



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 zasilania.

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

wodnego i stabilnego, a często również bezobsługowego zasilania elektrycznego dającego gwarancję skuteczności nawet po wieloletnim składowaniu. Do tego typu urządzeń idealnym 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 Ogniw (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

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 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

i elektrolity ogniów wytwarzane są w procesie nasycania nośników substancjami aktywnymi a następnie wykrawania odpowiednich kształtek; w przypadku katod są 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

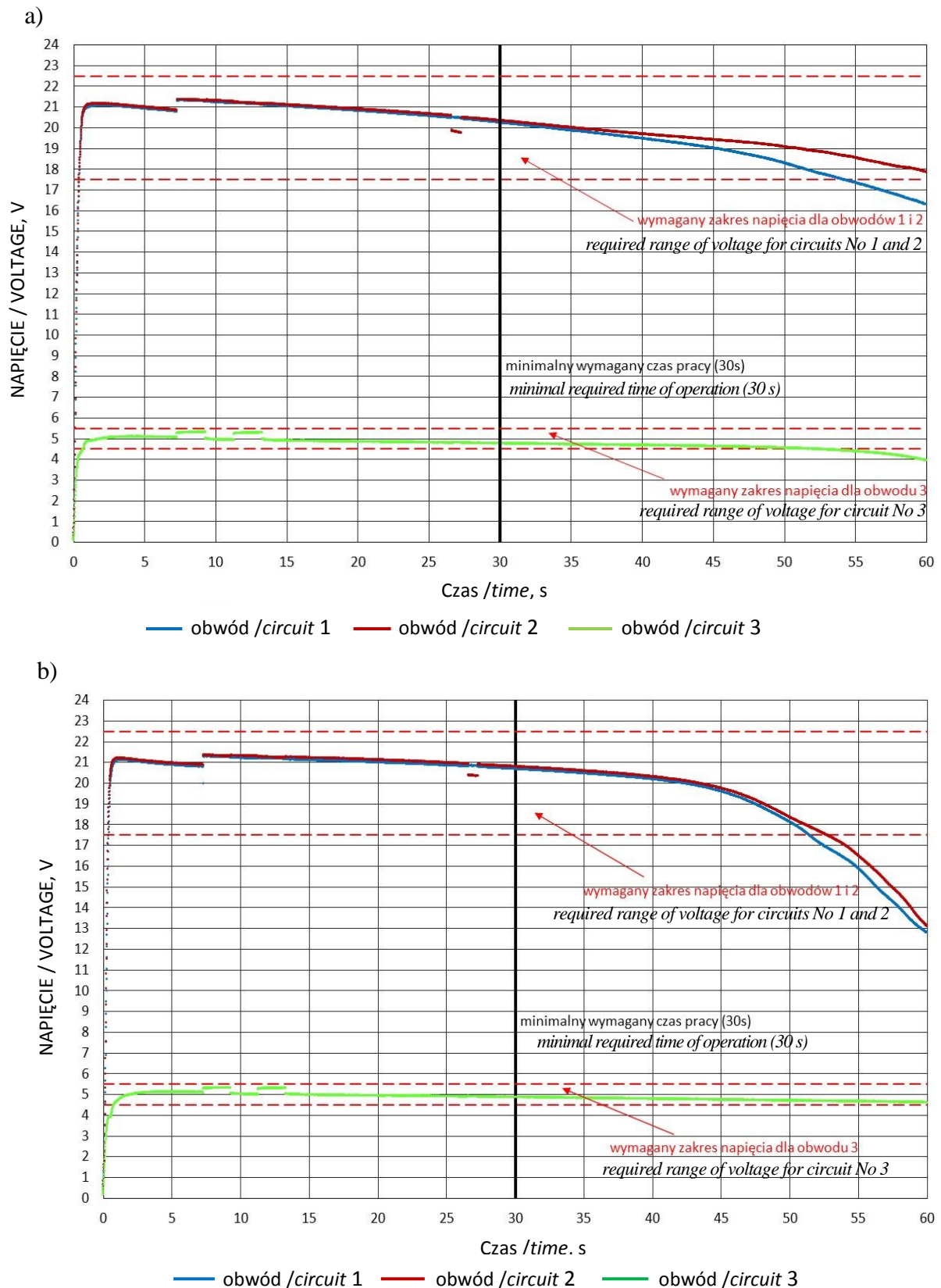
Baterie BTR-03 produkowane są seryjnie w IMN CLAiO od 1998 roku, to czas wystarczający, aby zweryfikować ich zdolność do pracy po długim okresie przechowywania. Początkowo czas gwarancji tych baterii wynosił 10,5 roku obecnie jest on wydłużony do 13 lat. W niniejszym artykule przedstawiono porównanie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

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 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.



