created by a computer is named in such a way as it seems to be almost realistic thanks to technological progress. The wording "virtual world" may be treated as a form of warning and threatening in the same time for those who may have a desire of remaining in the e-world for ever.

A virtual object exists potentially but not as a tangible material object and it is not any alternative for the reality as it does not eliminate it. A virtual object is an opposition to a factual object (it is a substituted reality) and in the same time it is source of it. Commonly the virtual means something unreal. In everyday life the notion of virtual reality refers to different issues. It is a technology providing the realistic pictures by computer graphics used both for entertainment or scientific or practical purposes [10].

Now there is a lot of more or less perfect solutions simulating the operation of equipment or providing following developments which were created by multimedia systems to simulate the reality: computer animation controlled in the real time, audio-visual techniques providing to the user special accessories like the helmet separating from the visual and acoustic expositions, the goggles eliminating the visual expositions and the glove for sensing and making the changes.

There are following characteristic features of virtual reality: interactivity in the real time and immersion. The interactivity refers to controlling the system and to reaction of electronic environment against the actions of the user. The immersion concerns the senses and the absorption of the user by the artificial world through his separation from the stimuli of natural environment and replacing them by the stimuli generated by

teraktywność i pełniejszy wachlarz doznań, tym doskonalsze dane środowisko. Nowe medium stwarza niemal nieograniczone możliwości ekspresji. Rzeczywistość wirtualna oferuje trójwymiarową przestrzeń, odmienną od dwuwymiarowych sposobów rejestracji rzeczywistości, do jakich przyzwyczyli odbiorców dotychczasowe sztuki wizualne: fotografia czy film. Ponadto nie ma charakteru narracyjnego ani znakowego; w doświadczaniu rzeczywistości wirtualnej główną rolę odgrywają zmysły [7].

Wirtualną rzeczywistość można też sobie wyobrazić, jako rodzaj halucynacji, która dotyka wszystkie ludzkie zmysły jednocześnie. Wrażenia docierają do nas poprzez specjalny sprzęt - specjalne okulary prezentują naszym oczom trójwymiarowy obraz.

Wirtualna rzeczywistość ma bardzo wiele zastosowań – począwszy od gier komputerowych, w których można prowadzić samochód, zjeżdżać z góry na nartach albo ujeżdżać dinozaury, aż do szkolenia żołnierzy np. marynarzy lub pilotów, ucząc bezpiecznego prowadzenia działań, gdyż istnieją również zastosowania, takie jak działania militarne.

Istnieją trzy główne typy VR.

Pierwszy, najbardziej popularny, składa się z hełmu z małymi monitorami, słuchawkami oraz specjalnej rękawicy lub dżojstika. Hełm i rękawica połączone są z komputerem wyposażonym w odpowiednie oprogramowanie graficzne i muzyczne. Sprzęt i oprogramowanie bardzo zależy od wykorzystania systemu VR. Obrazy są przesyłane do monitorów umieszczonych w hełmie. Każdy monitor ustawiony jest pod innym kątem tak, aby oddać efekt trójwymiarowości. Kiedy zakładasz hełm VR obraz z monitorów całkowicie przesłania twoje pole widzenia i jesteś kompletnie zamknięty w świecie VR [8].

Poprzez słuchawki słyszysz dźwięk skojarzony z obrazami, które oglądasz. Zarówno hełm, jak i manipulator (rękawica lub dżojstik) są wyposażone w specjalne sensory. Pozwala to komputerowi podążać za ruchami twojej głowy i ręki. Jeśli przekreścisz głowę by „zobaczyć coś” obok lub za sobą, komputer natychmiast zmienia odpowiednio obraz monitorów, tak jakbyś był wewnątrz obrazu. To wszystko dzieje się w czasie rzeczywistym (z taką samą

a computer. The more interactive and complete range of feelings is the more perfect environment also is. The new medium creates almost unlimited possibilities of expression. The virtual reality offers a three-dimensional space that is different than two-dimensional ways of recording the reality which were exploited by the former media proposing the images like photography or film. And above all it does not use any narrations or signs because in experiencing the virtual reality the main role is played by the senses [7].

The virtual reality may be also considered as a form of hallucination which affects all human senses in the same time. The sensations are coming to us through special accessories – the special goggles provide a three-dimensional picture to our eyes.

The virtual reality has a lot of applications – starting from computer games where one can drive a car, ski downhill or tame dinosaurs, or finally train soldiers like e.g. naval servicemen or pilots on safe ways of participation in military combat operations. There are three main types of VR.

The first one is the most common and consists of a helmet with small monitors, ear pieces and a special glove or joystick. The helmet and the glove are connected to the computer loaded with suitable software for graphics and music. The hardware and software depend on the application of the VR. Pictures are sent to monitors in the helmet. Each monitor is placed under different angle to render the effect of three-dimensional space. After putting the helmet on the picture from the monitors completely screens the field of view and the user is totally confined within the VR [8].

The earphones provide the sounds which are matched with presented pictures. Both the helmet and the manipulator (glove or joystick) are equipped with special sensors. It allows the computer follow the movements of the head and hand. If the player (user) turns the head to see something near or behind him then the computer immediately changes the displays providing an illusion of being inside the scene. All

prędkością, jak w świecie rzeczywistym). Rękawica pozwala „poczuć” wirtualne przedmioty, podnieść je, przenieść, nawet obejść.

Druga forma VR wykorzystuje kamery wideo do śledzenia obrazów użytkownika w wirtualnym świecie, gdzie również można wybierać i przenosić obiekty. Oba te systemy VR umożliwiają pracę kilku osób jednocześnie w tym samym czasie w VR.

Ostatni typ VR polega na wyświetlaniu obrazów trójwymiarowych na dużym zakrzywionym ekranie. Kształt ekranu pomaga wejść użytkownikowi w świat VR. Dzięki specjalnym okularom ten efekt został znacznie ulepszony.

Wykorzystanie gogli 3D zwiększa realizm pracy nad modelem dzięki wrażeniu fizycznego kontaktu z obiektem. Użytkownik wykonuje przy użyciu aplikacji ćwiczenia, których celem jest manipulowanie obiektami w taki sposób, aby osiągnąć zdefiniowany dla danego scenariusza stan końcowy (np. złożenie automatu armaty). Dzięki temu uczestnicy szkolenia uczą się sekwencji wykonywanych kroków, co z powodzeniem może być wykorzystane w przypadku pracy z rzeczywistym obiektem [10].

Symulator trójwymiarowych modeli przyrządów optycznych jest nowoczesnym urządzeniem pozwalającym na szkolenie i doskonalenie umiejętności podchorążych, oficerów i załóg okrętowych w zakresie obsługi przyrządów optycznych znajdujących się w wyposażeniu MW RP. Realizacja szkolenia jest wspierana przez system w najważniejszych obszarach:

- nauki, budowy oraz obsługi przyrządów optycznych;
- testowania wiedzy i umiejętności szkolonych na bazie scenariuszy wizualizacyjnych.

System ma konstrukcję modułową, dzięki czemu możliwe jest skonstruowanie na jego bazie konfiguracji o dowolnej liczbie stanowisk ćwiczących. Bazowa instalacja składa się z:

- głównego komputera wykładowcy wraz z monitorem (stanowisko instruktora) zapewniającego sterowanie całością systemu, dostęp do graficznego interfejsu instruktora oraz gromadzenie i przetwarzanie wyników ćwiczeń;
- indywidualnych komputerowych stano-

– this is happening in the real time (with the same timing as in the real world). The glove allows the player to feel virtual objects, lift or carry them, and even go around.

The second form of VR uses the video cameras to track the pictures of the user in the virtual world where the objects may be also selected and carried away. These two systems enable the simultaneous work of a dozen of persons in the VR.

The last type of VR is based on the projection of three-dimensional pictures on a large bent screen. The shape of the screen helps the user to enter the world of VR. The special goggles boost this effect significantly.

The use of 3D goggles increases the realism of the work with a model because of an impression of a physical contact with the object. The user of an application performs the exercises aimed to manipulate the objects in a way allowing the reaching a final objective that is defined for a particular scenario (e.g. putting a part of the gun together). The participants of the training learn in this way the correct sequences of steps what may be used later for the work with a realistic object [10].

The simulator of three-dimensional models of optical instruments is modern equipment used for improving the skills and training officer cadets, officers and ship crews on handling the optical instruments being on the Polish Navy inventory. The training is supported by the system in the most important fields of:

- Teaching, structure and handling the optical instruments
- Examining the knowledge and skills of trainees by using visualised scenarios.

The system has a modular structure providing possibilities for configurations with any number of stands for trainees. The basic installation consists of:

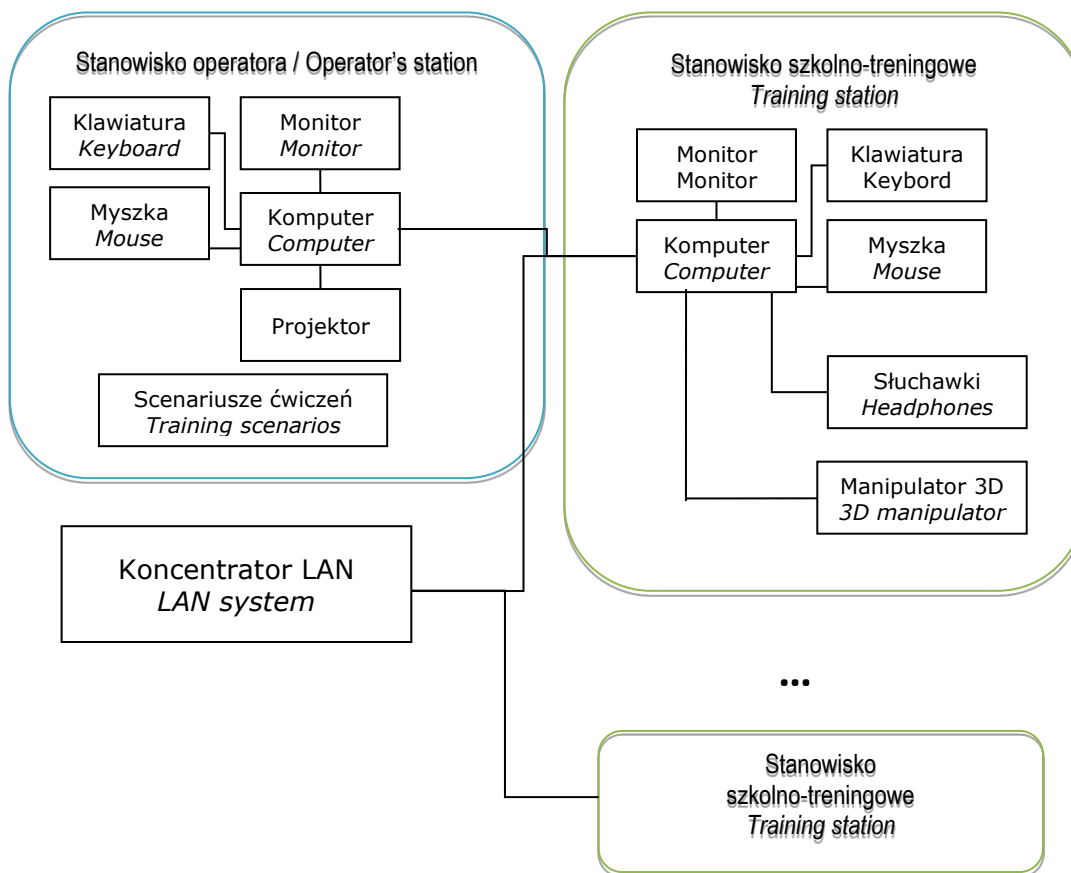
- The main computer of the lecturer with a monitor (instructor’s panel) providing the overall system control, and access to instructor’s graphic interface, and processing the results of training sessions
- Individual computer training-practicing

wisk szkolno-treningowych połączonych ze stanowiskiem instruktora siecią LAN, w których skład wchodzi:

- komputer wizualizacji 3D, zapewniający generowanie trójwymiarowych modeli przyrządów optycznych;
- układ wizualizacji, zapewniający wyświetlanie generowanego obrazu 3D na monitorze;
- podsystem audio zapewniający realistyczne odwzorowanie środowiska akustycznego w słuchawkach.

stations which are connected with the instructor's panel by the LAN consisting of:

- 3D visualisation computer providing the creation of three-dimensional models of optical instruments
- System of visualisation producing 3D image on the monitor
- Audio subsystem for realistic reconstruction of acoustic environment in headphones.



Rys. 1. Schemat organizacyjny symulatora
Figure 1. Schematic diagram of simulator

Oprogramowanie systemu zapewnia m.in.:

- możliwość jednoczesnego uruchomienia i prowadzenia wielu ćwiczeń, z których każde może dotyczyć innego modelu oraz mieć inne kryteria oceny;
- przyjazny interfejs graficzny pozwalający na bardzo łatwą i intuicyjną obsługę wszystkich funkcji;
- edytor zapewniający tworzenie scenariu-

System's software provides among others following possibilities:

- Simultaneous running of many separate training sessions where each of them may be devoted to different models and have different criteria of evaluation
- Friendly graphic interface to handle all functions in a simple and intuitive way

- szy ćwiczeń;
- rejestrację w bazie danych wszystkich ćwiczeń oraz ich szczegółowego przebiegu;
- podgląd uruchomionego na wybranym stanowisku ćwiczenia na stanowisku instruktora;
- odtwarzanie przebiegu zarejestrowanych ćwiczeń;
- generowanie raportów z zakończonych ćwiczeń na podstawie wybranych kryteriów.

3. Eksploatacja systemu symulacji 3D

System jest całkowicie bezpieczny w użytkowaniu i nie stanowi żadnego zagrożenia, jednakże powinny go obsługiwać wyłącznie przeszkolone osoby, które przestrzegają następujących zasad:

- 1) system można używać wyłącznie w pomieszczeniach zamkniętych,
- 2) w przypadku transportu, system można włączyć nie wcześniej niż po godzinie od wniesienia do pomieszczenia docelowego (czas potrzebny na ustabilizowanie się temperatury i odparowanie wilgoci),
- 3) system należy podłączać wyłącznie do sprawnej sieci zasilającej prądu zmiennego 230 V/50 Hz posiadającej niezbędne zabezpieczenia,
- 4) przed rozpoczęciem eksploatacji należy sprawdzić, czy wszystkie urządzenia wchodzące w jego skład zostały prawidłowo umiejscowione i połączone zgodnie ze schematem,
- 5) dokonując wszelkich podłączeń, kable należy układać tak, aby nie były narażone na deptanie, zaczepianie lub wrywanie przez osoby poruszające się po pomieszczeniu.

Włączenie systemu sprowadza się do wykonania następujących czynności:

- włączenie zasilania stanowiska instruktora, jeżeli jest ono wyłączone; włączanie zasilania musi przebiegać w następującej kolejności:
 - włączenie listwy przeciwprzepięciowej, do której podłączony jest UPS stanowiska,
 - włączenie zasilania UPS,
 - włączenie zasilania komputera,

- Editor providing the creation of training scenarios
- Registration of all training sessions in database
- Monitoring on the instructor's panel a training session that is running on a selected station
- Replaying recorded training sessions
- Generating reports on terminated training sessions on the base of selected criteria.

3. The use of 3D simulating system

Although the system is completely safe in the use and does not create any threat, it has to be handled exclusively by trained persons who observe the following rules:

- 1) The system may be used only in closed rooms
- 2) In case of transporting the system may be turned on not earlier than one hour after it has been installed in the site of its designation (the time needed for stabilisation of temperature and drying)
- 3) The system has to be supplied by technically efficient source of AC 230 V/50 Hz possessing all necessary protections
- 4) Before the starting up all components of the system have to be examined if they are placed and connected correctly and according to the diagram
- 5) The cables have to be connected in a way preventing them against any threading by feet, or catching and pulling by persons moving in the room.

The system has to be started in following order:

- Turn the power supply on in the instructor's panel. If the panel is off it has to be put on in the following order:
 - Turn the anti-over-voltage board supplying the UPS of the station
 - Turn the UPS on
 - Turn the supply of the computer on
 - Turn the supply of the monitor on (as the monitor is usually turned on,

- ewentualne włączenie zasilania monitora (zwykle nie ma potrzeby jego wyłączenia więc uruchomi się on automatycznie po włączeniu UPS),
- włączenie aplikacji instruktora na stanowisku za pomocą skrótów na pulpicie,
- włączenie zasilania stanowisk szkolno-treningowych, jeżeli jest ono wyłączone;
- włączanie zasilania musi przebiegać w następującej kolejności:
 - włączenie listwy przeciwprzepięciowej, do której podłączony jest UPS stanowiska,
 - włączenie zasilania UPS,
 - włączenie zasilania komputera,
 - ewentualne włączenie zasilania monitora (zwykle nie ma potrzeby jego wyłączenia więc uruchomi się on automatycznie po włączeniu UPS),
 - włączenie aplikacji podglądu modeli na stanowiskach szkolno-treningowych za pomocą skrótów na pulpicie,
 - włączenie pozostałych urządzeń współpracujących z systemem (o ile tego wymagają – większość urządzeń startuje automatycznie po włączeniu zasilania komputerów, do których są przyłączone),
 - oczekiwanie na przyłączenie się stanowisk szkolno-treningowych do sieci (sygnalizowane pojawieniem się ikony i nazwy stanowiska w programie wykładowcy).

Po uruchomieniu wszystkich komponentów systemu (operacja ta może trwać kilka minut) na stanowiskach szkolno-treningowych pojawią się plansze startowe (kolejność włączania poszczególnych stanowisk jest całkowicie dowolna). System jest wówczas gotowy do pracy.

Stanowiska szkolno-treningowe mogą działać z wyłączoną aplikacją instruktora. Pracują wtedy w trybie indywidualnym pozwalającym na niezależne realizowanie ćwiczeń bez ich rejestracji oraz oceny. W aplikacji wykładowcy należy połączyć się ze stanowiskami, aby móc korzystać z pełnej funkcjonalności systemu.

Wyłączenie symulatora polega na zakończeniu pracy na wszystkich działających stanowiskach. Na stanowisku instruktora sprawdza się do wybrania polecenia „Zamknij” w głównym menu programu, naciśnięciu ikony

then it starts after switching the UPS on)

- Turn on the application on the instructor's panel by using short-cut keys on the board
- Turn on the supplies of training stations if they are off. They have to be turned on in the following order:
 - Turn the anti-over-voltage board supplying the UPS of the station
 - Turn the UPS on
 - Turn the supply of the computer on
 - Turn the supply of the monitor on (as the monitor is usually turned on, then it starts after switching the UPS on)
 - Turn on the application for monitoring the models on training stations by using short-cut keys on the board
 - Turn on the remaining pieces of equipment working with the system (if it is required – they usually start up automatically after switching on the associated computers)
 - Wait for activation of training stations in the net (it is signalled by an icon and the name of the station in the lecturer's program).

After starting up all components of the system (it may take up to a few minutes) the starting boards are displayed on training stations (the particular stations are activated at random order). Then the system is ready for operation.

Training stations may be used when the instructor's application is off. In such configuration they work in individual mode and allow the training sessions to be performed independently without recording and evaluation. In order to use full functionality of the system the connection with the stations has to be settled in the lecturer's application.

In order to switch the simulator off the work has to be terminated on all active stations. On the instructor's panel this operation may be carried out by selecting the command “Close” in the main program menu, or by clicking the cross icon in the

krzyżyka w prawym górnym rogu okna aplikacji lub naciśnięcia na klawiaturze kombinacji klawiszy Alt+F4. Czynność ta spowoduje zapisanie wszystkich aktualnie uruchomionych ćwiczeń do momentu wyłączenia systemu.

Wyłączenie stanowiska instruktora nie blokuje pracy na stanowiskach szkolno-treningowych. Przechodzą one w tryb indywidualny pozwalający realizować ćwiczenia, jednak nie są one wtedy oceniane ani rejestrowane.

Tak samo wyłączenie pojedynczego stanowiska szkolno-treningowego nie wpływa na działanie reszty systemu – pozostałe stanowiska działają normalnie. Ponowne aktywowanie stanowiska jest możliwe po uruchomieniu aplikacji wizualizacji przyrządu optycznego skrótami na pulpicie.

W celu wyłączenia zasilania komputerów należy postępować zgodnie z instrukcją systemu operacyjnego Windows. Po zakończeniu pracy na wszystkich stanowiskach należy:

- wyłączyć pozostałe urządzenia współpracujące z systemem (o ile tego wymagają),
- wyłączyć projektor jeżeli był wcześniej włączony – należy odczekać do momentu, gdy wentylator przestanie pracować (czas ten jest uzależniony od temperatury lampy i może potrwać kilka minut),
- wyłączyć zasilanie głównym wyłącznikiem systemu.

Procedurę awaryjnego wyłączenia systemu należy przeprowadzić w przypadku zaniku zasilania trwającego dłużej niż kilka sekund. Po każdym zaniku zasilania wszystkie urządzenia systemu są zasilane przez urządzenie podtrzymujące (UPS). Jednak ze względu na ograniczoną pojemność takiego urządzenia w przypadku długotrwałych awarii system powinien zostać każdorazowo wyłączony przez operatora.

O wystąpieniu awarii zasilania instruktor jest informowany w postaci sygnału dźwiękowego generowanego przez podsystem zasilania awaryjnego. Pierwszą reakcją powinno być dokończenie lub przerwanie rozpoczętych zadań oraz zamknięcie aplikacji w celu zapisania aktualnie uruchomionych ćwiczeń. Jeżeli po zakończeniu tych czynności system nadal jest zasilany z UPS-a to należy przystąpić do wyłączenia całego systemu.

top right corner of the application window, or by pressing the keys Alt+F4 on the keyboard. This action makes all currently running training sessions record until the moment of turning off.

Training stations may also work when the instructor's panel is off. They operate then in individual modes of training sessions, but without evaluation and recording.

Similarly the turning a particular training station off does not affect the operation of remaining part of the system and the other stations may work normally. The station may be activated again when the optical instrument visualisation application is started up by the short-cut on the board.

In order to turn computer power supply off the manuals of Windows have to be followed. Following steps have to be made after terminating the operation of all stations:

- Turn off other equipment working with the system (if there is a need)
- Turn the projector off if it was earlier on – it has to be done when the fan stops (this time depends on the lamp temperature and may take a few minutes)
- Turn off the supply with the system main switch.

An emergency procedure of switching off has to be carried out when the supply is missed for more than a few seconds. All equipment is supplied by a voltage sustaining device (UPS) after every cut of supply power. As the device has a limited capacity the system has to be turned off by the operator each time when the power has been cut off for a longer time.

The instructor is informed about the power failure by an acoustic signal generated in an emergency power supply system. Completing or interrupting the running tasks and closing the applications to record current training sessions are the instructor's priorities. If the system is still powered by UPS after termination of the above mentioned operations then the procedure for switching the whole system off has to be started.

Niedopuszczalne jest wyłączenie zasilania (głównego lub awaryjnego) przed zamknięciem systemu i całkowitym wyłączeniem wszystkich podsystemów!

4. Zasada działania systemu symulacji modeli 3D

Głównym zadaniem systemu jest efektywne przeprowadzanie ćwiczeń z zakresu znajomości budowy i zasady działania przyrządów optycznych. W tym celu osoby szkolone mają możliwość pracy z trójwymiarowymi modelami wiernie odwzorowującymi rzeczywiste obiekty. Każdy model jest interaktywny, tzn. umożliwia manipulowanie jego elementami w celu poznania szczegółów budowy oraz posiada opisy kluczowych elementów sprawiając, że proces nauki staje się efektywniejszy.

Nad całością systemu kontrolę sprawuje stanowisko operatora. Za pomocą dedykowanej aplikacji posiada podgląd aktualnego stanu wszystkich stanowisk. Najważniejszą funkcją jest uruchamianie ćwiczeń według przygotowanych wcześniej scenariuszy pozwalających na sprawdzenie wiedzy i umiejętności osoby ćwiczącej.

Każde ćwiczenie ma swój typ definiujący sposób pracy nad modelem oraz scenariusz określający, jakiego modelu dotyczy ćwiczenie, jakie może być ułożenie elementów modelu na początku oraz końcu ćwiczenia oraz wg jakich kryteriów ma być wystawiona ocena przez system. System pozwala na definiowanie dwóch rodzajów ćwiczeń:

- manipulowanie modelem,
- manipulowanie jego elementami.

Tryb polega na manipulowaniu elementami modelu i w celu osiągnięciu wybranego stanu. Można zdefiniować, jaki stan modelu ma być przy starcie ćwiczenia (np. czy model ma być częściowo rozłożony) oraz osiągnięcie jakiego stanu kończy ćwiczenie (np. całkowite złożenie modelu), Ocena z ćwiczenia jest wystawiana na podstawie czasu, jaki zajęło dojście do stanu końcowego, ilości wykonanych kroków oraz ilości popełnionych błędów (wybraniu niepoprawnego elementu). Jeżeli żadne kryterium oceny nie zostało zdefiniowane w scenariuszu, to ćwiczenie może być zaliczone bądź niezaliczone w zależności czy udało się osobie ćwiczącej

Switching off the power supply (the main or emergency one), before closing the system and complete turning all sub-systems off, is unacceptable!

4. Principle of simulating system operation for 3D models

The system is aimed to carry out effective training sessions on principles of operation and designing structure of optical instruments. For this purpose the trainees may work on three-dimensional models which reconstruct precisely the real objects. Each model is interactive i.e. it provides the descriptions of key components which may be manipulated to find out the details of design and boost the efficiency of training.

The whole system is surveyed from the operator's panel. The dedicated application monitors the current status of all stations. The most important function is to start up training sessions according to prepared earlier scenarios examining the knowledge and skills of trainees.

Each training session has its own category that defines a way of working with the model and a scenario defining the model of the training session, and possible arrangements of the components at the beginning and at the end of the training session, and the criteria the system has to use for evaluation. Two categories of training sessions are provided by the system:

- Manipulation of the model
- Manipulation of its components.

The mode provides the manipulation of model components to get a specific status. The status of the model may be defined for the beginning of the training session (e.g. if the model has to be partly disassembled) and for the end of the session (e.g. complete assembling of the model). The resulting mark from the session is delivered basing on the time needed to get the final status, and the number of performed steps and errors (choosing an improper component). If there is no evaluating criterion defined in the scenario then the passing of the training depends on that if the trainee has

czącej osiągnąć stan końcowy modelu.

1.1. Wskazywanie elementów modelu

W tym trybie należy wskazywać elementy modelu, które system aktualnie podpowiada. Ćwiczenie zawsze kończy się po wskazaniu wszystkich wymaganych elementów, więc nie można definiować innych stanów końcowych. Ocenie podlega jedynie czas wykonania ćwiczenia oraz liczba popełnionych błędów. Brak zdefiniowanych kryteriów oznacza, że nie zostanie wystawiona ocena na koniec ćwiczenia (będzie one jedynie zaliczone).

Tworzenie scenariuszy ćwiczeń możliwe jest w programie instruktora, natomiast stany modeli można definiować na stanowisku szkolno-treningowym po wcześniejszym odblokowaniu funkcji przez instruktora.

5. Charakterystyka stanowisk szkolno-treningowych

Każde stanowisko szkolno-treningowe dla symulatora składa się z następujących elementów:

- 1) komputera wizualizacji 3D, zapewniającego generowanie realistycznego zobrazowania trójwymiarowych modelu przyrządu optycznego,
- 2) układu wizualizacji, zapewniającego wyświetlanie generowanego obrazu 3D na monitorze,
- 3) podsystemu audio zapewniającego realistyczne odwzorowanie środowiska akustycznego w słuchawkach USB,
- 4) manipulatora 3D ułatwiającego operowanie trójwymiarowymi obiektami,
- 5) urządzenia podtrzymującego zasilanie (UPS) oraz listwy przeciwprzepięciowej, myszki i klawiatury,
- 6) klucza na pendrive zabezpieczającego dostęp do komputera (włożenie klucza do portu USB powoduje zalogowanie użytkownika, wyjęcie powoduje wylogowanie – w ten sposób nikt nie zna hasła i nie może się zalogować bez posiadania tego klucza).

managed to get model final status.

1.1. The indication of model components

In this mode the components of the model prompted by the system have to be indicated. The training always ends when all required components are pointed and other final statuses are not defined. Only the time needed for the performance of the training and the number of errors is evaluated. The lack of defined criteria means that no mark is provided at the end of training (it may be only passed or not passed).

Training scenarios may be created in the instructor's program and the statuses of models may be also defined on the training station when this function is earlier activated by the instructor.

5. Characteristics of training stations

Each training station of simulating system consists of following components:

- 1) 3D visualisation computer generating a three-dimensional realistic image of an optical instrument model
- 2) Visualisation unit displaying the generated 3D image on the monitor
- 3) Audio subsystem providing realistic reconstruction of acoustic environment in USB headphones
- 4) 3D manipulator facilitating the movements of three-dimensional objects
- 5) A device sustaining the power supply (UPS), and anti-surge board, and keyboard with the mouse
- 6) A pen-drive key safeguarding the access to the computer (inserting the key to the USB port makes the user log into, and taking it back makes the user log out – in this way nobody knows the password and can log into without the key).

5.1. Obsługa aplikacji wizualizacji modelu przyrządu optycznego

Aplikacja umożliwia interaktywną pracę z trójwymiarowymi modelami przyrządów optycznych dostępnymi w symulatorze. Osoba ćwicząca przy pomocy manipulatora 3D ma możliwość manipulowania położeniem oraz rotacją obiektów, dzięki czemu modele mogą być rozkładane na części w celu poznania ich szczegółowej budowy.

Korzystając z aplikacji użytkownik wykonuje ćwiczenia, których celem jest manipulowanie obiektami w taki sposób, aby osiągnąć zdefiniowany dla danego scenariusza stan końcowy. Kolejność wykonywanych kroków nie jest przypadkowa i dla każdego modelu jest ściśle zdefiniowana. Dzięki temu osoba szkolona uczy się sekwencji wykonywanych kroków, co z powodzeniem może być wykorzystane w przypadku pracy z rzeczywistym obiektem. W zależności od zdefiniowanych kryteriów oceny dla danego scenariusza, użytkownik musi zakończyć ćwiczenie przed wyznaczonym czasem, nie przekroczyć maksymalnej liczby kroków lub zmieścić się w limicie błędów.

Manipulowanie obiektami odbywa się z użyciem myszki oraz manipulatora 3D.

Po przyzwyczajeniu się do mechanizmu działania manipulatora, wygoda poruszania i obracania obiektami w trzech wymiarach jest o wiele większa niż z użyciem tradycyjnej myszki. Poniżej przedstawiono funkcje poszczególnych przycisków:

- prawy przycisk na manipulatorze – odznacza aktywny element lub zaznacza poprzednio zaznaczony,
- lewy przycisk myszki – zaznacza wskazywany element (aby go odznaczyć należy kliknąć na pustym polu lub nacisnąć prawy przycisk).

Aktualnie zaznaczony element jest wyodrębniony kolorem, którego barwa informuje o stanie elementu:

- kolor niebieski – obiektem nie można poruszać, a kliknięcie na niego powoduje jedynie wyświetlenie informacji o nim (rys. 2),
- kolor zielony – obiekt znajduje się blisko pozycji początkowej (zadziała wtedy mechanizm dociągania obiektu ułatwiający precyzyjne wkładanie elementu w pasujące

5.1. The use of optical instrument model visualisation application

The application is used for interactive work with three-dimensional models of optical instruments accessible in the simulator. The trainee can change the position and rotation of objects to find out the details of model structure or dismount it to pieces by using 3D manipulator.

The user performs practicing exercises in the application by manipulating the objects to get the final status defined for a particular scenario. The order of performed steps is not casual and is defined precisely for each model. In this way a trainee learns the sequence of steps what may be later used effectively to work with a real object. Depending on defined criteria of evaluation for a particular scenario the trainee has to complete the exercise within a specific period of time, or has not to exceed a maximal number of steps or errors.

The objects are manipulated by using the mouse and 3D manipulator.

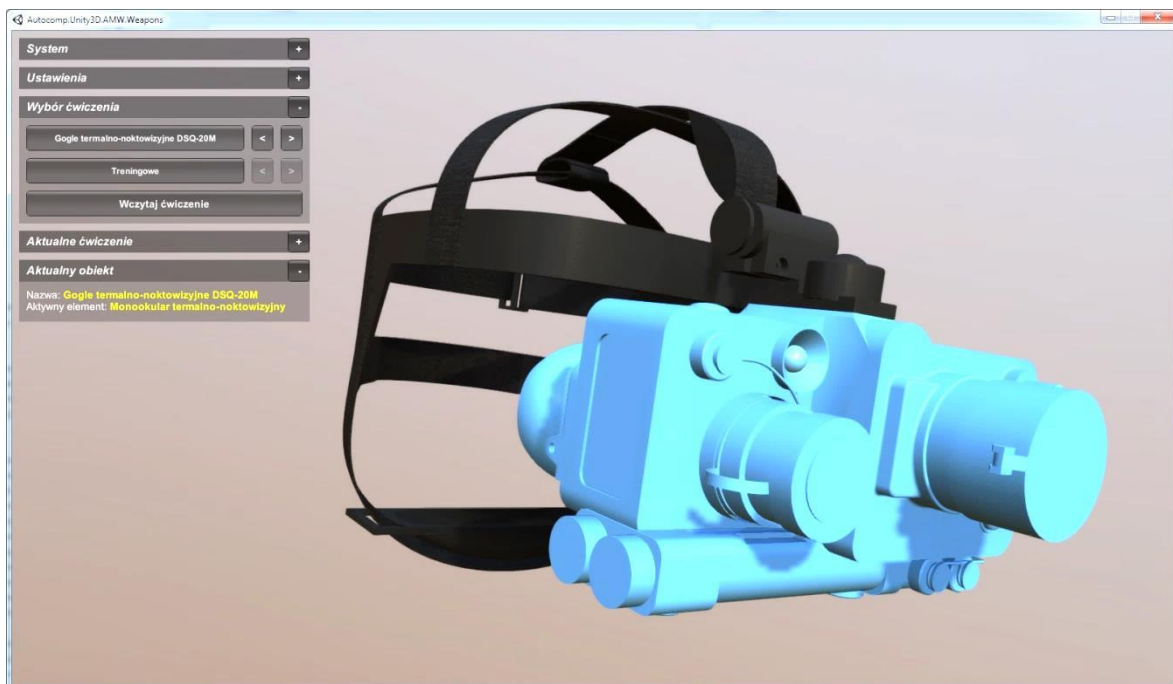
After familiarisation with the manipulator it is much easier to move and rotate the objects in three dimensions than by using solely a mouse. Below the functions of particular buttons are presented:

- Right button in manipulator – marks the active component or marks the one that was marked earlier
- Left button of the mouse – marks the indicated component (in order to mark it a click has to be made on the empty area or the right button has to be pressed).

Currently marked component may be separated by following colours depending on its status:

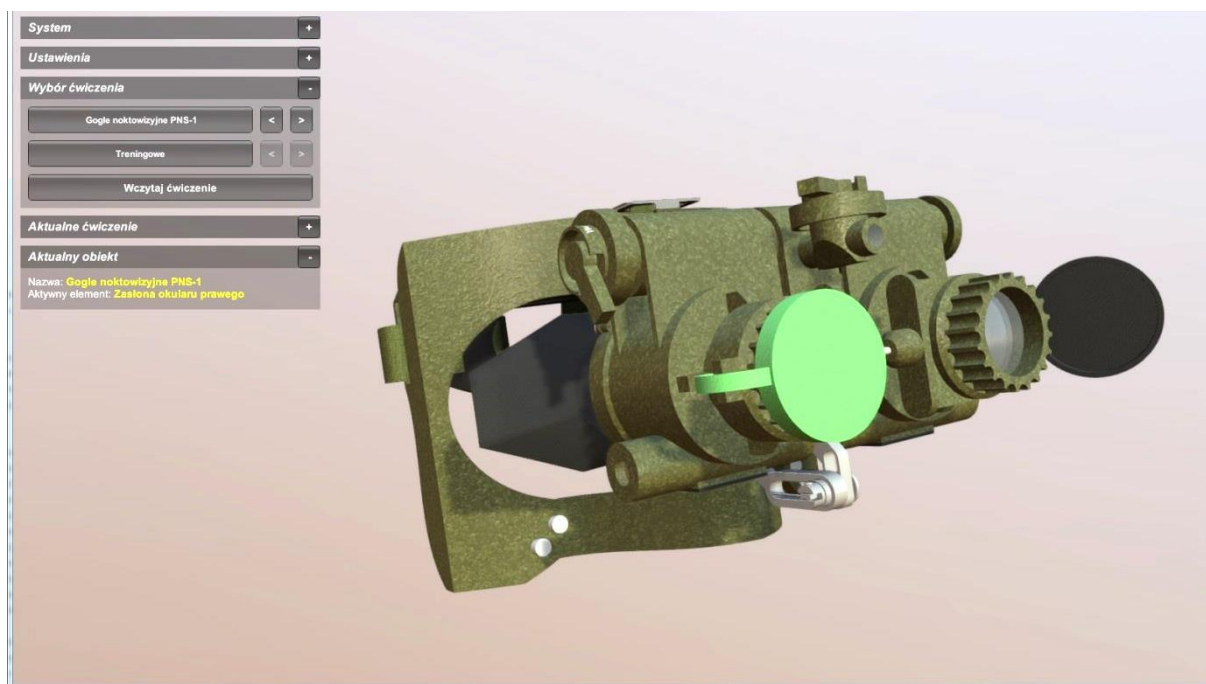
- Blue colour – the object cannot be displaced and after clicking on it only the information about it is displayed (Figure 2)
- Green colour – the object is close to the starting position (then a pulling mechanism helps to put a component precisely into a fitting place)

- miejsce),
- kolor magenta - obiekt jest całkowicie wyjęty/rozłożony. W takim przypadku obiekt może zostać odznaczony i użytkownik może przejść do następnego elementu (rys.3),
 - kolor żółty – element jest ruszony i znajduje się pomiędzy pozycją początkową a końcową (rys.4). Należy kontynuować poruszanie obiektem, aż osiągnie kolor zielony,
 - kolor czerwony – oznacza zaznaczenie elementu, który w danym momencie nie może zostać ruszony ze względu na kolejność wykonywanych czynności. Zaznaczenie takiego elementu traktowane jest, jako błąd.
- Magenta colour – the object is completely taken to pieces. In such a case the object may be marked and the user may pass to another component (Figure 3)
 - Yellow colour – the component is partly displaced and is between the starting and final position (Figure 4). The displacement of the object has to be continued until it becomes green
 - Red colour – it means that a marked component cannot be shifted at the moment because of the order of performed operations. The marking of such component is treated as an error.

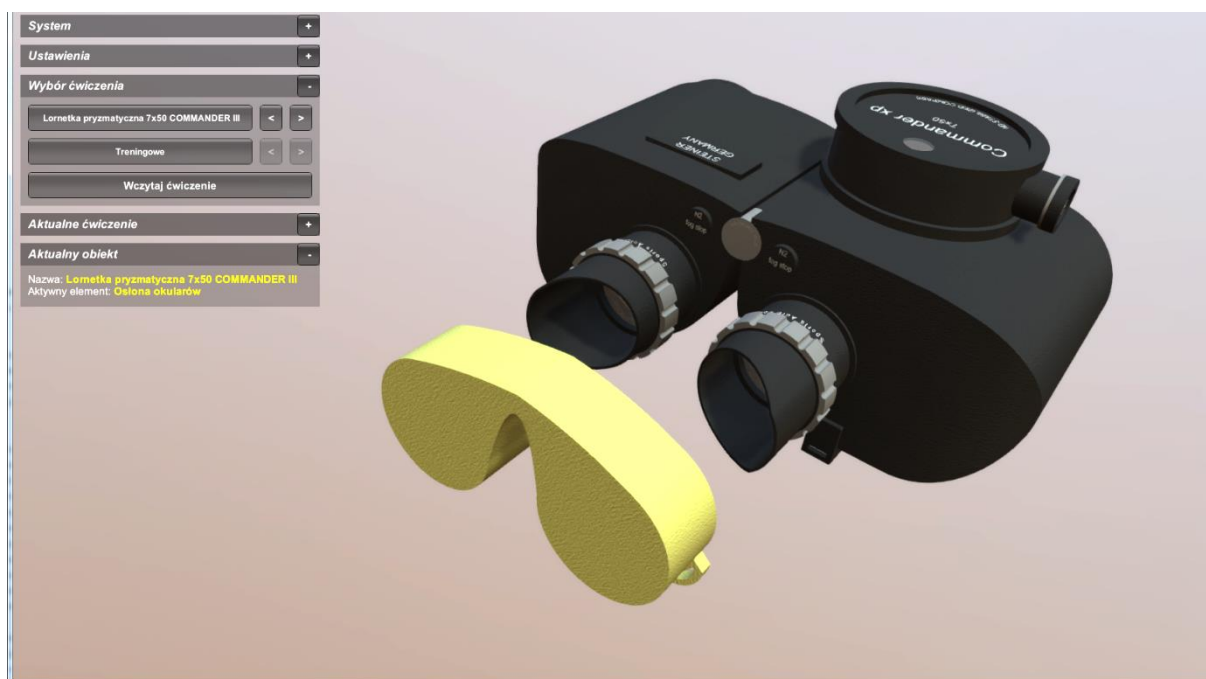


Rys. 2. Na niebiesko zaznaczony jest element, którym nie można poruszać

Figure 2. Component that cannot be moved is marked by blue colour



Rys. 3. Na zielono zaznaczony jest element, który został umieszczony na swoim miejscu
Figure 3. Component that is placed in correct position is marked by green colour



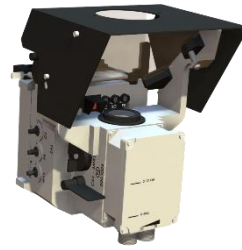
Rys. 4. Na żółto zaznaczony jest element, który jest w trakcie ruchu
Figure 4. A moving component is marked by yellow colour

5.2. Zestawienie wybranych modeli 3D przyrządów optycznych w MW RP

List of selected 3D models of optical instruments on the Polish Navy inventory

Nazwa/ Name	Wygląd modelu 3D / View of 3D model
Dalmierz laserowy TRUPULSE 360R <i>Laser range finder TRUPULSE 360R</i>	
Lornetka 7x45 <i>Binoculars 7x45</i>	
Lornetka pryzmatyczna 7x50 COMMANDER III <i>Prismatic binoculars 7x50 COMMANDER III</i>	
Celownik AWS Kondensor <i>Sight AWS Kondensor</i>	
Celownik kolimatorowy CK-01 <i>Collimator sight CK-01</i>	

Celownik kolimatorowy CKE-4MR23
Collimator sight CKE-4MR23



Gogle termalno-noktowizyjne DSQ-20M
Thermal-night-vision goggles DSQ-20M



Celownik typu Dubler
Doubler type sight



Celownik tachometryczny GP-02MR
Tachometric sight GP-02MR



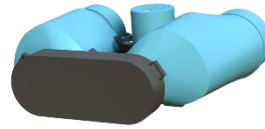
Podręczny dalmierz laserowy Griffin
PLRF 25C
*Handheld laser range finder Griffin
PLRF 25C*



Lornetka pryzmatyczna MW
Prismatic binoculars MW



Lornetka NAVIDOC
Binoculars NAVIDOC



Lornetka noktowizyjna NPL-1M
Night-vision binoculars NPL-1M



Celownik optyczny T-3
Optical sight T-3



Luneta TChP-U 23
Telescope TChP-U 23



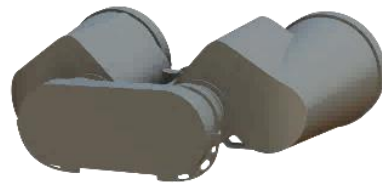
Lorneta artyleryjska TZK
Artillery binoculars TZK



Lornetka pryzmatyczna US
Prismatic binoculars US



Lornetka 7x50 ZEISS
Binoculars 7x50 ZEISS



6. Wnioski

Zastosowanie nowoczesnych metod szkolenia z wykorzystaniem wirtualnej rzeczywistości systemu symulacji trójwymiarowych modeli przyrządów optycznych stosowanych w MW RP, w wierny sposób oddaje specyfikę budowy i zasady działania tego rodzaju sprzętu uzbrojenia. System symulacji trójwymiarowych modeli przyrządów optycznych będących na wyposażeniu okrętów MW RP, w grudniu 2014 roku został wprowadzony na wyposażenie Pracowni Broni Rakietowej i Artylerii Akademii Marynarki Wojennej w Gdyni.