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 skokowo 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.

The batteries were discharged by using 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 .

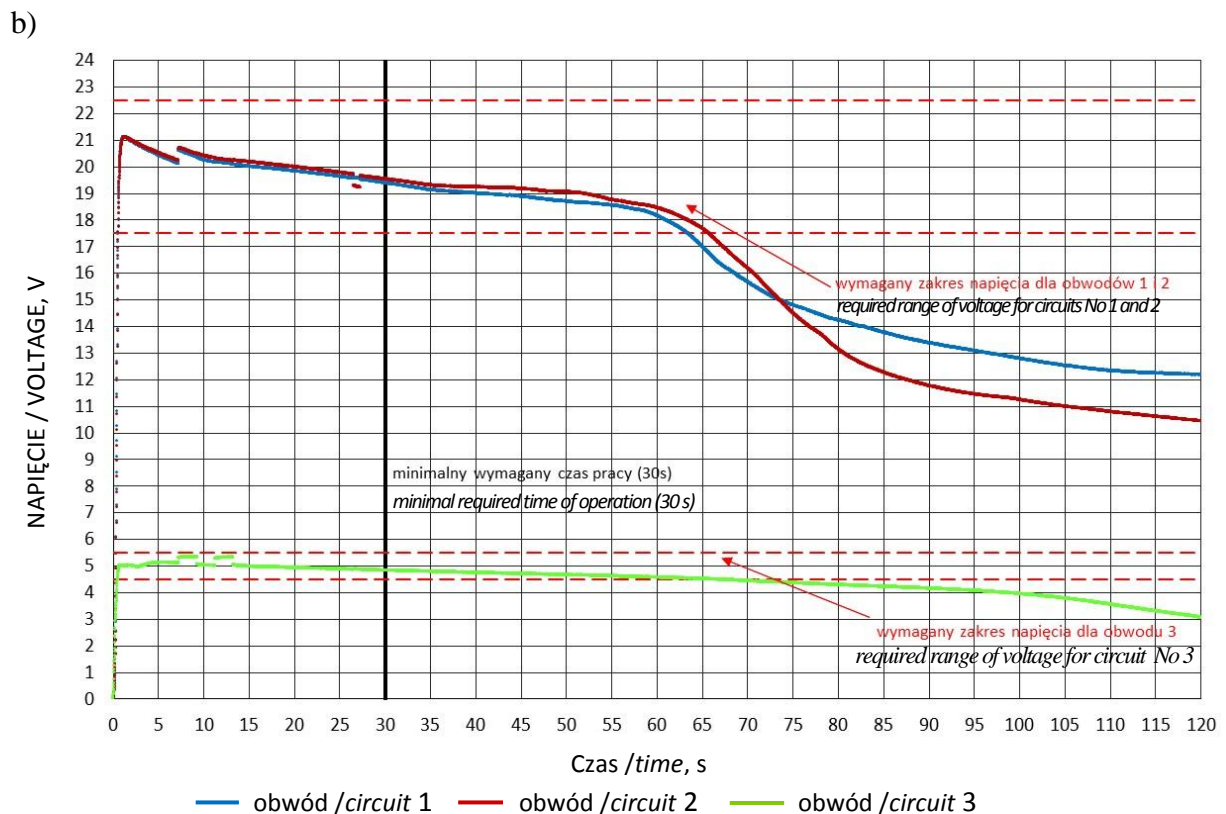
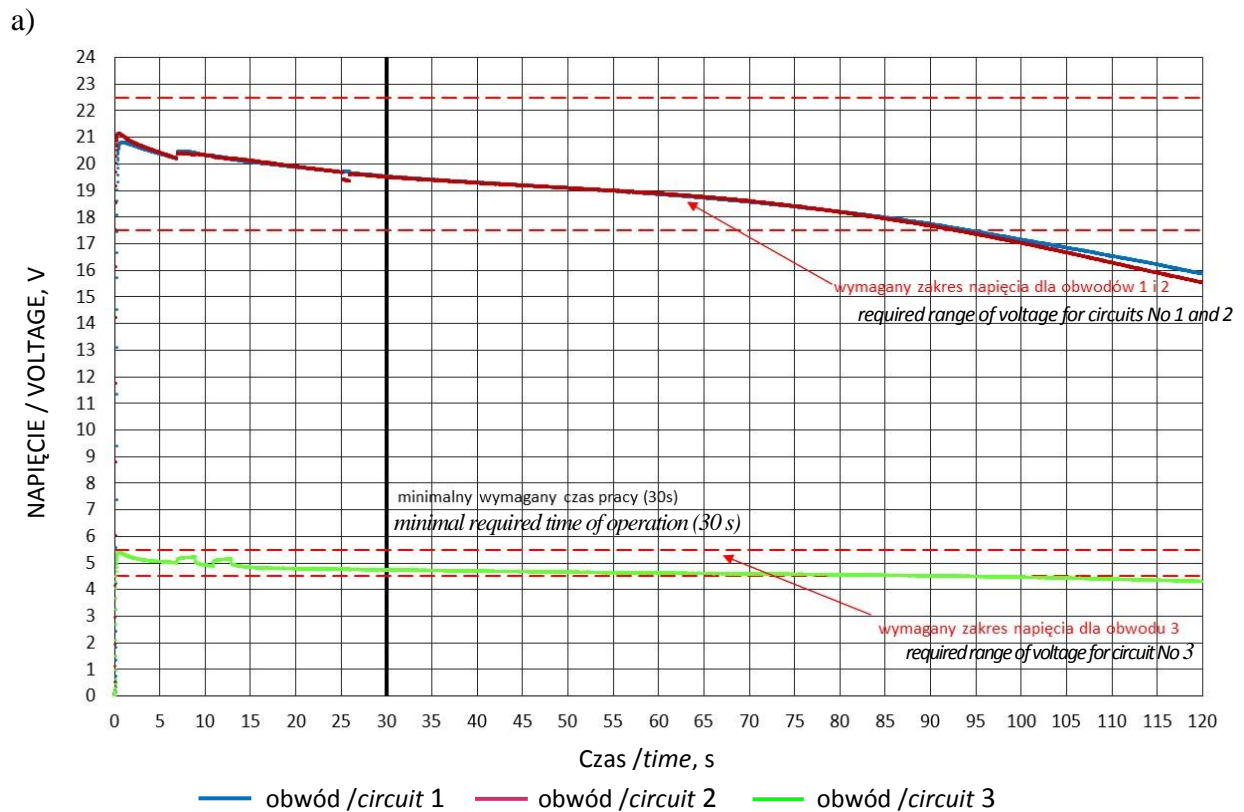
The battery BTR-03 has three circuits at nominal voltages which equal respectively to: 20 V, 20 V and 5 V; then three unloading curves correspond to each battery.

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.



Rys. 2. Krzywe wyładowania $U=f(t)$ baterii termicznych typu BTR-06;
 a) bateria badana w temperaturze $+50^{\circ}\text{C}$, b) bateria badana w temperaturze -35°C
Figure 2. Discharging graphs $U=f(t)$ for BTR-06 thermal batteries;
 a) battery tested in temperature $+50^{\circ}\text{C}$, 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%.

Równolegle 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 .

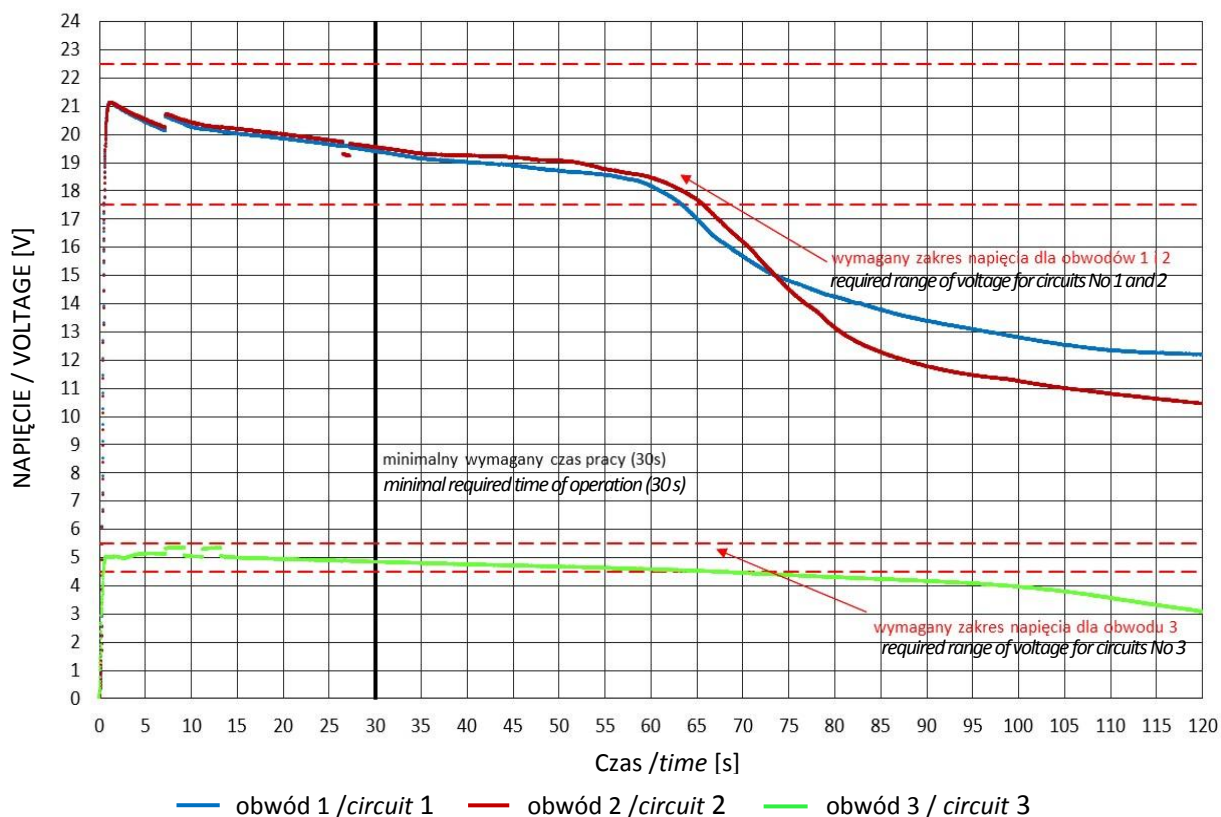