Włączenie wirtualnej rzeczywistości systemu symulacji 3D do procesu kształcenia i szkolenia w AMW, nabiera szczególnego znaczenia w dynamicznie zmieniających się warunkach postępu technologii informatycznych, zwłaszcza w obszarach grafiki komputerowej. W proponowanej postaci wirtualna rzeczywistość systemu symulacji 3D sprzętu optycznego umożliwia budowę nowoczesnej bazy szkolno-treningowej w AMW. Opracowanie systemu symulacji 3D od podstaw pozwoliło na dużą swobodę przy wyborze konkretnego rozwiązania technicznego. Nie było potrzeby dostosowania się do konkretnych już istniejących programów symulacji.

Dało to dużą swobodę w realizacji wirtualnej rzeczywistości systemu symulacji 3D, ale i zmusiło zespół informatyków do starannego wyboru narzędzi umożliwiających zarówno sprawną realizację zamówienia publicznego, jak i daje możliwość jego dalszej rozbudowy. Niekwestionowanymi zaletami przeprowadzania szkoleń z wykorzystaniem wirtualnej rzeczywistości systemu symulacji trójwymiarowych modeli przyrządów optycznych stosowanych w MW RP jest przyspieszenie procesu uczenia się oraz większa skuteczność i trwałość przyswajanych informacji. Ponieważ większość informacji z otoczenia

6. Conclusions

Application of modern methods of training with the use of virtual reality in the system simulating three-dimensional models of optical instruments used by the Polish Navy renders in a faithful way the details of the structure and the principles of operation for this type of military equipment. The system simulating three-dimensional models of optical instruments being on the stock of the Polish Navy ships was introduced into the Section of Missile and Artillery Systems of the Navy College in Gdynia on December, 2014.

Implementation of the virtual reality into 3D simulating system is especially important in dynamically developing environment of informational technologies (IT) and particularly in domains of computer graphics. The proposed solution of virtual reality for 3D system simulating optical equipment provides a modern training background to the Navy College. This 3D simulating system has been developed from the fundamentals allowing a great degree of freedom at selection of a particular technical solution and there was no need to match its parts to existing simulation programs.

This free hand approach at developing virtual reality of 3D simulating system has forced the IT team to a careful selection of tools both for the efficient performance of the public order and for the future upgrading. The accelerated process of learning, and greater efficiency and lasting memory of acquired information are the unquestionable benefits of training with the use of the virtual reality system that simulates three-dimensional models of optical instruments being in the stock of the Polish Navy. As the information from the environment is

gromadzona jest przez człowieka za pośrednictwem zmysłu wzroku, symulacje - oddziałują intensywniej na ten zmysł - dając największe możliwości w procesie uczenia się. Przeprowadzone zajęcia laboratoryjne w oparciu o system modeli 3D pokazują jednoznacznie, iż nauczanie z zastosowaniem symulacji i prezentacji multimedialnych zajmuje mniej czasu. Istotna jest tu jednak nie tylko szybkość przyswajania wiedzy, ale również większa skuteczność wyrażona poziomem utrwalenia przekazywanych informacji, a podniesienie standardu nauczania, wpływa na atrakcyjność uczelni, a przede wszystkim jednak ułatwia zrozumienie studentom skomplikowanych kwestii objętych programem nauczania.

mostly acquired by the eyes of human beings then the simulations act in more intense way into the sense of seeing and provide the greatest possibilities in the process of learning. The laboratory classes carried out with the use of 3D models have clearly indicated that the training process exploiting the simulation and multimedia presentations is shorter. The crucial issue is not only in the rate the knowledge is acquired but also in the greater efficiency that is expressed by the level the transferred information is fixed, and finally in the fact that the higher standard of education attracts the students by helping them to understand complicated questions of the curriculum.

Literatura / Literature

- [1] Chmieliński M., Kobierski Jan W., Symulacja komputerowa w kształceniu słuchaczy AMW, Materiały XIV Konferencji Mechanika w Lotnictwie, Kazimierz Dolny, 24-26.05.2010. Materiały konferencyjne, wyd. Politechnika Warszawska, Kazimierz Dolny 2010.
- [2] Chmieliński M., Kobierski Jan W., Doskonalenie jakości kształcenia w zakresie eksploatacji okrętowej broni raketowej i artylerii. III Konferencja Naukowa LOGMARE'11 „Logistyka morska”. Akademia Marynarki Wojennej w Gdyni. Jastarnia 26 – 28.10.2011.
- [3] Chmieliński M., Kobierski Jan W., Milewski S., Wstępna charakterystyka rzeczywistości wirtualnej, <http://www.scribd.com/doc/23369818/Piotr-Sitarski-Wst%C4%99pna-charakterystyka-rzeczywisto%C5%9Bci-wirtualnej>, 24.04.2012.
- [4] Chmieliński M., Haberek R., Kasprzycki O., System symulacji modeli 3D morskiego uzbrojenia artyleryjskiego i raketowego VIII Konferencja Naukowa nt.: „Kierowanie ogniem systemów obrony powietrznej (przeciwlotniczej)”, KOSOP 2014, wyd. AMW, Ustka, 21-13.05.2014.
- [5] Chmieliński M., Haberek R., Kasprzycki O., Kobierski Jan W., Projekt systemu szkolenia strzelców PPZR GROM w zakresie obrony powietrznej okrętów. VIII Konferencja Naukowa nt.: „Kierowanie ogniem systemów obrony powietrznej (przeciwlotniczej)”, KOSOP 2014.
- [6] Chmieliński M., Haberek R., Kasprzycki O., Możliwości systemu symulacji modeli 3D uzbrojenia morskiego do szkolenia w MW RP. VI Międzynarodowa Konferencja Naukowo-Techniczna NATCon 2014 „Technologie morskie dla obronności i bezpieczeństwa” Gdańsk 24-26.06.2014.
- [7] Chmieliński M., Haberek R., Kasprzycki O., Koncepcja szkolenia w Akademii Marynarki Wojennej w Gdyni na systemie szkolno-treningowym PPZR GROM. VI Międzynarodowa Konferencja Naukowo-Techniczna NATCon 2014 „Technologie morskie dla obronności i bezpieczeństwa” Gdańsk 24-26.06.2014.
- [8] Chmieliński M., Haberek R., Kasprzycki O., Kobierski J., Wirtualna rzeczywistość systemu symulacji trójwymiarowych modeli uzbrojenia morskiego. X Międzynarodowa Konferencja Uzbrojeniowa „Naukowe aspekty techniki uzbrojenia i bezpieczeństwa”

WAT 15-18.09.2014 r.

- [9] Chmieliński M., Gołyga M., Kobierski J., Mroziński L., Nowe trendy i możliwości kształcenia inżyniera przyszłości w AMW. VI Międzynarodowa Konferencja Naukowo-Techniczna NATCon 2014 „Technologie morskie dla obronności i bezpieczeństwa” Gdańsk 24-26.06.2014.



**BEZPIECZEŃSTWO PRACY
W BADANIACH DIAGNOSTYCZNYCH ŚRODKÓW BOJOWYCH**
***THE SAFETY OF WORKING
CONDITIONS AT DIAGNOSTIC TESTS OF ORDNANCE***

Henryk TERENOWSKI, Bogdan KRYSIŃSKI
Wojskowy Instytut Techniczny Uzbrojenia
Military Institute of Armament Technology

Streszczenie: W artykule przedstawiono problematykę inżynierii bezpieczeństwa pracy [3] w badaniach diagnostycznych środków bojowych, które przeprowadza się przede wszystkim po upływie okresu gwarantowanej przydatności technicznej lub w badaniach kontrolnych. Badania takie są nieodzowne do wydania decyzji o czasie i sposobie ich dalszej eksploatacji. Ocena aktualnego stanu technicznego wymaga przeprowadzenia badań poszczególnych podzespołów i elementów. Dostęp do nich uzyskuje się poprzez rozkompletowanie wyrobu. Konstrukcja środków bojowych, jako wyrobów jednorazowego użytku, nie jest podatna na demontaż. Poza tym czas i warunki eksploatacji mają wpływ na zmiany fizykochemiczne użytych do produkcji materiałów, co zwiększa zagrożenie zaistnienia sytuacji niebezpiecznych przy operacjach ich rozkompletowania. W procesie badań środków bojowych na pierwszym miejscu uwzględnia się bezpieczeństwo personelu badawczego. Urzeczywistnia się to poprzez ciągłą i kompleksową analizę czynników, mających wpływ na bezpieczeństwo pracy, we wszystkich operacjach wykonywanych podczas badań w odniesieniu, do każdego wyrobu.

Słowa kluczowe: bezpieczeństwo pracy, bezpieczeństwo środków bojowych, badania, ocena

1. Wstęp

Środki bojowe znajdujące się w wyposażeniu wojsk, a także przeznaczone do użytku cywilnego, są zaliczane do (wyrobów) środków niebezpiecznych, których niekontrolowane działanie, oprócz zagrożenia dla życia

Abstract: The paper presents some issues of the safety of working conditions [3] at diagnostic tests of the ordnance which are carried out after the expiration of warranty periods of technical serviceability or to check its technical status. Such tests are necessary to pass a decision on the extension and conditions of ordnance further service life. Tests of particular subunits and components of ordnance are necessary for realistic evaluation of its technical status. In order to get the access to them a disassembling of piece of ordnance is necessary. The ordnance is disposable equipment in general and its designs are not susceptible to disassembling. Moreover life time and conditions of the service affect the physical-chemical properties of materials used for its fabrication what increases the risk of hazardous situations at disassembling. The safety of the personnel engaged in testing the ordnance is the most important issue. This safety is materialised through continuous and complete analysis of factors affecting the safety of working conditions in all operations performed during tests over particular piece of ordnance.

Keywords: safety of working conditions, safety of ordnance, testing, evaluation.

1. Introduction

Combat assets (ordnance) being on the inventory of troops and also designated to a civilian use fall into a category of hazardous articles which, used without a strict supervision, may threaten the human lives

ludzkiego, może być przyczyną znacznych strat materialnych w rejonie ich eksploatacji. Jednym z czynników mających wpływ na bezpieczeństwo techniczne środków bojowych jest ich stan techniczny. W okresie pokoju zużycie środków bojowych jest stosunkowo niewielkie w porównaniu z ich zapasami. Stan techniczny wszystkich środków bojowych jest ciągle monitorowany poprzez okresowe przeglądy i badania diagnostyczne mające za zadanie określenie wpływu czasu na ich parametry eksploatacyjne. Całokształt spraw dotyczących systemu kontroli jakości i bezpieczeństwa środków bojowych w procesie eksploatacji w resorcie obrony narodowej reguluje instrukcja [5]. Stworzony system zapewnia utrzymywanie środków bojowych w gotowości do ich efektywnego i bezpiecznego użycia oraz eliminowanie środków bojowych niezdatnych do użycia lub niebezpiecznych.

Badania diagnostyczne środków bojowych mają za zadanie ocenę aktualnych wartości parametrów wszystkich podzespołów i elementów, w tym materiałów wysokoenergetycznych, mających wpływ na ich bezpieczną eksploatację oraz niezawodne działanie. Wymaga to rozbioru tych wyrobów na elementy niezbędne do przeprowadzenia badań. Środki bojowe, z racji swego przeznaczenia, mają konstrukcję nie przewidującą wykonywania takich operacji. Z tego względu demontaż środków bojowych wymaga szczególnych uwarunkowań podczas ingerencji w ich strukturę. Proces ten jest ekstremalnie niebezpieczny. Zapewnienie bezpiecznego wykonywania prac ze środkami bojowymi ma szczególne znaczenie dla służb BHP ze względu na poważne następstwa, jakie mogą wyniknąć w przypadku ich niezamierzonego zadziałania, które może nastąpić podczas procesu przygotowania do badań lub wykonywania badań (np. demontaż zapalnika, pobieranie próbek materiału wysokoenergetycznego). Zakres tematyki bezpieczeństwa pracy jest tutaj bardzo szeroki. Począwszy od budynków, pomieszczeń, stanowisk pracy, które muszą spełniać odpowiednie warunki techniczne, ppoż. i bhp, aż po odpowiednio przygotowaną kadrę pracowniczą zajmującą się eksploatacją lub mającą dostęp do środków bojowych. Szczególnie dużą wiedzę, umiejęt-

and also cause significant losses in the area of their deployment. Technical status is one of the factors that affect strongly the safety of ordnance. The use of ordnance during the peace time is relatively insignificant comparing to its stock. Technical status of all pieces of ordnance is permanently monitored through the periodical overhauls and diagnostic tests which are aimed to find out the impact of time into their service parameters. The whole spectrum of issues concerning the system monitoring the quality and safety of ordnance within the service life is regulated in the department of national defence by the instruction [5]. The developed system provides the maintaining of ordnance in readiness for its effective and safe use and the elimination of pieces of ordnance which are unserviceable or hazardous in use.

Diagnostic tests of all ordnance are aimed to evaluate current values of parameters for all subunits and components, including high-energetic materials, affecting its safe service life and reliable operation. For this reason these articles have to be disassembled into components suitable for testing. As it was mentioned earlier the ordnance designs do not take into account that such operations could be performed. It is why the disassembling of ordnance requires specific conditions to be met at interfering into its structure. This process is extremely hazardous. Securing a safe run of works with the ordnance is especially important for the services dealing with the safety and hygiene of working conditions (SHWC) because of the seriousness of consequences arising at unintentional activation of ordnance that may happen in the process of preparation to testing or at the testing (e.g. disassembling a fuse, collecting samples of high-energetic material). The scope of issues concerning the safety of working conditions is very wide. It starts from buildings, compartments and working places which have to meet relevant technical, anti-fire and SHWC requirements and ends in suitably prepared per-

ności oraz odpowiednie cechy psychofizyczne muszą posiadać pracownicy wykonujący bezpośrednie badania środków bojowych, gdzie zachodzi konieczność ich rozkompletowania. Każda wykonywana operacja podczas demontażu może spowodować zadziałanie środka bojowego. W celu zapewnienia bezpieczeństwa prac prowadzonych z środkami bojowymi opracowuje się dokładne procesy demontażu i badań oraz instrukcje stanowiskowe, wymagające w wielu wypadkach konieczności bezpośredniego nadzoru drugiej osoby nad czynnościami wykonywanymi przez osobę realizującą daną operację lub badanie. Stanowiska badawcze i ich wyposażenie muszą spełniać odpowiednie normy mające na celu zabezpieczenia przeciwko różnym zagrożeniom środowiskowym podczas wykonywania badań.

Do badań diagnostycznych są przekazywane partie środków bojowych, których stan techniczny nie jest znany. Z reguły są to środki bojowe, którym skończył się okres gwarancji nadany przez producenta lub okres przydatności technicznej (OPT) nadany przez jednostkę badawczą [5]. Z uwagi na obowiązek zapewnienia bezpieczeństwa personelowi badawczemu, który prowadzi badania środków bojowych o nieznanym stanie technicznym, pierwszym zadaniem w procesie badań diagnostycznych jest określenie stopnia bezpieczeństwa badanej partii przedmiotowych wyrobów. Do tego celu stosuje się aparaturę rentgenowską. Jest to obecnie najlepsza metoda, dzięki której można w sposób bezinwazyjny sprawdzić prawidłowość położenia elementów wewnętrznych wyrobu. Taki wstępny przegląd umożliwia zabezpieczenie się przed nieprzewidywalnymi przypadkami niezamierzonego zadziałania środka bojowego, którego przyczyną mogą być np. nieprawidłowości montażu. Ponadto ma to istotny wpływ na psychikę badacza wykonującego badanie danego wyrobu w kolejnym etapie badań. Metoda bezinwazyjnego rozpoznania prawidłowości montażu badanej partii środków bojowych w pierwszym etapie badań uzasadniona jest między innymi zwiększoną usterkowością środków bojowych produkowanych już od kilkudziesięciu lat [1]. Wykonane analizy wyników badań wykazują zwią-

sonnel that is engaged in servicing and maintenance of the ordnance or has an access to it. Especially high level of knowledge and skills and the relevant psycho-physical qualifications are needed for employees who are engaged directly into testing the ordnance that has to be taken apart. Every disassembling action may cause the ordnance activation. In order to secure the safety of conducted work on the ordnance there have been developed detailed procedures of disassembling and testing, and also the manuals for working set-ups demanding in many cases the presence of another person for surveying the actions or tests performed by the worker. The testing set-ups with the accessories have to meet relevant standards aimed to protect the workers against various environmental threats at testing.

Diagnostic tests are carried out on the lots of ordnance with unknown technical status. It is usually the ordnance for which the period of warranty granted by the manufacturer or a period of technical efficiency (PTE) granted by a testing agency [5] have already expired. Determination of the safety level for tested lot of ordnance products is the first task in the process of diagnostic tests as there is an obligatory duty of securing the safety for personnel testing the ordnance of unknown technical status. The X-ray apparatus is used to do so. Currently it is the best method that provides not invasive examinations for location of internal components of the article. This initial examination prevents unexpected and unintentional activation of ordnance, e.g. caused by poor workmanship. Moreover it has an important impact into the psyche of the man testing an article on the next stages. The use of a not invasive method in the first stage of testing to examine the correctness of assembling for the tested lot of ordnance is justified above all by increased number of defects in the ordnance which has been already manufactured for a few decades [1]. The analyses of test results indicate that there is an in-

szanie liczby negatywnych ocen, ze względu na wady montażu podczas badań diagnostycznych stanu technicznego środków bojowych wyprodukowanych po 1972 r. Spowodowane jest to przede wszystkim niestabilnością procesów technologicznych produkowanych sporadycznie i w niewielkich ilościach wyrobów w tym okresie oraz fluktuacją kadry technicznej w zakładach produkcyjnych. W miarę potrzeb uruchamiana jest produkcja niewielkiej ilości partii wyrobów. Występujące dłuższe przerwy w produkcji, częste stosowanie zamienników materiałowych powodują niestabilność procesów technologicznych, brak jednorodności partii, a zmiany kadrowe fachowców skutkują większą liczbą niezgodności w wyprodukowanych partiach.

Ostatnio trafiają do badań diagnostycznych środki bojowe eksploatowane w misjach pokojowych. Stwierdzone w nich niezgodności bywają zwykle bardziej niebezpieczne podczas demontażu, niż w bezpośrednim użyciu.

Analizując wypadki zaistniałe w związku z eksploatacją i badaniami środków bojowych można stwierdzić, że główną ich przyczyną jest na ogół błąd człowieka wynikający z rutyny lub braku odpowiednio przygotowanych procedur obsługi.

Zapewnienie bezpieczeństwa w badaniach środków bojowych wymaga zaangażowania znacznie większych nakładów inwestycyjnych na bazę materiałowo-techniczną i bezpośrednich środków zabezpieczenia niż w innych dziedzinach techniki. Stąd też badania stanu technicznego środków bojowych są tak pracochłonne i kosztowne.

2. Istota badań środków bojowych

W eksploatacji środków bojowych niepodważalnie najważniejszym wymaganiem jest zapewnienie bezpieczeństwa podczas przechowywania i użycia. Drugim czynnikiem, nie mniej ważnym jest ich niezawodność działania. Spełnienie tych wymagań zależy od odpowiedniego poziomu stanu technicznego wszystkich elementów składowych, jak i całego wyrobu.

Zapewnienie bezpiecznej eksploatacji środków bojowych jest problemem interdyscyplinarnym. Na każdym etapie cyklu życia

crease of negative examinations at diagnostic tests of technical status of ordnance manufactured after 1972 caused by faulty assembling. It stems from the fact of unstable technological processes used to manufacture the articles sporadically and in short lots, and the changing technical personnel in the manufacturing plants. Depending on a demand the manufacture of a small lot of articles is launched. Instability of technological processes and the lack of uniformity within the production lot are caused by longer time intervals without production and material substitutes used, and the greater number of faults within the manufactured lots is caused by changing technical personnel.

The pieces of ordnance used in peace missions have been recently directed to diagnostic tests. The faults spotted in the ordnance are usually more dangerous at disassembling than in direct use.

Studying the accidents that have happened at the using or testing the ordnance it may be stated that in general their main cause is a fault of a man resulting from the routine or the lack of suitably prepared handling procedures.

Significantly greater investment funds are needed for material-technical base and direct supporting equipment to secure the safety at testing the ordnance than in other domains of technology. This is why testing technical status of ordnance is so time consuming and costly.

2. The essence of testing ordnance

The assurance of ordnance safety at storing and using is undoubtedly the most important requirement. The second factor of no less meaning is their functional dependability. The fulfilment of these requirements depends both on the relevant level of technical status of all particular components and the entire article as well.

The assurance of safe use of ordnance is an interdisciplinary issue. The relevant legal conditions and detailed procedures of actions are needed for each stage of ord-

środków bojowych, od projektowania, produkcji, eksploatacji, badań diagnostycznych aż do ich likwidacji i utylizacji, wymagane są odpowiednie uwarunkowania prawne oraz szczegółowe procedury postępowania. Zwykle po upływie okresu przydatności technicznej nadanego przez producenta lub w innych przypadkach konieczne jest określenie aktualnego stanu technicznego partii wyrobu środka bojowego. Uzyskuje się to poprzez szczegółowe badania diagnostyczne laboratoryjne lub poligonowe, zgodnie z odpowiednią metodyką badań.

Celem badań środków bojowych jest ustalenie okresu ich przydatności do dalszej, bezpiecznej eksploatacji, wycofania z eksploatacji z powodu złego stanu technicznego i przekazania do remontu lub utylizacji, w przypadku stanu technicznego zagrażającego bezpieczeństwu. Wymaga to dokładnego przebadania wszystkich części składowych danego środka bojowego, dokonania oceny jego parametrów technicznych na zgodność z dokumentacją techniczną.

Metodyka i procedury badań określają niezbędną liczbę cech środka bojowego, na podstawie których ocenia się jego stan techniczny. Natomiast procesy demontażu, badania i instrukcje stanowiskowe opisują bezpieczny sposób jego rozkompletowania, badania oraz utylizacji pozostałości po badaniach.

Badania i ocena danego środka bojowego wymagają posiadania jego dokumentacji technicznej. Natomiast zdarzają się przypadki kierowania do badań środków bojowych, które nie mają pełnej dokumentacji lub nie mają jej wcale. Stanowi to dodatkowe utrudnienie w badaniach i wymaga zastosowania nadzwyczajnych środków ostrożności oraz bogatej wiedzy eksperckiej do opracowania odpowiednich procedur bezpiecznego postępowania podczas ich demontażu i badań.

Ośrodki naukowo-badawcze wykonujące takie badania zatrudniają w swoich zespołach badawczych specjalistów z różnych dziedzin. Pracownicy ci, oprócz wiedzy merytorycznej, muszą posiadać odpowiednie predyspozycje do pracy ze środkami bojowymi potwierdzone badaniami psychologicznymi. Brak takich

nance service life cycle, starting from the design, production, service, diagnostic tests and ending at liquidation and utilisation. The evaluation of the current technical status for the lot of pieces of ordnance is usually needed after the expiration of serviceability period granted by the manufacturer or in other cases. It can be provided by detailed diagnostic tests carried out in laboratory or field conditions according with a suitable methodology of testing.