Przedstawione na rysunkach charakterystyki pracy baterii pozwalają stwierdzić, że baterie te spełniają wszystkie stawiane im wymagania, przy czym w stosunku do baterii BTR-03 wyraźnie wydłużył się czas pracy baterii.

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.

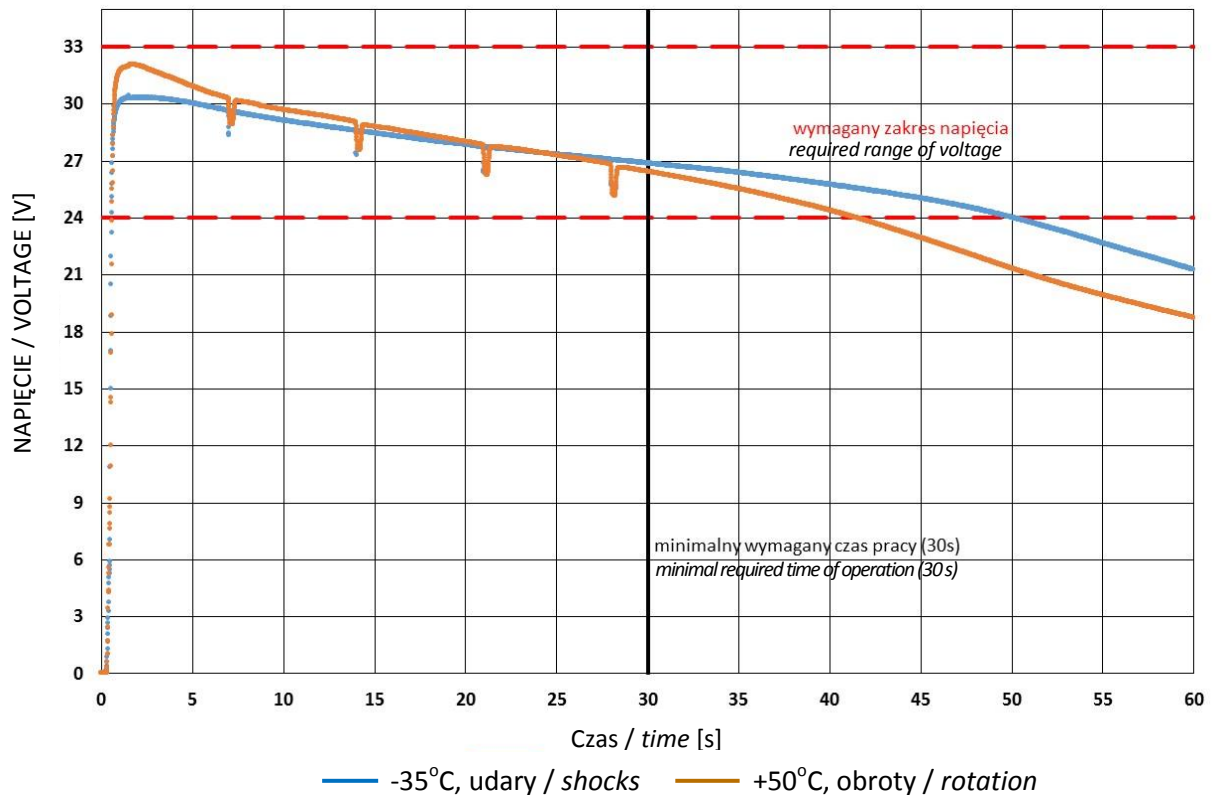
The measured characteristics of two batteries are presented in table 3. The momentary decreases of the voltage visible on the graphs are merely a result of changes in load (current pulses) and the mechanical expositions in any way do not affect the operation of the batteries. The discharging curves presented 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