The aim of testing the ordnance is to settle the term of time of its further safe serviceability, or the withdrawal from the service caused by a poor technical status and shifting it for repairing or utilisation if this status endangers the safety. It requires all particular components of a piece of the ordnance have to be tested and its technical parameters have to be evaluated for meeting technical documentation specifications.

The required number of characteristics for a piece of the ordnance evaluating its technical status is specified in the methodology and procedures of testing. The workshop working instructions describe the processes and ways of safe disassembling, testing and recycling the materials remaining after tests.

In order to perform the tests and evaluations of a specific piece of the ordnance its technical documentation is needed. Sometimes the ordnance without a complete technical documentation or even without any documentation at all is passed for testing. It is an additional difficulty in testing and requires both the application of some extraordinary precautions and also the comprehensive and special knowledge to develop the appropriate procedures of safe actions at ordnance disassembling and testing.

The centres of scientific-research-testing character, engaged in such tests, employ specialists from different disciplines of technology in testing teams. Such employees have to possess not only comprehensive knowledge but also adequate predispositions for working with the ordnance proved by psychological certificates. The lack of individual psychical predisposi-

osobistych, psychicznych predyspozycji u pracownika powoduje, po pewnym czasie, jego rezygnację z wykonywania tych prac.

Sprawą budzącą wiele kontrowersji jest normowanie prac związanych z badaniami diagnostycznymi środków bojowych. Z punktu ekonomicznego norma czasu wykonania badań jest głównym czynnikiem wpływającym na koszt badań. W przypadku badań diagnostycznych wyznaczanie dokładnych norm nie jest wskazane, a egzekwowanie pracy według ustalonych norm jest wręcz niebezpieczne. Ta sama czynność szacowana na wykonanie w określonej jednostce czasu, w przypadku jakichkolwiek odstępstw od "normalności" badanego wyrobu może trwać kilkanaście razy dłużej, ponieważ zamiast wykonać ją w sposób klasyczny trzeba korzystać ze specjalnego stanowiska i oprzyrządowania do wykonywania prac niebezpiecznych. Nawet doświadczeni pracownicy, z wieloletnim stażem pracy, nie są w stanie określić ile czasu im zajmie wykonanie demontażu np. znanego typu zapalnika, który już wielokrotnie poprzednio demontowali. Podają jedyną, rozsądną w takich warunkach normę – „tyle czasu ile będzie potrzeba”.

Jedną z głównych przyczyn takiej sytuacji jest fakt, że wiele środków bojowych jest nierozbieralnych. Stosuje się do montażu połączenia nierozłączne (np. zapalnik DC-1), a połączenia rozłączne np. gwintowane są uszczelniane klejami (np. głowice do RPG-76) lub masami uszczelniającymi, powodującymi zatarcia powierzchni łączących (np. zapalniki typu RGM). Dlatego też szacowanie norm czasu pracy, dla operacji niebezpiecznych przeprowadza się statystycznie na bazie wielu badanych partii. Pozostałe, bezpieczne prace wykonywane w procesie badań diagnostycznych, dla których określono dokładne normy, są i tak limitowane przez wykonanie demontażu.

Zapewnienie bezpieczeństwa w badaniach środków bojowych stanowi pierwszoplanowe zadanie dla zespołów badawczych. Powoduje to znaczny wzrost czasu pracy i nakładów ponoszonych na wykonywanie tych badań.

tions of this kind makes the employee resign from such work after some time.

A controversial issue is the standardisation of the work connected with ordnance diagnostic tests. From the point of economics the nominal time for performing tests is the main factor affecting the cost of tests. In case of diagnostic tests the setting of precise standards (nominal times) is not recommended, and the exacting of the work according to settled standards is even dangerous. The same operation, which has been estimated for performance within a specific time, may last a dozen times longer if any differences from the "normality" occur, and it has to be made by using a specialised stand with accessories for hazardous operations, instead of conventional tools and procedures. Even the workers with many years of experience are not able to say precisely what time is needed for disassembling e.g. a fuse of the type that is known to them and that was earlier dismantled by them for many times. They give only one sensible answering – as much as is needed.

One of the reasons of this situation is a fact that a lot of pieces of ordnance are not dismountable. At their fabrication the joints are used without possibilities of disconnecting (e.g. fuse DC-1), or the dismountable joints e.g. the threaded ones are sealed with adhesives (e.g. the heads for RPG-76) or other sealing stuff that causes the seizures between connected surfaces (e.g. fuses of RGM types). This is a reason why the estimation of nominal times for hazardous operations is carried out on the base of statistical data taken from many tested lots. After all, the remaining safe operations carried out at diagnostic testing, for which the precise standards are specified, have to wait for completing the disassembly.

The assurance of the safety at testing the ordnance is a task of the first priority for testing teams. It results in significant increase of time and funds borne for performing the tests.

3. Źródła zagrożenia bezpieczeństwa pracy w badaniach środków bojowych

Głównym zagrożeniem bezpieczeństwa pracy w badaniach diagnostycznych środków bojowych jest ich demontaż. Wymagania techniczne i konstrukcje środków bojowych są opracowywane pod kątem bezpiecznej eksploatacji i niezawodności działania.

W zależności od rodzaju środka bojowego, przewidywane są pewne operacje remontowe, którym dany środek może być poddany. Konstruktor, generalnie, nie zakłada przeprowadzania prac demontażu na poszczególne detale skompletowanego wyrobu. Stąd też ingerencja człowieka w jego strukturę jest tak niebezpieczna.

Natomiast, w przypadku badań diagnostycznych koniecznością jest dotarcie do poszczególnych elementów wyrobu, a więc demontaż na niezbędne do badań detale mechaniczne oraz zawierające materiały wybuchowe. Należy zaznaczyć, że przeważająca liczba elementów środków bojowych nie jest przewidziana konstrukcyjnie do ich demontażu.

W zakresie źródeł zagrożenia bezpieczeństwa przez środki bojowe rozpatruje się cały dotychczasowy cykl życia danego środka bojowego pod względem konstrukcji, procesów produkcji, czasu i warunków eksploatacji.

Przystępując do opracowywania procesu demontażu na podstawie dokumentacji konstrukcyjnej, analizowane są wszystkie czynności niezbędne do rozcalenia wyrobu pod kątem możliwości wystąpienia zagrożeń.

Dużą uwagę poświęca się środkom bojowym skierowanym do badań, które mają znacznie przekroczony okres przydatności technicznej. Zmiany starzeniowe materiałów mogą powodować nieprzewidywalny wpływ na parametry techniczne poszczególnych podzespołów. Eksploatacja bez systematycznej oceny stanu technicznego stwarza łańcuch zagrożeń, począwszy od bezpośrednich użytkowników, poprzez transport, zagrożenie bezpieczeństwa magazynów itp.

Szczególne zagrożenie bezpieczeństwa stwarzają środki bojowe, które powinny być

3. Sources of threat for the safety of working conditions at testing the ordnance

The main threat for the safety of working conditions at diagnostic tests of the ordnance is the stage of its disassembling. Technical requirements and designs of the ordnance are focused on providing the safe use and reliable operation.

Depending on the category of the ordnance some repairs may be predicted for it. In general its designer does not assume that any disassembling of a completed article into particular parts could be made. Thus any interference of a man into its structure is really dangerous.

From the other side it is necessary at diagnostic tests to get access to particular components of the article what requires it has to be taken apart into mechanical subunits which may include explosive materials. It has to be noted that most of components of the ordnance are not designed for any disassembling at all.

The whole service life cycle for a piece of the ordnance with its design, process of manufacture, service duration and conditions is taken into account to analyse the sources of threat for the safety created by the ordnance.

All operations needed for dismembering the article are analysed from the point of possible threats when an approach is taken to prepare a description of disassembling process on the base of designing documentation.

Special attention is devoted to pieces of the ordnance taken for testing for which the time of serviceability is overrun significantly. The processes of material ageing may cause an unpredictable impact into technical parameters of particular subunits. A chain of threats is created for direct users, transport, storing facilities, etc. when the ordnance is used without technical status being systematically evaluated. The pieces of the ordnance which have to be withdrawn from the use because of their technical status, but instead were directed by a chance for diagnostic tests, create

wycofane z eksploatacji ze względu na swój stan techniczny, a zostały przypadkowo skierowane do badań diagnostycznych. Z reguły są one identyfikowane w pierwszym etapie procesu diagnostycznego dzięki posiadanej bazie danych ewidencyjnych zbadanych partii przedmiotowych środków.

Oprócz obiektywnych zagrożeń, wynikających z konstrukcji, w badaniach diagnostycznych środków bojowych w procesie badawczym należy uwzględnić także czynniki subiektywne zależne od człowieka.

Szczególnie niebezpieczny jest czynnik związany z wielokrotnie powtarzanymi, tymi samymi operacjami podczas przygotowania do badań i rozkompletowania środków bojowych. Rutyna pracownika zmniejsza jego uwagę konieczną do zapewnienia aspektów bezpieczeństwa pracy. Dlatego też, dla większości prac, procedury stanowiskowe przewidują udział drugiej osoby nadzorującej operacje wykonywane przez wykonawcę.

Nierzadko zachodzi konieczność konsultacji grupy fachowców w celu analizy przyczyn stwierdzonej niezgodności i jej wpływu na bezpieczeństwo i niezawodność działania danego środka bojowego.

Istotny, negatywny wpływ na bezpieczeństwo pracy mają krótkie terminy realizacji zadań. Zleceniodawcy nierzadko zgłaszają prace o bardzo krótkich terminach wykonania. Wykonawca natomiast nie mogąc wywierać presji na pracownikach, w celu przyspieszenia wykonywania czynności szczególnie niebezpiecznych, zmuszony jest do zatrudnienia większej liczby pracowników o wąskich specjalnościach, ale wysokich kwalifikacjach i predyspozycjach adekwatnych do określonych prac, którzy przez część roku nie są wykorzystywani zgodnie ze swoimi kwalifikacjami. W tym obszarze zasady bhp są przestrzegane rygorystycznie.

4. Zapobieganie zagrożeniu bezpieczeństwa badań

Czynności demontażu środka bojowego skierowanego do badań są jednym z końcowych etapów prac w całym procesie badawczym i ocenowym nowowprowadzanego środka bojowego.

a special threat for the safety. They are usually identified in the first stage of diagnostic process thanks to the owned data base where all tested lots of the ordnance have been registered.

Apart of objective threats existing in diagnostic tests of the ordnance resulting from its design there are also the subjective factors depending on human being which have to be taken into account.

The factor connected with identical operations which are repeated many times at preparation of the ordnance for testing and its disassembling is especially dangerous. This routine of a worker reduces his concentration that is needed to ensure the safety of working conditions. For this reason the operating workshop procedures require the presence of a second person surveying the operations of the operator.

Sometimes a need arises to consult a team of experts in order to analyse the reasons of spotted incorrectness and its impact into the safe and dependable operation of a particular piece of the ordnance.

Short terms of time for performing the assignments have an essential and negative impact into the safety of working conditions. The customers often are interested in very short terms of time for performing the work. The contractor on his turn is forced to employ a greater number of employees with narrow specialisation, possessing high qualifications and predispositions which are adequate to specific types of work, but who are not used according to their qualifications through a significant part of the year, as he cannot exert any pressure on the personnel to shorten the time of particularly hazardous operations. The rules of the safety working conditions are strictly observed in this domain.

4. Preventing endangering the safety of tests

The operations of disassembling a piece of the ordnance directed for testing belong to one of the last stages of the whole process of testing and evaluation for the newly implemented ordnance.

W opracowywaniu takiego procesu typuje się tylko te jego cechy, które są niezbędne do oceny i wydania odpowiedniej decyzji co do sposobu i czasu dalszej eksploatacji przedmiotowej partii produkcyjnej.

Najszerszy zakres badań prowadzony jest w obszarze cech decydujących o ocenie bezpieczeństwa i niezawodności działania. Natomiast przy wykonywaniu badań dotyczących określenia bezpieczeństwa transportu lub utylizacji rozpatruje się tylko te cechy wyrobu, które mają wpływ na te czynności. W ten sposób upraszcza się zakres prac obejmujących badanie danego wyrobu.

Do badania wytypowanych cech wyrobu stosuje się odpowiednie metody w celu zminimalizowania konieczności wykonywania niebezpiecznych operacji. Na przykład zastosowanie urządzenia rentgenowskiego do bezinwazyjnego przeglądu struktury wewnętrznej środków bojowych pozwala na wyeliminowanie egzemplarzy niebezpiecznych, które posiadają poważne niezgodności wynikające z nieprzestrzegania procesów produkcji lub niewłaściwej eksploatacji (fot 1).

The development of such a process is based only on the consideration of characteristics of the ordnance which are necessary for evaluating and passing the decision concerning the ways and terms of time for further use of its production lot.

The widest range of tests is carried out for the characteristics deciding about the evaluation of the safety and reliability of operation. If the testing activities concern the level of safety at transportation or utilisation then only these characteristics of the article which directly affect them are taken into account. In this way the range of work for testing a specific article is limited.

The selected characteristics of the article are tested by using relevant methods for limiting the needs for conducting dangerous operations. For example the application of an X-ray apparatus for non invasive examination of the internal structure of a piece of ordnance allows for the elimination of dangerous items which have some serious defects resulting from the defaults of production workmanship or service life (Photo 1).



Fot. 1. Stanowisko rentgenowskie do badań środków bojowych

Photograph 1. X-ray apparatus for testing the ordnance

Metoda ta pozwala na rozpoznanie wyrobów niezgodnych z dokumentacją konstrukcyjną, ocenę tych niezgodności i wypracowanie decyzji co do dalszych czynności badawczych (fot. 2). Pojawienie się takich eg-

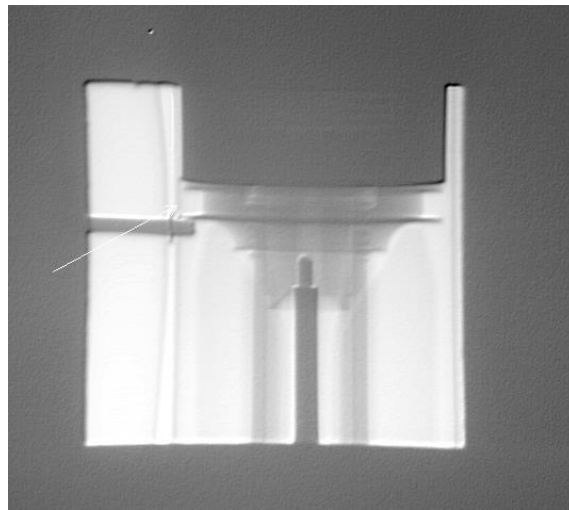
The method allows the identification of the articles which are not in line with design documentation, the evaluation of these discrepancies and making the decision about further testing activities (Photograph 2). The

zemplarzy w próbcie ma oczywiście, adekwatny do zagrożenia, wpływ na ocenę końcową całej partii produkcji wyrobu.

Zjawiska fizykochemiczne zachodzące w materiałach użytych do produkcji wyrobów mają wpływ na stan poszczególnych elementów wyrobu. Pojawiająca się korozja wewnętrznych części mechanicznych, wypyleń i wycieki z materiałów wysokoenergetycznych wpływają na zwiększenie uwagi przy demontażu lub podjęcia decyzji o jego zaniechaniu.

appearance of such items in a tested sample affects of course the final evaluation of the whole production lot of the article by a degree that is adequate to the threat.

The phenomena occurring within the materials used for fabrication of products affect the status of particular components of the article. Each case of corrosion of internal mechanical parts, or any dusting or leaking of high-energetic materials results in increased concentration level of personnel at disassembling or resigning from it.



Fot. 2. Niezgodność procesu produkcji – kolek blokujący ruch pocisku PG-76 w wyrzutni granatnika RPG-76 znajduje się poza gniazdem w pocisku

Photograph 2. A manufacture fault – the pin arresting the movement of projectile PG-76 in the grenade launcher RPG-76 is located beyond the locating recess of the projectile

4.1. Stanowiska badawcze do wykonywania prac szczególnie niebezpiecznych

W przypadku wykonywania szczególnie niebezpiecznych czynności dotyczących demontażu środków bojowych lub pobierania próbek materiałów wysokoenergetycznych, prace te wykonywane są na stanowiskach specjalnie do tego przystosowanych. Stanowiska te są usytuowane w bezpiecznej odległości od wszelkiej infrastruktury. Wyposażenie stanowisk pozwala na zdalne sterowanie urządzeniami i wykonywanymi czynnościami.

4.1. Testing set-ups for highly hazardous operations

If there is a need to perform extremely hazardous operations concerning the disassembling of the ordnance or collecting the samples of high energetic materials then specially prepared set-ups are used. These set-ups are placed in the safe distance from other facilities. The equipment used in such set-ups allows for the pieces of this equipment and the operations to be controlled remotely.

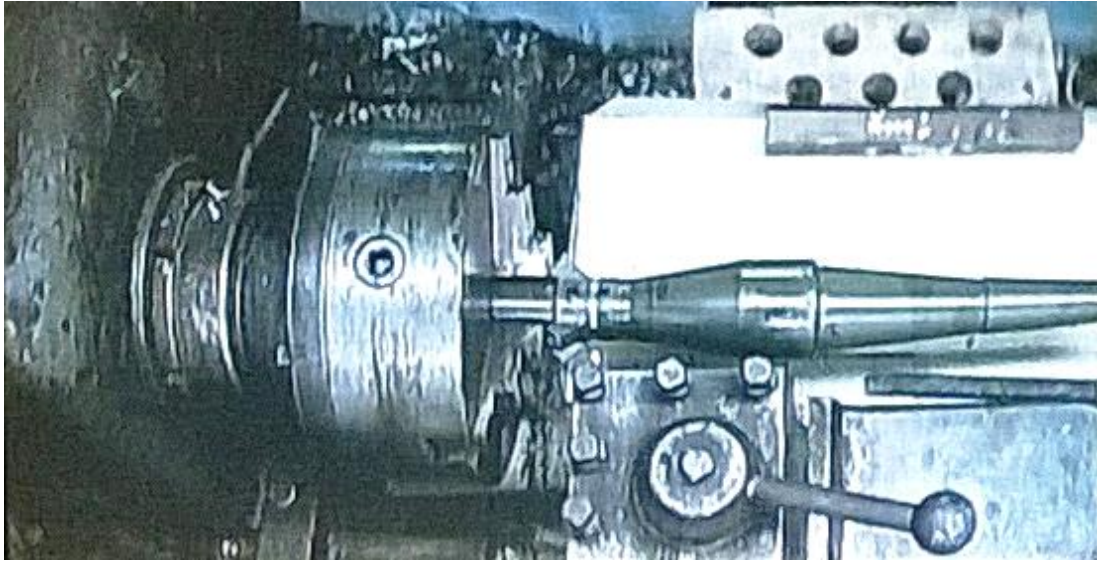


Fot. 3. Ogólny widok stanowiska do prac szczególnie niebezpiecznych.
Pobieranie materiału wysokoenergetycznego do badań laboratoryjnych

Photograph 3. A general view of a set-up for extremely hazardous operations.
Collecting the high energetic material for laboratory testing



Fot. 4. Stanowisko sterowania urządzeniami do wykonywania prac niebezpiecznych
Photograph 4. Panel controlling the system used for extremely hazardous operations



Fot. 5. Rozkmpietowanie środka bojowego. Widok na stanowisku sterowania
Photograph 5. A piece of ordnance at disassembling. Display on the control panel monitor

5. Przykłady realnych zagrożeń bezpieczeństwa pracy badanych środków bojowych

W czasie oględzin zewnętrznych skierowanej do badań partii pocisku OG-9, stwierdzono wyciek brunatnej, oleistej cieczy na zewnątrz pocisku. Z zachowaniem środków ostrożności pobrano do badań chemicznych próbkę tej cieczy. Stwierdzono w niej dużą zawartość trotylu, co wskazało, że był to tzw. olej trotylowy. Substancja ta zawiera 2,4,6-trinitrotoluen oraz jego mono- i dinitro-pochodne, które w trakcie przechowywania w podwyższonej temperaturze mogą ulec wtórnej niekontrolowanej krystalizacji, zwiększając zagrożenie przypadkowym wybuchem.

W przypadku wniknięcia i skryształizowania mieszaniny trotylu z mono- i dinitro-pochodnymi w połączenie gwintowe zapalnika z korpusem pocisku, w momencie wystrzału lub próbie odkręcenia zapalnika, oddziaływanie mechaniczne na te kryształy może spowodować ich pobudzenie. Zdarza się, że olej trotylowy wydostaje się na zewnątrz pocisku i krystalizuje na jego powierzchni, przypominając kolorem powłokę smaru (fot. 6) [2].

2. Examples of actual risks for the safety of working conditions at testing the ordnance

During the visual examination of the samples of OG-9 projectile a leaking of brown oil liquid has been observed on the external parts of the projectile. Maintaining all precautions a sample of the liquid has been taken for testing. It was stated that its contents included a large amount of trotyl what suggested that it could be so called trotyl oil. This stuff consists of 2,4,6-trinitrotoluen and its mono- and dinitro-derivatives which may be the subject of secondary uncontrolled crystallisation when stored at increased temperatures and in effect it may create a risk of a casual explosion.

If the mixture of TNT with mono- and dinitro- derivatives penetrates the threaded joint between the fuse and body of the shell then the mechanical impact on these crystals may cause their initiation at firing or unscrewing the fuse. Sometimes it happens that the trotyl oil gets outside the projectile and crystallises on its surface in the form of a grease coating (Photograph 6) [2].



Fot. 6. Olej trotylowy na powierzchni pocisku OG-9 zapakowanego w hermetyczne opakowanie foliowe
Photograph 6. Trotyl oil on the surface of OG-9 projectile within a sealed foil

Zdarza się, że na zewnętrznej powierzchni pocisku nie ma śladu oleju trotylowego. Jednak posiadając wiedzę i duże doświadczenie w zakresie badania środków bojowych jest wiadomym, w których wyrobach można się spotkać z tym zagrożeniem. Wtedy należy operację wykręcania np. zapalnika wykonywać na specjalnym stanowisku do bezpiecznego wykonywania tej operacji. Przykład obecności oleju trotylowego na powierzchni trotylu stwierdzonej po wykręceniu zapalnika przedstawiono na fot. 7 [2].

In some cases there is no trace of trotyl oil on the surface of a projectile. But workers, armed with a comprehensive knowledge and experience on testing the ordnance, know quite well the products where this threat may be spotted. In such a case the operation of e.g. unscrewing a fuse has to be performed on the special stand for safe operations. An example of the presence of trotyl oil on the surface of the trotyl observed after unscrewing the fuse is presented on photograph 7 [2].



Fot. 7. Olej trotylowy na powierzchni trotylu w pocisku OG-9

Photograph 7. Trotyl oil on the surface of the trotyl in OG-9 projectile

Niezgodnością szczególnie niebezpieczną, która może spowodować niekontrolowane zadziałanie amunicji, jest pylenie materiału wybuchowego znajdującego się wewnątrz pocisku lub w zapalniku. Przyczyną tego zjawiska jest jego wadliwe zaprasowanie lub wklejenie. Odrywające się od powierzchni materiału wybuchowego cząsteczki, w wyniku wymuszeń zewnętrznych oddziałujących na amunicję w procesie jej eksploatacji (np. transport, prace przeładunkowe), przemiesz-

The dusting of the explosive material included within a projectile or fuse belongs to especially dangerous faults which may cause the uncontrolled activation of the ammunition. This is caused by defective pressing or gluing. The particles of explosive material, separating from its surface in the result of external expositions acting against the ammunition during the service life (e.g. transport, reloading), displace inside the

czają się wewnątrz skorupy pocisku lub zapalnika i osadzają się w różnych miejscach.

W przypadku pocisku mogą to być np. przestrzenie w połączeniu gwintowym zapalnika ze skorupą pocisku, a w przypadku zapalników cząsteczki materiału wybuchowego mogą przemieścić się w całej jego objętości. Jakikolwiek mechaniczne oddziaływanie na te cząsteczki, np. tarcie o zwoje gwintu podczas wykręcania zapalnika czy gwałtowne uderzenie twardego elementu zapalnika w cząsteczki pyłu pokrywające inny twarde element, może spowodować pobudzenie tych cząsteczek, a w rezultacie pobudzenie zasadniczego materiału wybuchowego. Przykładowe ślady pyłu materiału wybuchowego na elementach wewnętrznych zapalnika artyleryjskiego przedstawiono na fot. 8 i 9 [2].

shell or fuse and deposit in different places.

In the case of the projectile it may be the places in the threaded joint between the fuse and the shell and in case of the fuse the particles of explosive material may move inside all its volume. Any type of mechanical impact into these particles e.g. the friction in the thread at unscrewing the fuse or a sudden strike of a hard component of the fuse into the particles of the dust covering another hard component may cause the activation of these particles leading finally to the initiation of the main charge. Some exemplary traces of explosive material dust visible on internal components of an artillery fuse are presented on photographs 8 and 9 [2].



Fot. 8. Wypylony materiał wybuchowy kruszący w kanale ogniowym w główce zapalnika typu RGM

Photograph 8. High explosive material dusted in the head of fuse RGM firing channel



Fot. 9. Wypylony materiał wybuchowy kruszący wokół kanału ogniowego w korpusie zapalnika typu RGM

Photograph 9. High explosive material dusted around the firing channel in the body of RGM type fuse

Inną niezgodnością, mogącą być przyczyną wybuchu pocisku w momencie wystrzału, jest

Another fault that may cause the explosion of a projectile at firing is a dis-

nieciągłość wewnątrz materiału wybuchowego w postaci wolnej przestrzeni wypełnionej powietrzem (fot. 10). Niezgodność ta powstała podczas niewłaściwie wykonanej operacji elaboracji skorupy pocisku materiałem wybuchowym kruszącym. W przypadku wystąpienia przeciążenia o odpowiedniej wartości podczas wystrzału, następuje nagrzewanie ośrodka przy redukcji powstałych wolnych przestrzeni powodowanych lepkością lub lepkosprężystością odkształcanego materiału wybuchowego w ich pobliżu. Może to spowodować pobudzenie materiału wybuchowego [4].

continuity inside the explosive material having the form of a free space filled with the air (Photograph 10). This fault is created by improper operation of filling the crust of the shell by the high explosive material. In case of accelerations of relevant values occurring at firing the material is subjected to heating and in the same time the free spaces are subjected to reduction caused by the viscosity or viscosity-elasticity of the deformed adjacent explosive material [4].



Fot. 10. Pęcherz powietrza znajdujący się wewnątrz materiału wybuchowego kruszącego
Photograph 10. An air bubble inside the high explosive material

Wnioski

1. Zapewnienie bezpieczeństwa prac wykonywanych w badaniach diagnostycznych środków bojowych, w celu wydania wyczerpującej oceny aktualnego stanu technicznego, wymaga dokładnego przygotowania odpowiednich procedur, ograniczających ingerencję człowieka w strukturę wewnętrzną wyrobu do niezbędnego minimum.
2. Czynności szczególnie niebezpieczne należy wykonywać na stanowiskach z urządzeniami zdalnie sterowanymi z bezpiecznego miejsca.
3. Należy przeprowadzać systematycznie badania stanu technicznego środków bojowych i usuwać z eksploatowanego zasobu środki bojowe ocenione jako niebezpieczne

Conclusions

1. The assurance of the safety for the operations performed at diagnostic tests of ordnance aimed to develop a complete evaluation of its current technical status requires the accurate preparation of suitable procedures which limit to absolute minimum the interference of the man into the internal structure of an article.
2. All especially hazardous operations have to be performed on the stands equipped with instruments which can be remotely operated from a safe site.
3. Technical status of ordnance has to be tested in a regular way and all pieces of ordnance assessed as hazardous or unsuitable for further service have to

- | | |
|---|---|
| lub nieprzydatne do dalszego użytkowania. | be removed from the inventory. |
| 4. Szczególne środki ostrożności należy przewidywać w stosunku do partii środków bojowych, których okres przydatności technicznej minął wiele lat temu. | 4. Especial level of precautions has to be applied at treating the lots of ordnance for which the period of serviceability passed many years ago. |
| 5. Czas realizacji zadania nie powinien wywierać presji na wykonywanie prac niebezpiecznych w badaniach diagnostycznych środków bojowych. | 5. All dangerous operations at diagnostic tests of ordnance have not to be performed under any pressure of the time. |

Literatura / Literature

- [1] W. Goryca, J. Knychała. *Ocena bezpieczeństwa i niezawodności działania środków bojowych w nowej sytuacji eksploatacyjnej*, XIV Konferencja Naukowo-Techniczna. Rynia maj 2005.
- [2] B. Krysiński, A. Kamińska-Duda. *Problemy Techniki Uzbrojenia*, Rok XLIII, Zeszyt 130 1/2014, str. 59 *Szczególne przypadki wad materiałów wybuchowych*
- [3] E. Kołodziński. *Metodologia badań bezpieczeństwa narodowego. Bezpieczeństwo 2010. Tom I. AON. Inżynieria bezpieczeństwa – nowa dyscyplina naukowa w dziedzinie nauk technicznych.*
- [4] Andrzej Maranda, *Górnictwo i Geoinżynieria*, Rok 28, Zeszyt 3/1, 2004. *Metody badania wrażliwości materiałów wybuchowych na bodźce zewnętrzne w aspekcie przepisów ADR oraz norm polskich i europejskich.*
- [5] *Instrukcja o kontroli jakości i bezpieczeństwa środków bojowych w procesie eksploatacji w resorcie obrony narodowej sygn. Logis 3/ 2010.*



BADANIA WŁAŚCIWOŚCI HETEROGENICZNYCH STAŁYCH PALIW RAKIETOWYCH NA BAZIE KAUCZUKU HTPB

TESTING THE PROPERTIES OF HETEROGENEOUS SOLID ROCKET PROPELLANTS BASED ON HTPB RUBBER

Rafał BOGUSZ, Bogdan FLORCZAK, Tomasz SAŁACIŃSKI

Instytut Przemysłu Organicznego

Institute of Organic Industry

Arkadiusz DZIK

Zakład Produkcji Specjalnej „GAMRAT” sp. z o. o.

Special Production Plant „GAMRAT” Ltd.

Streszczenie: W pracy przedstawiono wyniki badań wybranych właściwości fizykochemicznych i balistycznych heterogenicznych stałych paliw raketowych (HSPR) na bazie kauczuku HTPB, chloranu(VII) amonu oraz pyłu aluminiowego różniących się zawartością i rodzajem modyfikatora szybkości spalania (2,2'-bis(etyloferrocenyl)opropan (katocen), Fe_2O_3 , $\text{Cu}_2\text{Cr}_2\text{O}_5$). Badania właściwości balistycznych przeprowadzono w układzie laboratoryjnego silnika raketowego (LSR), w którym spalano prostopadłościennie kształtki HSPR pozwalające metodą pośrednią na określenie szybkości spalania w funkcji ciśnienia produktów spalania w komorze LSR.

Słowa kluczowe: heterogeniczne stałe paliwo raketowe, kauczuk HTPB, liniowa szybkość spalania, laboratoryjny silnik raketowy

1. Wstęp

Heterogeniczne stałe paliwo raketowe (HSPR) składa się ze stałych cząstek utleniacza, cząstek stałych dodatków (np. pyłu aluminiowego (Al)) oraz cząsteczek substancji ciekłych (np. plastyfikatorów) równomiernie rozmieszczonych w matrycy polimerowej pełniącej rolę lepiszcza i paliwa. Matrycę polimerową stanowi gumo podobny poliuretan otrzymany w wyniku chemoutwardzania ciekłego syntetycznego kauczuku, zawierają-

Abstract: This paper presents some results of tests of selected physicochemical and ballistic properties of heterogeneous solid rocket propellants (HSRP) based on HTPB rubber, chlorate(VII) ammonium and aluminium dust with different contents and type of burning rate modifier (2,2'-bis(ethylferrocenyl) propane (catocene), Fe_2O_3 , $\text{Cu}_2\text{Cr}_2\text{O}_5$). A laboratory rocket motor (LRM) was used for testing ballistic properties of the rectangular slabs of HSRP in order to assess by an indirect method the burning rate of the HSPR slabs depending on the pressure of combustion products in the LRM chamber.

Keywords: heterogeneous solid rocket propellant, HTPB rubber, laboratory rocket motor, linear burning rate

1. Introduction

Heterogeneous solid rocket propellant (HSRP) consists of solid particles of an oxidiser, solid particles of additives (e.g. aluminium dust (Al)) and particles of liquid substances (e.g. plasticisers) which are uniformly distributed within a polymeric matrix (conttexture) that plays a role of an adhesive and propellant. The polymeric matrix is a quasi-rubber polyurethane received in the result of chemical hardening

cego grupy funkcyjne (powszechnie stosowany jest kauczuk polibutadienowy zawierający terminalne grupy hydroksylowe, tzw. HTPB) z dwufunkcyjnym izocyjanianem (np. DDI). Utleniacz w HSPR występuje w postaci mieszaniny dwóch frakcji granulometrycznych - drobnokrystalicznej (rzędu 0,1 mm) i sproszkowanej (rzędu 0,01 mm).

Polimeryczny składnik palny spełnia rolę lepiszcza ponieważ wiąże wszystkie cząstki utleniacza i innych stałych dodatków w polimerycznej matrycy (osnowie), tworząc kompozytowe ciało stałe. Stąd też paliwa tego typu nazywane są kompozytowymi. Oprócz stałego utleniacza, lepiszcza i proszków metali, HSPR zawierają szereg innych składników, takich jak, dodatki modyfikujące właściwości balistyczne, plastyfikatory, antyutleniacze, katalizatory utwardzania oraz substancje wiążące w celu uzyskania odpowiednich technologicznie właściwości HSPR. Składniki stałe (głównie utleniacz, dodatki energetyczne) powinny charakteryzować się odpowiednim rozkładem mas cząsteczkowych, a syntetyczny kauczuk odpowiednią masą cząsteczkową, lepkością i bardzo niską temperaturą zeszklenia. Innymi słowy HSPR to wysokonapełnione polimerowe kompozycje palne zawierające stałe sproszkowane wypełniacze (utleniacze, proszki metali), to także mieszaniny związków i substancji chemicznych zarówno organicznych jak i nieorganicznych, których właściwości fizykochemiczne i fizykomechaniczne zależą od składu komponowanego paliwa, a właściwości balistyczne dodatkowo od zawartości modyfikatorów szybkości spalania. HSPR, jako materiały wysokoenergetyczne mają zastosowanie do wytwarzania z nich ładunków napędowych różnego kształtu, rodzaju (związanych ze ścianą komory silnika rakietowego lub wolnostojących – o podwyższonej twardości) oraz przeznaczenia (np. rakiet bliskiego i średniego zasięgu, jak też do niektórych typów stopni rakiet kosmicznych). Utleniacz, zwykle chloran (VII) amonu (NA) i proszek metalu, zwykle pył Al, wprowadzane są w podwyższonej temperaturze do roztworu ciekłego kauczuku HTPB, plastyfikatora i środka utwardzającego, gdzie tworzą w procesie utwardzenia w podwyższonej tem-

of liquid synthetic caoutchouc including the functional groups (poly-butadiene with terminal hydroxyl groups, called as HTPB, is commonly used) with bi-functional isocyanine (e.g. DDI). The oxidiser in the HSRP has a form of a mixture of two grain fractions – fine crystalline (ca. 0.1 mm) and powdered (ca. 0.01 mm).

A polymeric burning component is the adhesive as it binds all particles of the oxidiser and other solid additives within the polymeric matrix (carcass) creating a composite solid body. For this reason these propellants are named as composite ones. Apart of the solid oxidiser, adhesive and powders of metals the HSRP includes the other components like the additives modifying ballistic characteristics, plasticisers, anti-oxidisers, hardening catalysts, and binding substances providing suitable technological properties for the HSRP. Solid components (mainly the oxidiser and energetic additives) have to be characterised by a relevant distribution of molecular masses, and synthetic rubber by a relevant molecular mass, viscosity, and very low temperature of glassing. In other words the HSRP are the densely filled polymeric combustive compositions including solid powdered fillers (oxidisers, powders of metals), and also the mixtures of chemical compounds and substances, both organic and inorganic, with physical-chemical and physical-mechanical properties depending on the composition of a particular propellant, and the ballistic properties additionally on the percentage of burning rate modifiers. The HSRP are used as high energetic materials for the fabrication of propelling charges in various shapes and types (bond to the wall of rocket motor combustion chamber or arranged independently – with increased hardness), and designations (e.g. for rockets of short or medium ranges and for some types of stages of space rockets). The oxidiser, usually ammonium (NA) chlorate (VII), and metal powder, usually aluminium powder, are mixed at increased temperatures of 50–80 °C with a solution of liquid rubber HTPB, plasticiser and

peraturze 50–80°C kompozytowe ciało stałe [1÷7]. Zawartość cząstek stałych w tego typu kompozycjach wynosi 82÷ 89% [8].

Przeprowadzono badania właściwości termicznych, termochemicznych (kaloryczność, temperatura rozkładu), mechanicznych (twardość, wrażliwość na tarcie i uderzenie) oraz balistycznych obejmujących określenie zależności ciśnienia produktów spalania w komorze spalania laboratoryjnego silnika raketowego (LSR) w funkcji czasu oraz liniowej szybkości spalania od ciśnienia produktów spalania w LSR otrzymanych próbek HSPR.

2. Badanie wybranych właściwości użytkowych paliw raketowych

2.1. Otrzymywanie próbek HSPR

Masę paliwową otrzymywano metodą mieszania składników w laboratoryjnym mieszalniku planetarnym firmy NETSCH PM o pojemności użytkowej 0,7 l.

Próbki HSPR otrzymywano metodą odlewania mas paliwowych do form umieszczonych w zestawie składającym się z: komory z płaszczem grzejnym, leja podawczego z regulacją prędkości dozowania, termostatu, pompy próżniowej oraz wibratora. Po napełnieniu form półpłynną masą paliwową wstawiano je do termokomory w celu utwardzenia paliwa.

Wszystkie uzyskane masy paliwowe zostały wykonane zgodnie z poniższą procedurą:

- Włączono termostat i ustabilizowano temperaturę płaszcza grzejnego na poziomie 60°C.
- Do naczynia mieszalnika dodano w zależności od przygotowywanej próbki następujące składniki: kauczuk HTPB R45M, adypinian dioktylu (ADO), Lecyтынę, Hx-752, Tepanol[®], antyutleniacz (AO), Katocen lub Fe₂O₃ lub Cu₂Cr₂O₅ i mieszano przez 15 min przy prędkości 175 obr/min pod ciśnieniem atmosferycznym.
- Do otrzymanej mieszaniny dodano pył aluminiowy, a następnie mieszano 10 min

hardening agent to create a composite solid body [1÷7]. The contents of solid particles in these compositions are 82÷ 89% [8].

Received samples of HSRP have been tested on thermal, thermo-chemical (caloric power of fuel, temperature of decomposition), mechanical (hardness, sensitivity against friction and impact) and ballistic properties, covering the determination of a relation between the pressure of combustion products in the laboratory rocket motor (LRM) combustion chamber and time, and the linear burning velocity versus the pressure of combustion products in LRM.

2. Testing selected functional characteristics of rocket propellants

2.1. Preparation of HSRP samples

The propellant stuff has been fabricated by mixing the components in the laboratory planetary mixer of NETSCH PM Company having the useful volume of 0.7 l.

The samples of HSRP were received by casting the propellant stuff into the moulds placed in a set consisting of the chamber with a heating coat, the chill mould with controlled rate of dosing, thermostat, vacuum pump and vibrator. After filling the moulds by a semi-liquid stuff of propellant they were put into the thermal chamber to harden the propellant.

All received types of propellant stuff were fabricated according to following procedure:

- The thermostat is switched on and the heating coat temperature is stabilised at 60 °C.
- The container of the mixer is filled with following components, depending on the sample being prepared: rubber HTPB R45M, dioctyl adipate (ADO), lecithin, Hx-752, Tepanol[®], anti-oxidiser (AO), catocene or Fe₂O₃ or Cu₂Cr₂O₅ , and then it is mixed by 15 min with rotation rate 175 rev/min at normal atmospheric pressure.
- The aluminium dust is added to the received mixture to mix it by 10 min

- pod ciśnieniem atmosferycznym oraz 30 min pod ciśnieniem 10 mbar przy prędkości 175 obr/min.
- Następnie do naczynia mieszalnika dodano całą masę sproszkowanego chloranu (VII) amonu i mieszano przez 30 min pod ciśnieniem atmosferycznym oraz 30 min pod ciśnieniem 10 mbar przy prędkości 175 obr/min.
 - Po zakończeniu mieszania frakcji sproszkowanej dodano drobnokrystalicznego chloranu (VII) amonu w dwóch porcjach po połowie i mieszano odpowiednio 30 min + 30 min pod ciśnieniem atmosferycznym oraz 60 min pod ciśnieniem 10 mbar przy prędkości 175 obr/min.
 - Tak przygotowaną masę pozostawiono na 24 h w temperaturze pokojowej.
 - Ponownie włączono termostat i ustabilizowano temperaturę masy na 60°C.
 - Przygotowano mieszaninę składników utwardzających składającą się w zależności od przygotowywanej próbki z: diizocyjanian izoforonu (IPDI), Desmodur N3600[®], roztworu kwasu szczawiowego w glicerynie (KS+G), którą dodano do naczynia mieszalnika i mieszano 5 min pod ciśnieniem atmosferycznym oraz 30 min pod ciśnieniem 10 mbar przy prędkości 175 obr/min.
 - Całą masę przeniesiono do uprzednio wytermostatowanego do 65°C leja podawczego umieszczonego nad komorą z formami również wytermostatowanymi do powyższej temperatury.
 - Włączono pompę próżniową i po osiągnięciu próżni w wysokości 5,0 mbar rozpoczęto dozowanie masy do form.
 - Po zakończeniu dozowania masy paliwowej wyłączono pompę próżniową, włączono wibrator i powoli zwiększono ciśnienie do wartości 1 bar. Wibracje prowadzono jeszcze przez 20 minut wyłączono pompę próżniową, włączono wibrator i rozpoczęto powolny wzrost ciśnienia do wartości 1 bar. Wibracje pozostawiono na jeszcze 20 min.
- under the atmospheric pressure and next by 30 min under the pressure of 10 mbar at rotation 175 rev/min.
- Next the whole mass of powdered chlorate ammonium (VII) is added to the mixer container to mix it by 30 min under the atmospheric pressure and by the next 30 min under the pressure of 10 mbar at rotation 175 rev/min.
 - When the mixing of powdered fraction is completed the fine crystalline chlorate ammonium (VII) is added in two equal parts to be mixed respectively within 30 min + 30 min under the atmospheric pressure and by the next 60 min under the pressure of 10 mbar at rotation of 175 rev/min.
 - The stuff fabricated in this way is left for 24 h at ambient temperature.
 - The thermostat is turned on again to stabilise the temperature of the stuff on 60°C.
 - A mixture of hardening components is prepared from following ingredients, depending on the sample being prepared: isopropyl diisocyanate (IPDI), Desmodur N3600[®], solution of oxalic acid in glycerine (KS+G), and next it is added to the mixing pot and mixed by 5 min under the atmospheric pressure and by the next 30 min under the pressure of 10 mbar at rotation 175 rev/min.
 - The whole stuff is put into the feeding chill mould, which was earlier thermally stabilised on 65°C, situated over the chamber with moulds, which are also thermostatically stabilised on the same temperature.
 - The vacuum pump is turned on and after reaching the pressure of 5.0 mbar the stuff is dosed into moulds.
 - When the dosing process of propellant stuff is terminated then the vacuum pump is off and the vibrator is on and the pressure slowly increases to 1 bar. Vibrations have been applied yet for 20 minutes.

- Po upływie zadanego czasu wyłączono wibracje, aparaturę rozmontowano a paliwo w formach przeniesiono do suszarni, gdzie pozostawiono je do całkowitego utwardzenia na 5 dni w temperaturze 65°C.
- When this time expires the vibrations are off and the instrument is disassembled and the propellant is transferred in moulds to a drying apparatus where it has been left for complete hardening for 5 days at temperature of 65°C.

Składy badanych paliw przedstawiono w tabeli 1.

The contents of tested propellants are presented in table 1.

Tabela 1. Skład i właściwości badanych HSPR
Table 1. Contents and properties of tested HSRP

Składniki/ <i>Ingredients</i> [%]	Badane paliwa / <i>Tested propellants</i>			
	P1	P3	P5	P6
Ciekłe/ <i>Liquid</i> (ADO, HTPB, Desmodur® N3600, IPDI)	12,63	12,67	12,70	12,70
Pył/ <i>Dust</i> Al	16,12	16,18	16,00	16,00
NH ₄ ClO ₄	70,50	70,80	70,00	70,00
Dodatki/ <i>Additives</i> *	0,75	0,35	1,30	1,30
Właściwości / <i>Properties</i>				
Kaloryczność/ <i>Calorific value</i> [J/g]	6746	6560	6641	6757
Twardość/ <i>Hardness</i> [°Sh A]	90	84	89	93
Wrażliwość na tarcie [N] <i>Sensitivity to friction</i>	120	120	120	160
Wrażliwość na uderzenie [J] <i>Sensitivity to impact</i>	30	25	20	20
Temperatura rozkładu [°C] <i>Temperature of decomposition</i>	262	277	302	280

*Lecytyna/ *Lecithin* , Hx-752, Tapanol, Katocen/ *Katocene*, AO, r-r kw. szczawowego w glicerynie/ *solution of oxalic acid in glycerine* , Fe₂O₃ or Cu₂Cr₂O₅

2.2. Kaloryczność

Pomiary kaloryczności, czyli izochorycznego ciepła spalania, zostały wykonane przy użyciu kalorymetru adiabatycznego C 4000 firmy IKA. Stałą aparatu wyznaczono za pomocą prochu wzorcowego o kaloryczności 4911 J/g. Pomiary prowadzono do momentu uzyskania dwóch wyników nie różniących się między sobą o maksymalnie 6 cal/g (25 J/g), a następnie wyciągnięto z nich uśrednioną wartość ciepła spalania. Wszystkie wykonane pomiary zostały przeprowadzone dla próbek o stałej masie

2.2. Calorific value

The measurements of calorific value, i.e. the isochoric combustion heat, have been carried out by using C4000 adiabatic calorimeter of IKA Company. The specific value of the apparatus has been determined by the reference powder having the calorific value of 4911 J/g. The measurements were carried out until two results were obtained which differ less than maximum by 6 cal/g (25 J/g), and next the average value of combustion heat was calculated. All measurements were carried out for the

5,8 g.

Jak widać w tabeli 1 otrzymane paliwa charakteryzują się zbliżoną kalorycznością, tj. mieszczącą się w zakresie od 6560 J/g do 6757 J/g. Między paliwami P3 i P1 zauważalna jest różnica kaloryczności na poziomie 3% wynikająca z zastosowania kato-cenu w paliwie P1. Także między próbkami P5 i P6 widać różnicę kaloryczności na poziomie 2%, jednakże w tym wypadku różnica w kaloryczności wynika z zastosowania dodatków Fe_2O_3 oraz $\text{Cu}_2\text{Cr}_2\text{O}_5$ z korzyścią dla drugiego dodatku.

2.3. Twardość

Pomiary twardości zostały wykonane za pomocą twardościomierza Zwick/Roell HPE. Badanie polegało na rejestracji wartości twardości w °ShA powstałej na skutek przeliczenia sygnału pochodzącego z elementu wgłębnego czujnika działającego na płaską powierzchnię badanego materiału w czasie 3 s pod naciskiem 12,5 N. Dla każdego badanego paliwa wykonano 6 pomiarów, z których obliczono średnią wartość twardości.

Z tabeli 1 wynika, że twardość wszystkich badanych paliw oscylowała w zakresie 84-93°ShA.

2.4. Wrażliwość na tarcie i uderzenie

Badania wrażliwości HSPR na tarcie i uderzenie zostały przeprowadzone za pomocą standardowego aparatu Petersa oraz młota Kast'a z użyciem odpowiednio znormalizowanych ceramicznych elementów trących i stalowych zestawów uderzeniowych zgodnie z obowiązującymi procedurami opisanymi w [9].

Jak wynika z tabeli 1 wrażliwości wszystkich badanych próbek są słabo zależne od ich składu i wahają się średnio w zakresie od 120 N do 160 N w przypadku wrażliwości na tarcie oraz od 20 J do 30 J w przypadku wrażliwości na uderzenie.

2.5. Temperatura rozkładu

Pomiar temperatury rozkładu przepro-

samples possessing the same weight of 5.8 g.

As it may be seen in table 1 the received propellants are characterised by similar levels of calorific values in the range from 6560 J/g to 6757 J/g. Between propellants P3 and P1 a difference of calorific value on the level of 3% may be noticed what is caused by the use of catocene in propellant P1. The difference in calorific values on the level of 2% also exists for samples P5 and P6 but this time it is caused by the application of additives Fe_2O_3 and $\text{Cu}_2\text{Cr}_2\text{O}_5$ with the benefit for the second additive.

2.3. Hardness

The hardness has been measured by the meter of Zwick/Roell HPE Company. The test was carried out by recording the value of hardness in °ShA created by recalculation of the signal originating from the denting probe element acting against the flat surface of tested material within 3s and under the pressure of 12.5 N. For each tested propellant 6 measurements were made and the average value of hardness was calculated.

Table 1 shows that hardness of all tested propellants was within the range 84-93°ShA.

2.4. Sensitivity against friction and impact

The sensitivity of HSRP against friction and impact has been tested by the standard Peters' apparatus and Kast's hammer, by using relevant and standardised ceramic abrasive parts and steel impact kits, according with binding procedures described in [9].

As it is seen in table 1 the sensitivities of all tested samples do not depend strongly on their composition and fall in on average on the range of 120 N to 160 N for the susceptibility against friction and between 20 J to 30 J for the susceptibility against impact.

2.5. Temperature of decomposition

Temperature of decomposition was mea-

wadzono w specjalnym aparacie zapewniającym jednorodny przestrzenny rozkład temperatury i stałą szybkość jej narastania. Próbkę HSPR o masie ok. 0,5 g umieszczano w szklanych próbkach, które następnie zanurzano w łaźni ze stopem Wood'a i poddawano ogrzewaniu przy stałej szybkości 5°C/min. Badanie prowadzono do momentu rozkładu próbek.

Jak wynika z tabeli 1 przebadane paliwa cechują się temperaturą rozkładu powyżej 260°C. Widoczny jest także wzrost temperatury rozkładu w przypadku zastosowania tlenku żelaza w składzie paliwa oraz jej spadek w przypadku zastosowania katocenu.

2.6. Badania właściwości balistycznych HSPR

Jednym z ważniejszych parametrów balistycznych jest szybkość spalania i jej zależność od ciśnienia. Zależność szybkości spalania (r_b) od ciśnienia określa się na podstawie wyników spalania ładunku HSPR w układzie stałego ciśnienia w tzw. komorze Crawforda lub w układzie laboratoryjnego silnika raketowego (LSR) [10–17]. Tę ostatnią metodę autorzy zastosowali podczas przeprowadzonych badań stosując do tego celu LSR własnej konstrukcji [18].

W przyjętej metodzie zakłada się, że:

- 1) do produktów powstałych podczas spalania stosuje się prawo gazu doskonałego,
- 2) przepływ w dyszy jest jednowymiarowy i izentropowy,
- 3) przekrój krytyczny dyszy podczas spalania jest stały,
- 4) paliwo spala się warstwami równoległymi prostopadle do każdej powierzchni płytki,
- 5) c^* przyjmuje wartość stałą w całym zakresie ciśnień.

Przepływ masowy produktów spalania przez dyszę, jest dany wzorem:

$$\frac{dm}{dt} = \frac{p_c A_t}{c^*} \quad (1)$$

sured by using special apparatus that provides a uniform special distribution of temperature and a steady rate of its increase. The samples of HSRP with the mass of 0.5 g were placed in glass test-tubes which were immersed in the next step in the Wood alloy bath and heated with the constant rate of 5°C/min. The test has been carried out until the samples get decomposed.

According to table 1, tested propellants are characterised by decomposition temperature above 260°C. An increase of decomposition temperature is visible in case of using ferric oxide in the propellant contents and a decrease of temperature in case when the catocene is used.

2.6. Testing ballistic properties of HSRP

One of most important ballistic parameters is the rate of burning and its dependence on the pressure. The dependence of rate of burning (r_b) on the pressure is determined basing on the results of HSRP charge combustion results received in constant pressure conditions in Crawford's chamber or in a system of laboratory rocket motor (LRM) [10–17]. The latter method has been used by authors for testing by applying the own design of LRM [18].

The accepted method assumes that:

- 1) Products generated in the process of burning are subjected to the law of perfect gas.
- 2) The flow in the nozzle is one dimensional and isentropic.
- 3) The critical cross-section of the nozzle at burning is constant.
- 4) The propellant burns in parallel layers which are perpendicular to each surface of the slab.
- 5) c^* accepts a constant value within all range of pressure.

The mass flow of burning products through the nozzle is given by formulae:

gdzie:

dm/dt – masowy przepływ produktów spalania przez dyszę LSR
 p_c – ciśnienie produktów spalania w komorze LSR
 A_t – przekrój krytyczny dyszy LSR
 c^* – prędkość charakterystyczna produktów spalania.

Całkując równanie (1) otrzymamy:

$$m_p = \frac{1}{c^*} \int_{t_1}^{t_4} p_c A_t dt \quad (2)$$

gdzie: t_1 - to czas początku spalania przyjęty dla $p = 0,1 p_{\max}$, t_4 - to czas końca spalania ładunku przyjęty dla $\partial p^2/dt^2 = 0$, a (m_p) jest całkowitą masą badanego ładunku paliwa raketowego.

Strumień masy (m_t) produktów spalania dla czasu od t_1 do danego czasu t :

$$m_t = \frac{1}{c^*} \int_{t_1}^t p_c A_t dt \quad (3)$$

Przy założeniu $A_t = \text{const}$:

$$\frac{m_t}{m_p} = \frac{\int_{t_1}^t p_c dt}{\int_{t_1}^{t_4} p_c dt} \quad (4)$$

$$m_t = \rho_p V_t \quad (5)$$

$$m_p = \rho_p V_p \quad (6)$$

gdzie ρ_p, V_p, V_t oznacza odpowiednio gęstość, objętość początkową paliwa oraz zużytą objętość paliwa po czasie spalania t .

Po podstawieniu wyrażeń na m_t oraz m_p (5 i 6) do wzoru (4) otrzymujemy:

$$\frac{V_t}{V_p} = \frac{\int_{t_1}^t p_c dt}{\int_{t_1}^{t_4} p_c dt} \quad (7)$$

Wartości V_p, p_c, t i A_t są dane z pomiarów. Z zależności:

$$\frac{dV}{dt} = S_p r_b \quad (8)$$

$$\frac{dV}{dt} = \frac{p_c}{\int_{t_1}^{t_4} p_c dt} \quad (9)$$

where:

dm/dt – mass flow of burning products through the nozzle of LRM
 p_c – pressure of burning products in the chamber of LRM
 A_t – critical cross-section of LRM nozzle
 c^* – specific velocity of burning products.

The equation (1) after integration gives:

where t_1 is the moment of time for the beginning of combustion - taken for $p = 0,1 p_{\max}$, t_4 is the moment of time when the burning ends - taken for $\partial p^2/dt^2 = 0$, and (m_p) is a total mass of tested rocket propellant charge.

The flux of mass (m_t) of burning products from the time t_1 to a specific time t is:

At the assumption that $A_t = \text{const}$:

where ρ_p, V_p, V_t denote respectively density, propellant starting volume and used volume of propellant after burning time t .

After substituting the expressions for m_t and m_p (5 and 6) into the formulae (4) we get:

The values V_p, p_c, t and A_t are given from the measurements. The dependences:

możemy wyznaczyć liniową szybkość spalania (r_b), gdzie S_p jest powierzchnią całkowitą spalanej próbki paliwa, która jest określana metodą pośrednią.

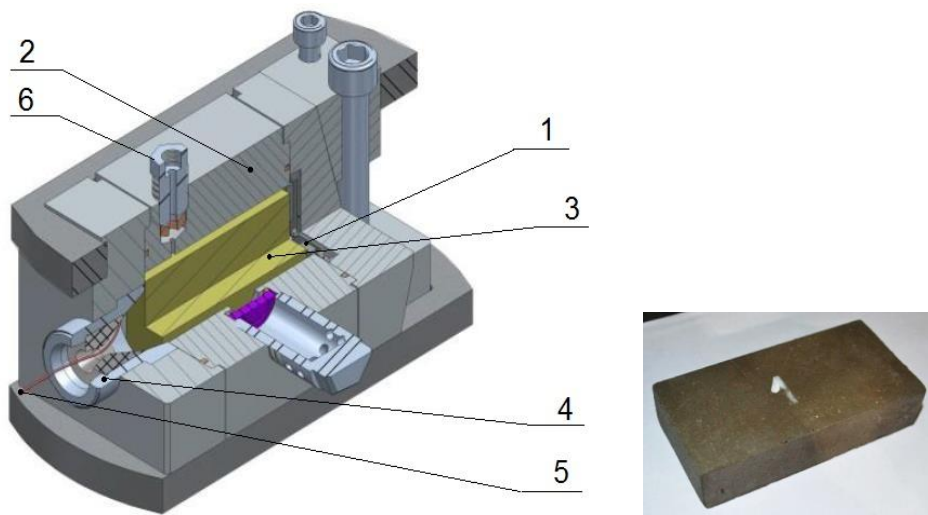
Zgodnie z powyższą metodyką, możliwe jest określenie szybkości spalania (r_b) testowanego HSRP w komorze spalania LSR z wykresu zależności ciśnienia (p) od czasu (t) z wykorzystaniem programu WolframMathematica[®] 10.

Wykonane ładunki do badań miały kształt płytek prostokątnych o wymiarach 10x5x2,5 cm i badane były w LSR (rys. 1)) na stacji badań balistycznych w Zakładach Produkcji Specjalnej „GAMRAT” sp. z o. o.

may be used to determine by an indirect method the linear rate (velocity) of burning (r_b), where S_p is the total surface of a propellant sample being burnt.

According to the above methodology it is possible to determine the burning rate (r_b) for tested HSRP in the combustion chamber of LRM by using the diagram of dependence of pressure (p) on the time (t), and the computer code WolframMathematica[®] 10.

Tested charges had the shape of perpendicular parallelepiped slabs with dimensions 10x5x2.5 cm and underwent tests in LRM (Figure 1) on the ballistic testing station of Special Production Plant „GAMRAT” Ltd.



Rys. 1. LSR z ładunkiem płytkowym:

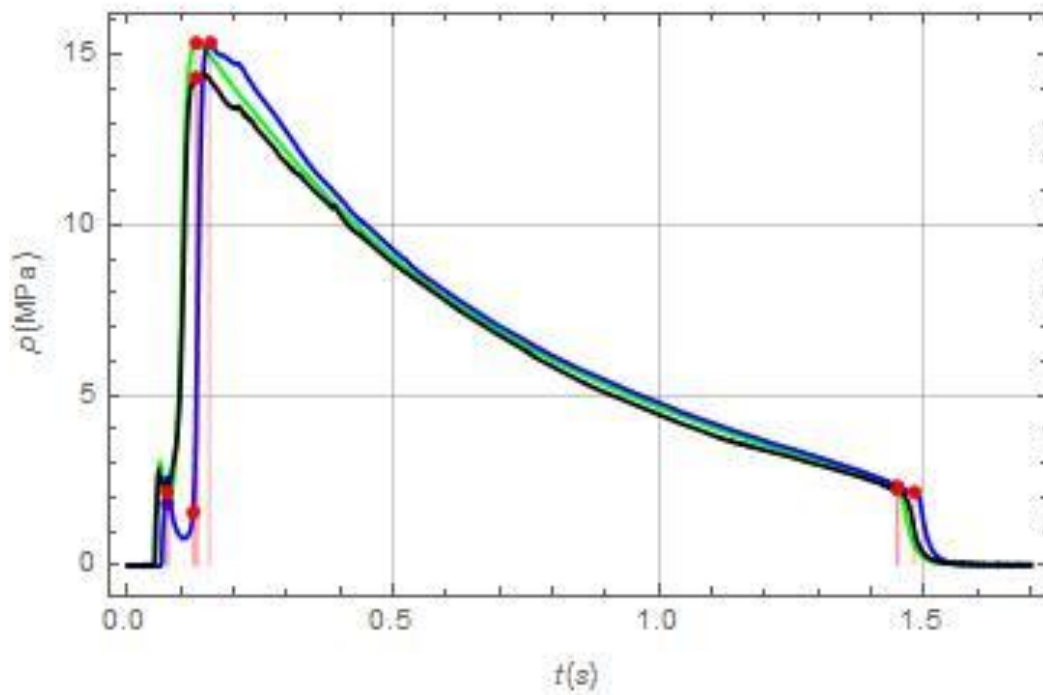
1 – zapłonnik, 2 – komora spalania, 3 – paliwo, 4 – dysza, 5 – przewody zapłonowe, 6 – gniazdo na czujnik ciśnienia

Figure 1. LRM with a slab charge:

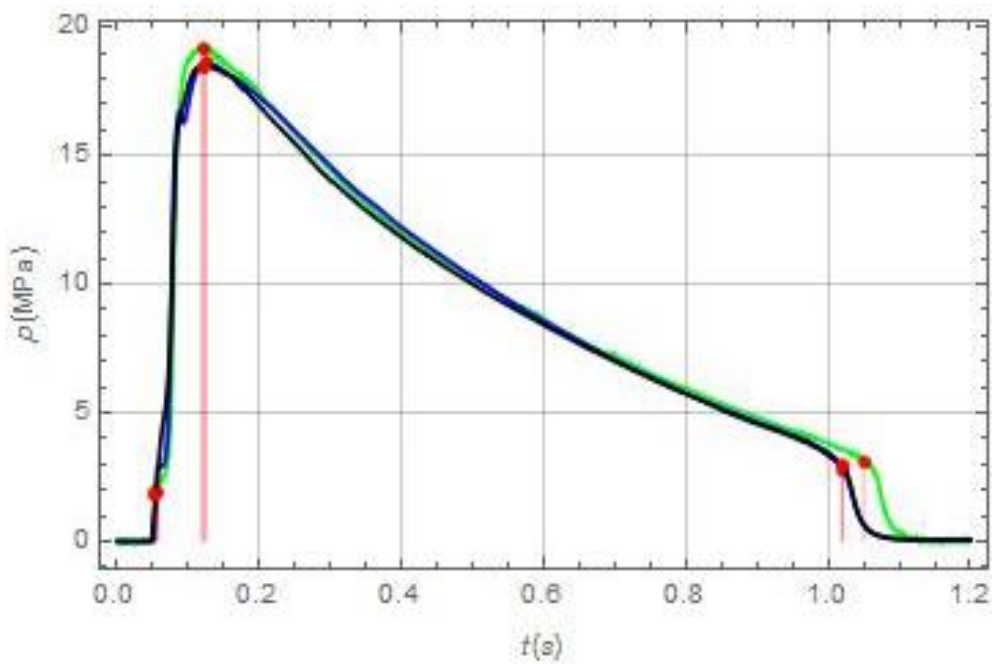
1 – igniter, 2 – combustion chamber, 3 – propellant, 4 – nozzle, 5 – igniting wires, 6 – nest for pressure sensor

Dla każdego HSRP przeprowadzono spalanie trzech kształtek paliwa. Zarejestrowane w trakcie spalania w LSR charakterystyki $p = f(t)$ przedstawiono na rys. 2–5. Natomiast w tabeli 2 zestawiono wartości maksymalnego ciśnienia uzyskanego w trakcie spalania badanych próbek oraz czasu pracy silnika.

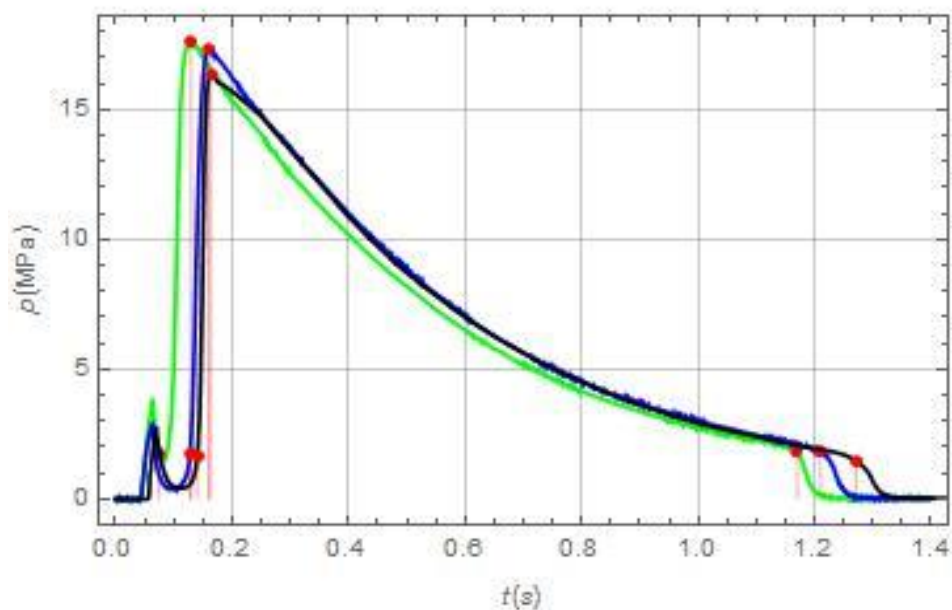
For each HSRP three slabs of propellant have been burnt. The characteristics $p = f(t)$ recorded during the burning in LRM are presented in figures 2–5. Table 2 includes the values of maximal pressure received by burning the tested samples and the time of motor operation.



Rys. 2. Charakterystyki $p = f(t)$ dla paliwa P1
Figure 2. Characteristics $p = f(t)$ for propellant P1



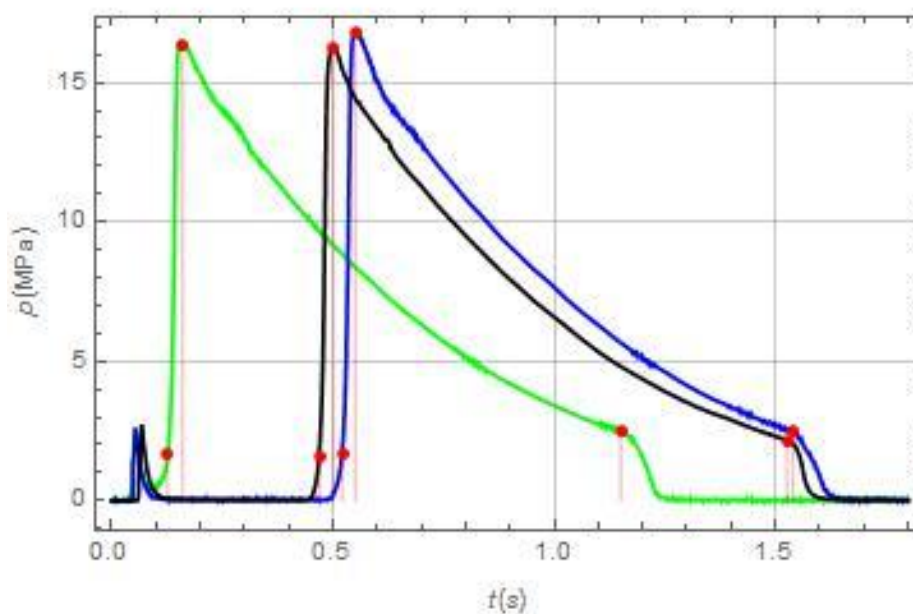
Rys. 3. Charakterystyki $p = f(t)$ dla paliwa P3
Figure 3. Characteristics $p = f(t)$ for propellant P3



Rys. 4. Charakterystyki $p = f(t)$ dla paliwa P5
Figure 4. Characteristics $p = f(t)$ for propellant P5

Tabela 2. Maksymalne ciśnienie w komorze LSR oraz czas pracy LSR w trakcie spalania badanych HSPR
Table 2. Maximal pressure in LRM chamber and operation time of LRM at burning the tested HSRP

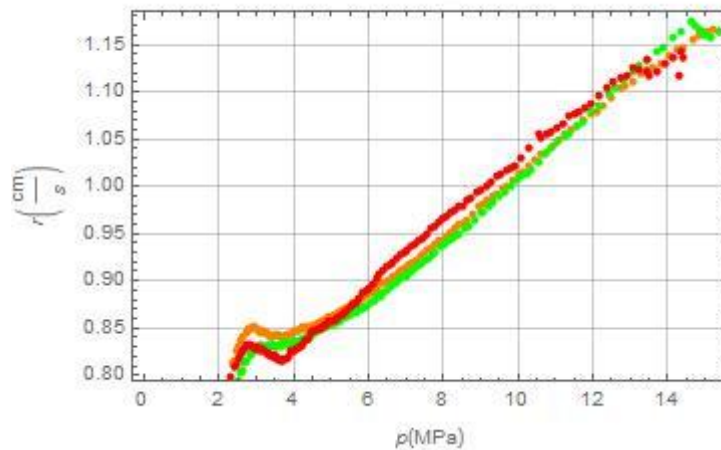
Parametr	P1	P3	P5	P6
P_{Max} [MPa]	15.3	18.6	17.2	16.5
t [s]	1.37	0.95	1.09	1.03



Rys. 5. Charakterystyki $p = f(t)$ dla paliwa P6
Figure 5. Characteristics $p = f(t)$ for propellant P6

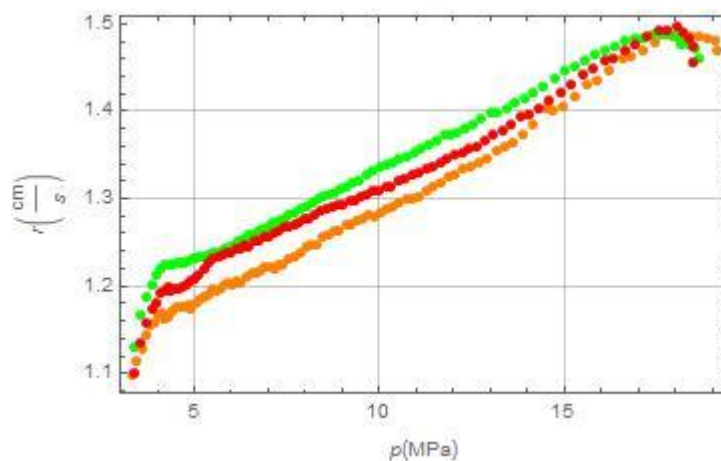
Z tabeli 2 wynika, że czas pracy silnika wzrasta, natomiast maksymalne ciśnienie w komorze LSR maleje w przypadku zastosowania modyfikatora szybkości spalania w stosunku do paliwa zerowego (P3). W przypadku zastosowania katocenu (P1) czas ten wzrasta o 44% przy spadku maksymalnego ciśnienia o 18%, natomiast w przypadku zastosowania Fe_2O_3 (P5) czas pracy wzrasta o 15% natomiast ciśnienie maleje o 7,5%. W związku z powyższym wyraźnie widoczna jest możliwość regulacji czasu pracy silnika kosztem maksymalnego ciśnienia pracy z użyciem modyfikatorów szybkości spalania.

According to table 2 the time of motor operation increases and the maximal pressure in the chamber of LRM decreases, comparing to the reference propellant (P3), if a burning rate modifying agent is used. In the case of using the catocene (P1) the time increases by 44% and the maximal pressure decreases by 18% whereas in case of using Fe_2O_3 (P5) the operation time increases by 15% and the pressure drops by 7.5%. Regarding the above it is possible to control the motor operation time by using burning rate modifying agents on the cost of maximal pressure of operation.



Rys. 6. Zależności $r = f(p)$ dla paliwa P1

Figure 6. Dependences $r = f(p)$ for propellant P1



Rys. 7. Zależności $r = f(p)$ dla paliwa P3

Figure 7. Dependences $r = f(p)$ for propellant P3

Obliczone w programie WolframMathematica[®]10 na podstawie eksperymentalnych zależności $p = f(t)$, wartości liniowej

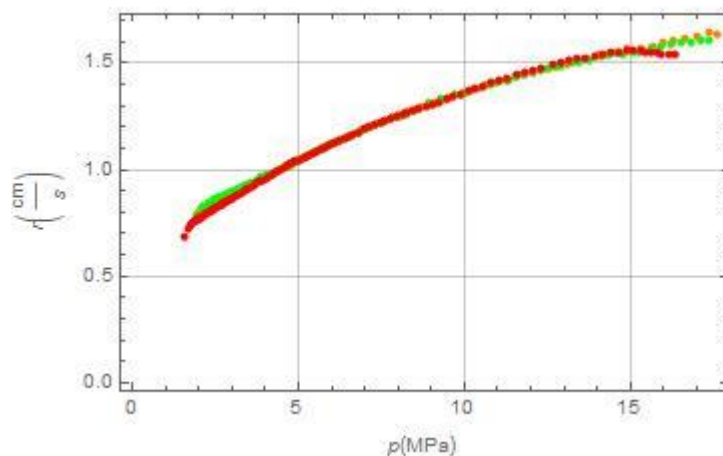
The dependence of linear velocity of burning on the pressure, calculated in the program WolframMathematica[®]10 on the

szybkości spalania od ciśnienia dla badanych paliw przedstawiono na rys. 6–9. Z kolei w tabeli 3 zestawiono wartości liniowej szybkości spalania dla wybranych wartości ciśnienia badanych paliw.

base of experimental diagrams $p = f(t)$, is presented in figures 6-9. Finally, table 3 includes a comparison of linear burning velocities of tested propellants for selected values of the pressure.

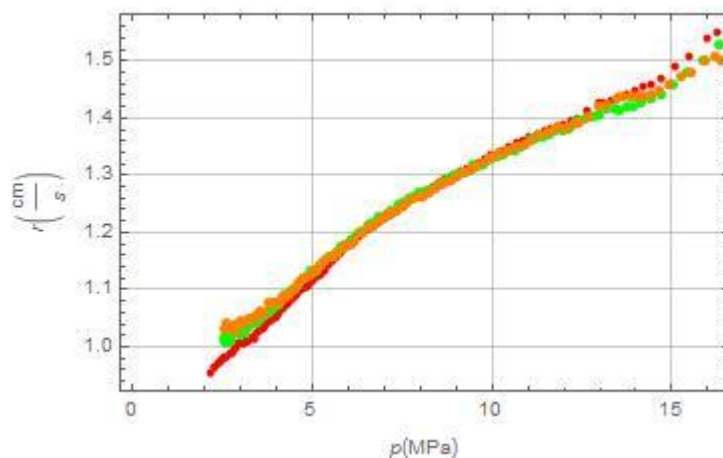
Tabela 3. Zestawienie wartości liniowej szybkości spalania przy danym ciśnieniu pracy
 Table 3. Values of linear burning velocities for particular pressures of operation

Próbka Sample	Szybkość spalania, [mm/s], pod ciśnieniem Burning velocity, [mm/s], under the pressure		
	7 MPa	11 MPa	14 MPa
P1	9.2	10.5	11.5
P3	12.4	13.3	13.9
P5	12.0	14.1	15.2
P6	12.3	13.8	14.3



Rys. 8. Zależności $r = f(p)$ dla paliwa P5

Figure 8. Dependences $r = f(p)$ for propellant P5



Rys. 9. Zależności $r = f(p)$ dla paliwa P6

Figure 9. Dependences $r = f(p)$ for propellant P6

Dane zestawione w tabeli 3 pozwalają na porównanie szybkości spalania badanych paliw w wybranych wartościach ciśnienia pracy. W przypadku ciśnienia o wysokości 7 MPa szybkość spalania badanych próbek jest do siebie zbliżona, wykluczając paliwo P1, które jest charakteryzowane się obniżoną o ok. 25% liniową szybkością spalania. W przypadku wyższych ciśnień paliwa P5 oraz P6 wykazują większą szybkość spalania od paliwa P3. Z kolei analizując różnicę szybkości spalania pomiędzy ciśnieniami pracy w wysokości 7 MPa oraz 14 MPa paliwa zawierające modyfikator szybkości spalania charakteryzują się wyższym wzrostem tej wartości. W przypadku poszczególnych paliw wzrost liniowej szybkości spalania między tymi dwoma ciśnieniami pracy wynosi odpowiednio: P1 – 25%, P3 – 12%, P5 – 26,5% oraz P6 – 16%.

3. Podsumowanie

W wyniku przeprowadzonych badań stwierdzono, że rodzaj zastosowanego modyfikatora szybkości spalania paliwa rakietowego ma wpływ na jego kaloryczność oraz temperaturę rozkładu.

Stwierdzono brak wyraźnej zależności między składem HSPR, a wrażliwością na tarcie i uderzenie.

Wyznaczono z zależności liniowej szybkości spalania od ciśnienia dla badanych HSPR. W trakcie badań stwierdzono możliwość regulacji czasu pracy silnika kosztem ciśnienia jego pracy wykorzystując w tym celu modyfikatory szybkości spalania. Określono wpływ poszczególnych modyfikatorów szybkości spalania na liniową szybkość spalania w zależności w funkcji ciśnienia pracy silnika. Ponadto zastosowana metoda badań próbek paliw o kształcie płytki w układzie LSR z zastosowaniem metodyki pośredniego wyznaczania liniowej szybkości spalania od ciśnienia z wykorzystaniem programu WolframMathematica[®] 10 wydaje się być perspektywiczną ze względu na:

- zmniejszenie ilości przeprowadzonych prób badań w porównaniu z metodą spalania próbek w kształcie cylindrów z zainhibowaną boczną powierzchnią

Data collected in table 3 may be used to compare the rates of burning for tested propellants at selected values of operational pressure. If the pressure is 7 MPa then the rate of burning for tested samples is similar apart of propellant P1 that has a decreased linear burning rate by ca. 25%. For the higher pressures the propellants P5 and P6 indicate the greater burning velocities than propellant P3. Analysing the difference of burning rates at the pressures of operation on the levels of 7 and 14 MPa it is visible that the propellants with the burning rate modifying agent are characterised by a higher increase of this value. For particular propellants the increase of linear burning rates for these two pressures of operation equals respectively: P1 – 25%, P3 – 12%, P5 – 26.5% and P6 – 16%.

3. Summary

The tests have proved that the type of used rocket propellant burning rate modifying agent affects the calorific value and decomposition temperature of the propellant.

There has not been any clear dependence noticed between the contents of particular ingredients in HSRP and susceptibility to friction and impact.

The dependences of linear burning rate on the pressure for tested HSRP have been established. The tests have proved that it is possible to control the motor operation time by the pressure of its operation and the use of burning rate modifying agents. The impact of particular types of burning rate modifying agents on the linear burning rate as the function of motor operation pressure has been determined. Moreover it seems that the method used for testing propellant samples in the form of slabs and in the arrangement of LRM through the application of indirect methodology for determination of the dependence of linear burning rate on the pressure, and program WolframMathematica[®] 10, is a perspective one as it provides:

- Reduction in number of tests comparing with a method for burning cylindrical

zewnątrzną;

- możliwość określenia zależności $r_b = f(p)$ w szerokim zakresie zmian ciśnienia produktów spalania.

Badania potwierdziły również bardzo dobrą powtarzalność otrzymanych zależności $p = f(t)$ oraz $r_b = f(p)$.

samples with inhibited external side wall

- Possibility for determining the dependence $r_b = f(p)$ within a wide range of pressure changes for burning products.

The tests have also confirmed a high level of repeatability for received dependences $p = f(t)$ and $r_b = f(p)$.

Literatura / Literature

- [1] Chmielarek M., Skupiński W., Wieczorek Z., Dziura R., α,ω -Dihydroksylopolibutadien (HTPB). Właściwości i otrzymywanie, *Przem. Chem.* 2012, **91**,1803.
- [2] Davenas A., *Solid rocket propulsion technology*, Pergamon Press, Oxford 1993.
- [3] Kubota N., *Propellants and Explosives. Thermochemical Aspects of Combustion*, Wiley-VCH GmbH, Weinheim 2007.
- [4] Sutton G. P., Biblarz O., *Rocket Propulsion Elements*, John Wiley & Sons, New York, 2001.
- [5] Florczak B., Komponenty niejednorodnych stałych paliw raketowych, *Przem. Chem.* **90**, 2164, 2011.
- [6] Nguyen T. T., *The Effects of Ferrocenic and Carborane Derivative burn rate catalysts in AP composite propellant combustion. Mechanism of ferrocene-catalyzed combustion*, DSTO-TR-0121, 1995.
- [7] Florczak B., Wpływ dodatków na właściwości stałych paliw raketowych niejednorodnych, *Przem. Chem.*, **91**, 1858, 2012.
- [8] R. Muthiah, V. N. Krishnamurthy, *Propellants, Explos., Pyrotech.*, **21**, 186, 1996.
- [9] Sałaciński T., Florczak B., Buczkowski D., Badanie wrażliwości heterogenicznych stałych paliw raketowych, *Przem. Chem.*, **93**, 2, 203-205, 2014.
- [10] Maggi F., DeLuca L. T., Bandera A., Burn-rate measurement on small-scale rocket motors, *Defence Science Journal*, **56**, pp.353–367, 2006.
- [11] NATO RTO Technical Report (RTO-TR-043); AC/326 (AVT-016)TP/28); Evaluation of methods for solid propellant burning rate measurement, NATO-RTO; Neuilly-Sur-Seine Cedex, France; 2002.
- [12] Fry, R. S. & Gadiot G. M. H. J. L., *Chapter 4. Burning Rate Measurement Analysis Methods*. Report No. RTO-TR-043, 2002 (Table 4.6).
- [13] Florczak B., Białek M., Szczepanik M., Dzik A., Badania nad opracowaniem stałego paliwa raketowego niejednorodnego dla ładunków napędowych związanych ze ścianką komory silnika, *Chemik*, **67**, 1, pp.25–32, 2013.
- [14] Florczak B., Białek M., Szczepanik M., Dzik A., Matłok A., Badanie stałego homogenicznego paliwa raketowego w układzie laboratoryjnego silnika raketowego, *Przem. Chem.*, **92**, 6, p.1042, 2013.
- [15] Florczak B., Investigation of an Aluminized Binder/AP Composite Propellant Containing FOX-7, *Cent. Eur. J. Energ. Mater.*, 5(3-4), pp.65-75, 2008.
- [16] Florczak B., Kwilosz S., Cholewiak A., Białek M., Miszczak M., *Laboratoryjny silnik*

rakietowy, PL Patent 217675, 2014.

[17] Florczak B. , Kwilosz S., Cholewiak A., Białek M., Miszczak M., *Laboratoryjny silnik rakietowy*, P.406258, 2013.11.26.

[18] Florczak B. , Kwilosz S., Cholewiak A., Białek M., Miszczak M., *Laboratoryjny silnik rakietowy*, P.407403, 2014.03.05.

Recenzenci współpracujący w 2015 r.

1. dr inż. Dariusz Ampuła
2. prof. dr hab. inż. Józef Gacek
3. mgr inż. Sławomir Gryka
4. mgr inż. Wiesław Habaj
5. dr inż. Michał Hilczer
6. mgr Agnieszka Ignaciuk
7. dr hab. inż. Adam Jackowski, prof. WAT
8. mgr inż. Witold Jagiełło
9. dr inż. Roman Józwick
10. dr inż. Józef Kaczmarzyk
11. mgr inż. Piotr Kasprzak
12. dr inż. Ryszard Kostrow
13. mgr inż. Jerzy Kowalewski
14. mgr inż. Bogdan Krysiński
15. dr inż. Przemysław Kupidura
16. dr hab. inż. Zbigniew Leciejewski, prof. WAT
17. dr inż. Zbigniew Lewandowski
18. dr inż. Zbigniew Łapiński
19. mgr inż. Janusz Łukaszewicz
20. dr hab. inż. Mariusz Magier, prof. WITU
21. dr inż. Maciej Miszczak
22. dr inż. Marcin Nita
23. dr inż. Paweł Podgórzak
24. mgr inż. Bogusław Rogowski
25. dr inż. Andrzej Seń
26. dr inż. Wiesław Starek
27. dr inż. Lech Szugajew
28. mgr inż. Ewa Szymanowska
29. dr hab. inż. Waldemar Świdorski, prof. WITU
30. dr Henryk Terenowski
31. prof. dr hab. inż. Adam Wiśniewski
32. mgr inż. Grzegorz Zasada
33. dr inż. Mariusz Zielenkiewicz

Biuletyn naukowy PROBLEMY TECHNIKI UZBROJENIA - Nr ISSN 1230-3801 jest wydawany przez Wojskowy Instytut Techniczny Uzbrojenia od 1960 roku. Biuletyn PTU stanowi forum do prezentacji oryginalnych wyników badań naukowych i prac rozwojowych dotyczących uzbrojenia w dziedzinach nauk technicznych. takich, jak: budowa i eksploatacja maszyn, elektronika, elektrotechnika, informatyka, mechanika, automatyka, robotyka, inżynieria materiałowa, technologia chemiczna, technika nawigacji oraz wybrane zagadnienia z nauk matematycznych, fizycznych i chemicznych. Tematyka czasopisma dotyczy uzbrojenia w szerokim aspekcie zagadnień naukowych, technicznych, technologicznych i eksploatacyjnych w następującym zakresie techniki wojskowej:

- uzbrojenie artyleryjskie,
- uzbrojenie strzeleckie,
- uzbrojenie raketowe,
- systemy raketowo – radiolokacyjne,
- środki bojowe,
- inżynieria materiałowa,
- badania dynamiczne sprzętu uzbrojenia,
- systemy szkolno – treningowe sprzętu uzbrojenia,
- systemy dowodzenia,
- eksploatacja sprzętu uzbrojenia,
- modelowanie procesów organizacyjno – techniczno – logistycznych,
- sterowanie jakością zasobów uzbrojenia i środków bojowych,
- zagadnienia bezpieczeństwa infrastruktury oraz obrony i ochrony antyterrorystycznej.

Biuletyn naukowy *Problemy Techniki Uzbrojenia* jest indeksowany w *Bazie danych o zawartości polskich czasopism technicznych BazTech* (<http://baztech.icm.edu.pl>) oraz Index Copernicus Journal Master List

Procedura recenzowania artykułów

Autorzy przysyłając pracę do publikacji w biuletynie *Problemy Techniki Uzbrojenia* wyrażają zgodę na proces recenzji. Nadesłane prace są poddawane ocenie w pierwszej kolejności przez redakcję, a następnie kierowane są do recenzji przez przynajmniej dwóch recenzentów. Recenzentów uzgadnia sekretarz redakcji po konsultacji z redaktorami tematycznymi. Przy wyborze recenzentów redakcja kieruje się zasadą, że powinni to być niezależni, obiektywni specjaliści, posiadający dużą wiedzę z zakresu tematyki artykułu. Prace recenzowane są z zachowaniem wzajemnej anonimowości recenzenta i autora. Preferowany układ recenzji zawarty jest w formularzu recenzenckim, który jest przekazywany przez recenzenta do redakcji. Recenzenci zobowiązani są do nie wykorzystywania wiedzy na temat recenzowanej pracy przed jej publikacją.

Autor główny jest informowany o wynikach recenzji bez podawania danych personalnych recenzentów. Do publikacji kwalifikowane są prace, które uzyskały pozytywne recenzje. W przypadku uwag recenzentów i konieczności wprowadzenia zmian, korespondencję z autorem prowadzi redakcja. Możliwa jest konieczność ponownej recenzji, jeżeli dokonane zmiany były istotne, jak również powołanie dodatkowego recenzenta. Ostatecznej kwalifikacji do druku dokonuje redaktor naczelny.

Redaktor naczelny może odmówić opublikowania pracy, jeżeli:

- praca otrzymała negatywne recenzje,
- autor nie wyraża zgody na wprowadzenie poprawek zaproponowanych przez recenzenta lub redakcję,
- tematyka jest niezgodna z zakresem tematycznym biuletynu PTU,

- otrzymane przez redakcję materiały nie spełniają wymagań technicznych dla artykułu zawartych w instrukcji dla autorów,
- praca była już wcześniej publikowana,
- treść pracy narusza obowiązujące przepisy prawne (ochrona informacji niejawnych, prawo autorskie, inne).

Instrukcja dla autorów zgłaszających teksty do publikacji w biuletynie *Problemy Techniki Uzbrojenia*

I. Informacje podstawowe

Przyjmujemy oryginalne, niepublikowane wcześniej teksty w języku polskim i angielskim w postaci wydruku (A4) oraz w wersji elektronicznej w programie MS Word, w formatach doc lub docx.

Do materiałów należy załączyć **Deklarację** głównego autora (załącznik 1) zawierającą informację nt. wcześniejszej prezentacji materiałów oraz wkładu poszczególnych autorów w powstanie publikacji oraz **Oświadczenia** (załącznik 2) o przekazaniu autorskich praw majątkowych do publikacji na rzecz wydawcy tj. Wojskowego instytutu Technicznego Uzbrojenia.

(Złożenie deklaracji ma na celu przeciwdziałanie zjawisku „ghostwriting” i „guest authorship”. Z „ghostwriting” mamy do czynienia wówczas, gdy ktoś wniósł istotny wkład w powstanie publikacji, bez ujawnienia swojego udziału jako jeden z autorów lub bez wymienienia jego roli w podziękowaniach zamieszczonych w publikacji. Z „guest authorship”, „honorary authorship” mamy do czynienia wówczas, gdy udział autora jest znikomy lub w ogóle nie miał miejsca, a pomimo to jest autorem/współautorem publikacji.

Obydwa zjawiska są przejawem nierzetelności w nauce, a wszelkie wykryte przypadki będą demaskowane, włącznie z powiadomieniem odpowiednich podmiotów /instytucje zatrudniające autorów, towarzystwa naukowe itp./).

Materiały (jednostronny wydruk A4 + nośnik elektroniczny) należy przysyłać na adres Redakcji:

Redakcja „Problemy Techniki Uzbrojenia”
Wojskowy Instytut Techniczny Uzbrojenia
ul. Wyszyńskiego 7
05-220 Zielonka

Możliwe jest przekazanie wersji elektronicznej pocztą elektroniczną na adres: oniw@witu.mil.pl lub pawlowskiw@witu.mil.pl.

Redakcja zastrzega sobie prawo odrzucenia tekstów oraz dokonywania korekty. Wszystkie teksty zostaną poddane procesowi recenzji. Teksty, które nie będą miały formy zgodnej z wymaganiami technicznymi, zostaną odrzucone przed recenzją.

II. Wymagania techniczne

1. Struktura artykułu:

- imię i nazwisko autora/autorów, nazwa instytucji,
- tytuł i streszczenie oraz słowa kluczowe w języku polskim,
- tytuł i streszczenie oraz słowa kluczowe w języku angielskim,
- tekst z zamieszczonymi w nim rysunkami, tabelami i fotografiami,
- wykaz literatury,

- ewentualne informacje na temat finansowania pracy, na podstawie której powstał artykuł oraz inne istotne informacje.

2. Tworzenie i formatowanie tekstu (patrz - Schemat Artykułu)

Ustawienia strony – rozmiar strony A4, orientacja pionowa, marginesy: lewy, prawy - 2,5 cm, górny, dolny – 2 cm, nagłówek – 1,5 cm, stopka - 1 cm.

Autorzy – tytuły, imiona i nazwiska, nazwy instytucji umieszcza się pod tytułem na środku tekstu.

Streszczenie – w języku polskim i angielskim powinno zawierać od 100 do 150 słów i prezentować w zwięzły sposób zasadniczą treść artykułu.

Słowa kluczowe – od 3 do 7 słów charakterystycznych dla tematu w języku polskim i angielskim.

Tekst – tekst o objętości nie więcej niż 10 stron formatu A4 powinien być napisany przy użyciu czcionki *Times New Roman* o zmiennej wielkości podanej w schemacie artykułu, z zachowaniem interlinii o wartości 1. Tekst powinien być wyjustowany, tabulator ustawiony na wartość 0,75. Tytuły rozdziałów i podrozdziałów należy numerować cyframi arabskimi, pozostałe wyszczególnienia zaznaczać punktoremami. W tekście, blisko miejsca powołania, powinny być zamieszczone ponumerowane kolejno rysunki, tabele i fotografie (rys. 1, tabela 1, fot.1). **Na rysunkach i fotografiach należy stosować wyłącznie oznaczenia cyfrowe, których znaczenie powinno być wyjaśnione w opisie pod rysunkiem/fotografią.** Podpisy pod rysunkami i fotografiami należy wyśrodkować, tytuły umieszczone nad tabelami wyrównać do lewej. Wzory matematyczne i równania powinny być opracowane za pomocą Microsoft Equation i posiadać numerację podaną w nawiasie okrągłym (1).

Wykaz literatury - (Literatura) powinien być podawany poza numeracją poszczególnych punktów tekstu. Każda pozycja numerowana jest kolejno w nawiasach kwadratowych (także odnośniki w tekście).

Przykład:

[1] Nazwisko I., Tytuł artykułu, *Tytuł czasopisma*, Numer, str., Miejsce wydania, rok wydania

[2] Nazwisko I., *Tytuł książki*, Wydawca, Miejsce wydania, rok wydania

[3] <http://www.----->, data korzystania ze źródła

[4] PN-EN ----- : rok, Tytuł normy

Informacje na temat finansowania pracy, na podstawie, której powstał artykuł, inne istotne informacje - informację należy podawać *kursywą* na końcu tekstu pod wykazem literatury, w pozycji wyśrodkowanej.

Schemat Artykułu**TYTUŁ ARTYKUŁU W J. POL. - TIMES NEW ROMAN 14 PTS BOLD***odstęp 1x11 pts*

dr inż. Jan KOWALSKI , 11 pts

Wojskowy Instytut Techniczny Uzbrojenia, 11 pts

ppłk mgr inż. Tadeusz WOLSKI, 11 pts

Wojskowa Akademia Techniczna, 11 pts

*odstęp 1x11 pts***Streszczenie:** 100 –150 słów; czcionka Times New Roman o wielkości 11 pts; tekst wyjustowany pi-sany bez wcięcia akapitowego*odstęp 1x11 pts***Słowa kluczowe:** schemat, artykuł, język polski, minimum trzy słowa, 11 pts*odstęp 2x11 pts***TITLE OF PAPER IN ENGLISH - TIMES NEW ROMAN 14 PTS BOLD***odstęp 1x11 pts***Abstract:** Abstract in English., Times New Roman type, 11 pts; equalised, without new paragraph*odstęp 1x11 pts***Keywords:** pattern, paper, english language, three words minimum, 11 pts*odstęp 2x 11 pts***1. Wstęp: 14 pts (Bold)***odstęp 1x12 pts*

Tekst artykułu piszemy czcionką Times New Roman o zmiennej wielkości.

*odstęp 1x12 pts***1.1 Zasady są następujące:***odstęp 1x12 pts***TYTUŁ ARTYKUŁU: 14 pts (Bold)****Streszczenie, Abstract: 11 pts (Bold) ;** treść streszczenia 11 pts normalny**Słowa kluczowe:** 11 pts**Tytuły rozdziałów: 14 pts (Bold)****Tytuły podrozdziałów: 12 pts (Bold)**

Treść artykułu: 12 pts

Podpisy pod fotografiami, wykresami 11 pts (Bold) wyśrodkowane*odstęp 1x12 pts***2. Marginesy***odstęp 1x12 pts*

Lewy, prawy - 2,5 cm, góra – 2 cm, dół – 2 cm, nagłówek – 1,5 cm, stopka - 1 cm

*odstęp 1x12 pts***3. Tekst***odstęp 1x12 pts*

Tekst wyjustowany; odstęp między wierszami pojedynczy, tabulatory 0,75. Wzory matematyczne i równania opracowane za pomocą Microsoft Equation.

*odstęp 1x12 pts***Literatura 14 pts (Bold)***odstęp 1x12 pts*[1] Nazwisko I., Tytuł artykułu, *Tytuł czasopisma*, Numer, str., Miejsce wydania, rok wydania[2] Nazwisko I., *Tytuł książki*, Wydawca, Miejsce wydania, rok wydania[3] <http://www.-----> , data korzystania ze źródła

[4] PN-EN ----- : rok, Tytuł normy

odstęp 1x12 pts

*Ewentualne informacje na temat finansowania pracy, na podstawie, której powstał artykuł
oraz inne istotne informacje*

DEKLARACJA GŁÓWNEGO AUTORA

zgłaszającego do publikacji w biuletynie *Problemy Techniki Uzbrojenia* pracę pt. :

.....

1. Imię i nazwisko głównego autora

Dane kontaktowe

.....

2. Oświadczam, że zgłoszona przeze mnie do publikacji w biuletynie *Problemy Techniki Uzbrojenia* praca nie była wcześniej nigdzie publikowana.

Praca ta była / nie była* prezentowana na forum publicznym (konferencji itp.).

Nazwa przedsięwzięcia

Miejsce Data

3. Oświadczam, że współautorzy pracy wnieśli w jej powstanie następujący wkład merytoryczny:

a/ Imię i nazwisko współautora, instytucja

.....

Wkład merytoryczny w zakresie (np. autor koncepcji, założeń, metod, badania, opracowanie wyników itp.)

.....

co stanowi % wkładu pracy w powstanie publikacji.

b/ Imię i nazwisko współautora, instytucja

.....

Wkład merytoryczny w zakresie (np. autor koncepcji, założeń, metod, badania, opracowanie wyników itp.)

.....

co stanowi % wkładu pracy w powstanie publikacji.

.....
 data, podpis głównego autora

Uwagi:

1/ * Niepotrzebne skreślić

2/ Dodać następne punkty w przypadku większej liczby współautorów

Nazwisko, imię.....
 Numer PESEL

Adres zamieszkania

Oświadczenie

Jako twórca artykułu pt.

do publikacji w biuletynie *Problemy Techniki Uzbrojenia*, o deklarowanym w załączniku nr 1 wkładzie w jego powstanie, oświadczam, że:

1. Przysługuje mi do dzieła wyłączne i nieograniczone prawo autorskie (osobiste i majątkowe).
2. Dzieło nie jest obciążone żadnymi roszczeniami i innymi prawami osób trzecich.
3. Dzieło wykonałem osobiście.
4. Przenoszę na Wydawcę, Wojskowy Instytut Techniczny Uzbrojenia, całość praw majątkowych do dzieła, w tym prawo do korzystania i rozporządzenia utworem w całości lub w fragmentach, jako utworem odrębnym lub wspólnie z innymi utworami innych twórców, na cały okres ochrony autorskich praw majątkowych do utworu w kraju i za granicą, na następujących polach eksploatacji:
 - a) utrwalania utworu w pamięci komputerów, w tym spełniających funkcje serwerów;
 - b) zwielokrotnienia utworu bez żadnych ograniczeń ilościowych, techniką drukarską, w pamięci komputera, jak i w sieciach multimedialnych, w tym typu Internet i Intranet, w szczególności on-line, a także poprzez wydruk komputerowy, na każdym znanym w dacie podpisania niniejszego oświadczenia nośniku;
 - c) rozpowszechniania utworu bez żadnych ograniczeń ilościowych, odrębnie lub w ramach utworów zbiorowych, w szczególności poprzez wprowadzenie do obrotu oryginału lub egzemplarzy, na których utwór lub jego fragmenty utrwalono (w szczególności utrwalonych technikami, o których mowa w pkt. a) w tym w postaci wydawnictw książkowych (drukowanych), drukiem, na każdym znanym w dacie podpisania niniejszego oświadczenia nośniku;
 - d) udostępnianie, w tym także przesyłanie za pośrednictwem sieci multimedialnych, w szczególności Internetu i Intranetu, on-line, w ramach komunikacji na życzenie, w tym również publicznie udostępnianie w taki sposób, aby każdy mógł mieć do utworu czy jego fragmentu dostęp w miejscu i w czasie przez siebie wybranym.
5. Na podstawie art. 21 ust. 21 ustawy o prawie autorskim i prawach pokrewnych Autor zrzeka się pośrednictwa organizacji zbiorowego zarządzania prawami autorskimi w zakresie korzystania z utworu polegającego na publicznym udostępnianiu utworu w taki sposób, aby każdy mógł mieć do niego dostęp w miejscu i czasie przez siebie wybranym.
6. Przeniesienie przez Twórcę na Nabywcę autorskich praw majątkowych następuje nieodpłatnie. Twórcy nie przysługuje wynagrodzenie za korzystanie przez Nabywcę z utworu na polach eksploatacji, o których mowa w punkcie 4.

.....

data, podpis

Scientific bulletin ISSUES OF ARMAMENT TECHNOLOGY – ISSN No 1230-3001 has been published by the Military Institute of Armament Technology since 1960. IAT bulletin is a forum for presentation original results of scientific research and development work on armament technology covering such domains as the design and use of machines, electronics, electro-technique, IT, mechanics, automatics, robotics, material engineering, chemical technology, techniques of navigation and some issues of mathematics, physics and chemistry. The bulletin deals with wide aspects of scientific, technical, technological and service issues in following categories:

- Gunnery
- Small arms
- Missiles and rockets
- Radar and rocket systems
- Explosive ordnance
- Material engineering
- Dynamic tests of weapon systems
- Training & practising systems of weapon systems
- Command systems
- The use of weapon systems
- Modelling technical – logistic – organisation processes
- Quality assurance management for armament systems and ordnance inventories
- Issues of providing secure infrastructure and defence against terrorism.

The scientific bulletin '*Issues of Armament Technology*' is indexed in the data base '*The Polish Technical Magazines*' *BazTech* (<http://baztech.icm.edu.pl>) and Index Copernicus Journal Master List.

Paper reviewing procedure

Authors agree the papers sent to be published in bulletin *Issues of Armament Technology* become subject of reviewing procedure. In the first step the papers are evaluated by the editorial team and then by at least two reviewers. The reviewers are selected by the editorial team secretary after consultancies with the subject editors. Selection of reviewers is in line with the rule that they have to be independent and objective specialists possessing comprehensive knowledge on the paper's subject. The papers are reviewed by keeping the mutual anonymity of authors and reviewers. A preferred way of review is included in a review form that is supplied by the reviewer to editors. The reviewers are bound not to use the knowledge about the reviewed paper before its publishing.

The main author is informed about the results of the review without the reviewer's personal information. The papers with positive reviews are designated for publishing. In the case there are comments of reviewers resulting in a necessity of changes the correspondence with the author is secured by editors. It is possible to prepare a new review if introduced changes are extensive or to call a new reviewer. The final qualification for publishing is made by the editor-in-chief.

The editor-in-chief may refuse the publishing of a paper if:

- The paper obtained negative reviews
- The author refuses to make amendments proposed by a reviewer or the editor
- The paper's subject is not in line with bulletin *Issues of Armament Technology*
- The text submitted to editors does not meet technical requirements for the paper included in guidelines for the authors
- The paper has been already published
- Text of the paper contravenes the binding legal regulations (protection of classified information, authorship rights, etc.).

Guidelines for Authors Submitting the Papers to be Published in the Bulletin *Issues of Armament Technology*

I. General information

We accept original papers prepared in Polish or English language in the printed form (A4) and in electronic version on MS Word in formats doc or docx that have not been published yet.

To the materials shall be attached the **Declaration** of the main author (Annex No 1) with the information about former presentation of materials included in the paper and the contribution of particular authors into the preparation of the publication, and the **Statement** (Annex No 2) about transferring the property authorship rights for the publication in favour of the Publisher i.e. the Military Institute of Armament Technology.

(The aim of submitted declaration is to counter the 'ghost writing' and 'guest authorship'. The 'ghost writing' case is when a person has an essential contribution into a paper but is not included in the list of authors or in the paper's acknowledgements. The 'guest authorship' or 'honorary authorship' is when notwithstanding artificial or minimal contribution the author is included on the list of paper's authors. These two cases are unacceptable in the practice of scientific society and all cases shall be mercilessly revealed and the relevant employers of such authors shall be informed.

The paper (A4 one side printed page + electronic record) has to be sent to editor's address:

Editor of „Issues of Armament Technology”
Military Institute of Armament Technology
7 Wyszyński St.
05-220 Zielonka, Poland

It is possible to send electronic version by email to: oniw@witu.mil.pl

The editor reserves the right for correcting texts and rejecting some papers. Every text shall be subjected to the process of reviewing. Any text that is not in compliance with technical requirement will be rejected before the reviewing.

II. Technical requirements

1. Structure of the paper:

- First and second name of the author/authors, name of institution
- Title and abstract and key words in Polish language
- Title and abstract and key words in English language
- Text with figures, tables and pictures
- List of literature
- Information concerning sponsors or funds relating to preparation of the paper.

2. Text formatting information (see – The scheme of the paper)

Page settings – size of the page A4, vertical orientation, margins: left, right – 2.5 cm, top – 2.0 cm, bottom – 3.0 cm, heading – 1.25 cm, foot – 1.8 cm.

Authors – titles, first and second names, names of institution have to be placed under the title in the centre of text.

Abstract – in Polish and English and volume of words between 100 to 150 representing the essence of the paper.

Key words – 3 to 7 words describing the subject in Polish and English

Text – the text maximum volume is 10 pages of A4 size and it has to be prepared by *Times New Roman* characters with a size changing according to the guidelines of the paper's scheme and space between lines equal to 1. Text has to be adjusted with the tabulator setting 0.75. Titles of chapters and sub-chapters have to be numbered by using Arabic digits and other listings have to use pointing marks. The figures, tables and pictures have to be numbered in succession (Figure 1, Table 1, Picture 1) and placed in the part of a text to what they refer to. **The figures and photographs have to include only markings made by digital symbols and their meanings have to be explained on the captions of the figures or photographs.**

Captions under the figures and pictures have to be centred and titles placed on the top of tables have to be adjusted to the left. Maths formula and equations have to be edited in Microsoft Equation with the numeration in round brackets (1).

List of literature - (Literature) has to be given at the end of chapters. Each item has to be numbered in succession in square brackets (including the references in the text).

Example:

[1] Name., Title of the paper, *Name of the magazine*, Number of page(s), Place of publication, Date of publication

[2] Name, *Title of the book*, Editor, Place of edition, Date of edition

[3] Name, Title of proceedings, *Title of edition e.g. X... Y... Conference Proceedings*, page, Place of edition, Year of edition

[4] <http://www.-----> , date of data acquisition

[5] PN-EN ----- : year, Name of the standard

Any information concerning the funding of a project that resulted in preparation of the paper and other important data – the information has to be put in *italics* at the end of the text under the list of literature in the centred form.

SCHEME OF THE PAPER

Jan KOWALSKI, D. Sc. *, 10 pts
 Lt. Col. Tadeusz WOLSKI, M. Sc. **, 10pts
 * Military Institute of Armament Technology, 10pts
 ** Military University of Technology, 10 pts
Space 3x 10 pts

TITLE OF PAPER IN POLISH - TIMES NEW ROMAN 14 PTS BOLD

Space 3x 10 pts

Abstract: 100 –150 words; characters Times New Roman with the size 11 pts; text adjusted without shifts.

Key words: scheme, paper, Polish language, minimum three words 11 pts
Space 3x 10 pts

TITLE OF PAPER IN ENGLISH - TIMES NEW ROMAN 14 PTS BOLD

Space 3x 10 pts

Abstract: Abstract in English, Times New Roman type, 11 pts, equalised, without new paragraph

Keywords: pattern, paper, English language, three words minimum, 11 pts
Space 3x 10 pts

1. Introduction

Space 1x10 pts

Text of the paper has to be put in Times New Roman with the size according to below guidelines.

Space 1x10 pts

1.1 The guidelines:

Space 1x10 pts

Author and institution: 10 pts

TITLES OF THE PAPER: 14 pts (Bold)

Abstract: 11 pts (Bold), text of the abstract 11 pts normal

Key words: 11 pts

Titles of chapters: 14 pts (Bold)

Titles of subchapters: 12 pts (Bold)

Text of paper: 12 pts

Captions under pictures and graphs 11 pts (Bold) centred

Space 2x10 pts

2. Margins

Space 1x10 pts

Left, right - 2,5 cm, top – 2 cm, bottom – 3 cm, heading – 1,25 cm, foot - 1,8 cm

Space 2x10 pts

3. Text

Space 1x10 pts

Text adjusted, single interline, tabulator 0.75. Math formula and equations prepared in Microsoft Equation.

Literature

Space 1x10 pts

Example:

[1] Name., Title of the paper, *Name of the magazine*, Number of page(s), Place of publication, Date of publication

[2] Name, *Title of the book*, Editor, Place of edition, Date of edition

[3] Name, Title of proceedings, *Title of edition e.g. X... Y... Conference Proceedings*, page, Place of edition, Year of edition

[4] <http://www.-----> , date of data acquisition

[5] PN-EN ----- : year, Name of the standard

Any information concerning the funding of a project that resulted in the paper and other important data.

DECLARATION OF THE MAIN AUTHOR

Presenting for publishing in the bulletin *'Issues of Armament Technology'* a paper entitled:

.....
.....

1. Name of the main author

Contact information

2. I declare that the paper I have presented for the publication in the bulletin *'Issues of Armament Technology'* has never been published in any magazine.

The paper was / was not* presented at the public forum (conference, etc.).

Name of the event

Place Date

3. I declare that the following co-authors have contributed some parts of work into preparation of the paper:

a/ Name of co-author, institution

Parts of contributed work (e.g. author of a concept, specifications, method, tests, analysis of results, etc.)

.....
.....
.....

What amounts % of the contribution into the paper.

b/ Name of co-author, institution

Parts of contributed work (e.g. author of a concept, specifications, method, tests, analysis of results, etc.)

.....
.....
.....

What amounts % of the contribution into the paper.

.....
Date, Main author's signature

Notes:

1/ * Delete unnecessary

2/ Add next sub-points at greater number of co-authors.

Surname, name

ID Number

Staying address

.....

Statement

As the author of the paper titled:

.....

to be published in the bulletin "*Issues of Armament Technology*" and declared contribution in its preparation that is indicated in annex No 1, I hereby declare that:

1. I have the exclusive and unlimited authorship (ownership and property) rights to the work
2. The work is not charged by any claims and other rights of third parties
3. The work has been performed personally by myself
4. I transfer into the Publisher, the Military Institute of Armament Technology, complete property rights to the work, including the right for using and disposing the work in the whole or partly, and as a separate work or together with other works of other authors, within the whole protection period for authorship property rights of the work in the country and abroad and on the following areas of use:
 - a) Recording the work on the memory of computers, including these with functions of servers
 - b) Copying the work without any quantity limits, by printing technique, in computer memory, and in multimedia networks, including Internet and Intranet, and especially on-line, and also by computer printing on every type of the information carrier that is known on the date of signing this statement
 - c) Publishing the work without any quantity limits, separately or in the frame of collective works, and especially through putting into the trade the original or copies on which the work or its parts were recorded (especially recorded by techniques mentioned in clause a) including the forms of books (printed), printed works, on every type of the information carrier that is known on the date of signing this statement
 - d) Disclosing, including transfer by multi-media nets, especially Internet and Intranet and on-line, in the frame of desired communication including the public disclosure in such a way that everyone could have an access to the work or its part in any place and time anyone has decided.
5. Basing on article 21 pos. 21 of the law about the authorship and connected rights the Author resigns from the agency to organise the collective governing on authorship rights for using the work publicly in such a way that everyone could have an access to the work or its part in any place and time anyone has decided.
6. The transfer of property authorship rights from the Author to the Buyer is made in free of charge way. The author has no rights for any remuneration for the using the work by the Buyer on the areas mentioned in clause 4.

.....

date, signature