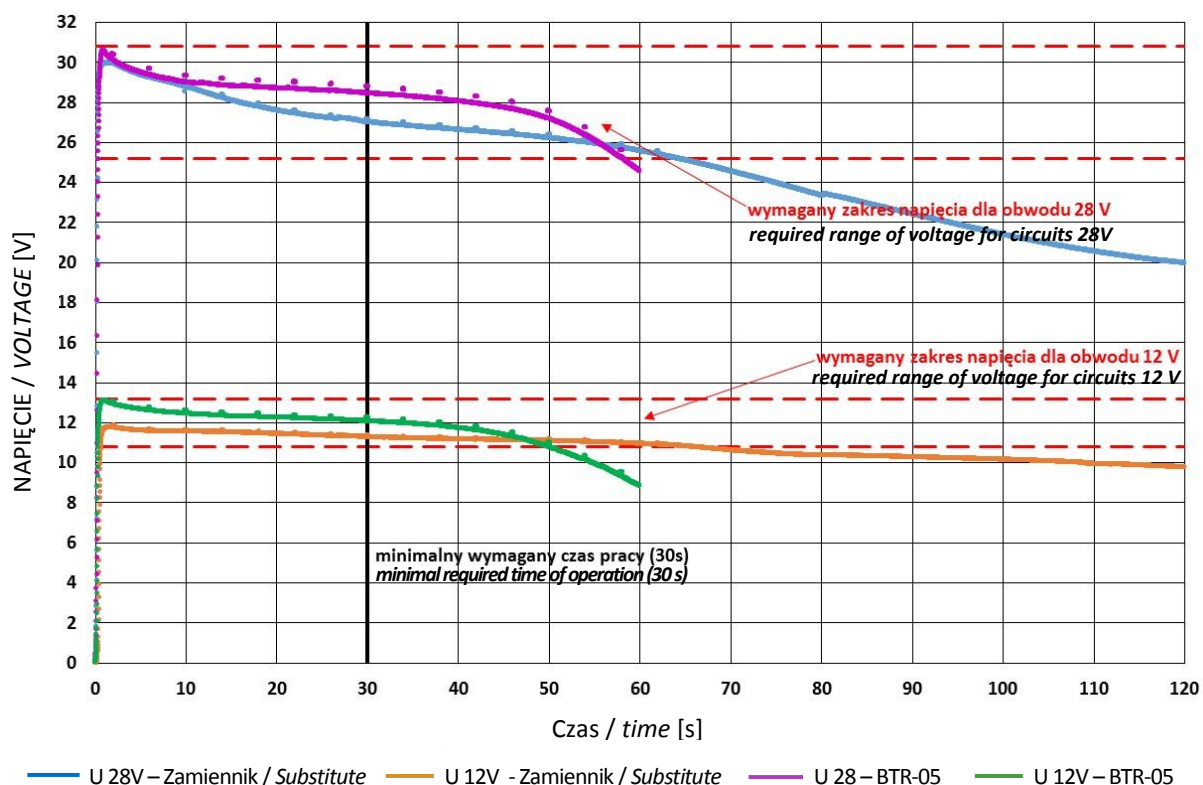
Tabela 3 Zestawienie wyników badań elektrycznych baterii termicznych BTR-07 uzyskanych w różnych warunkach pracy

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°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 .

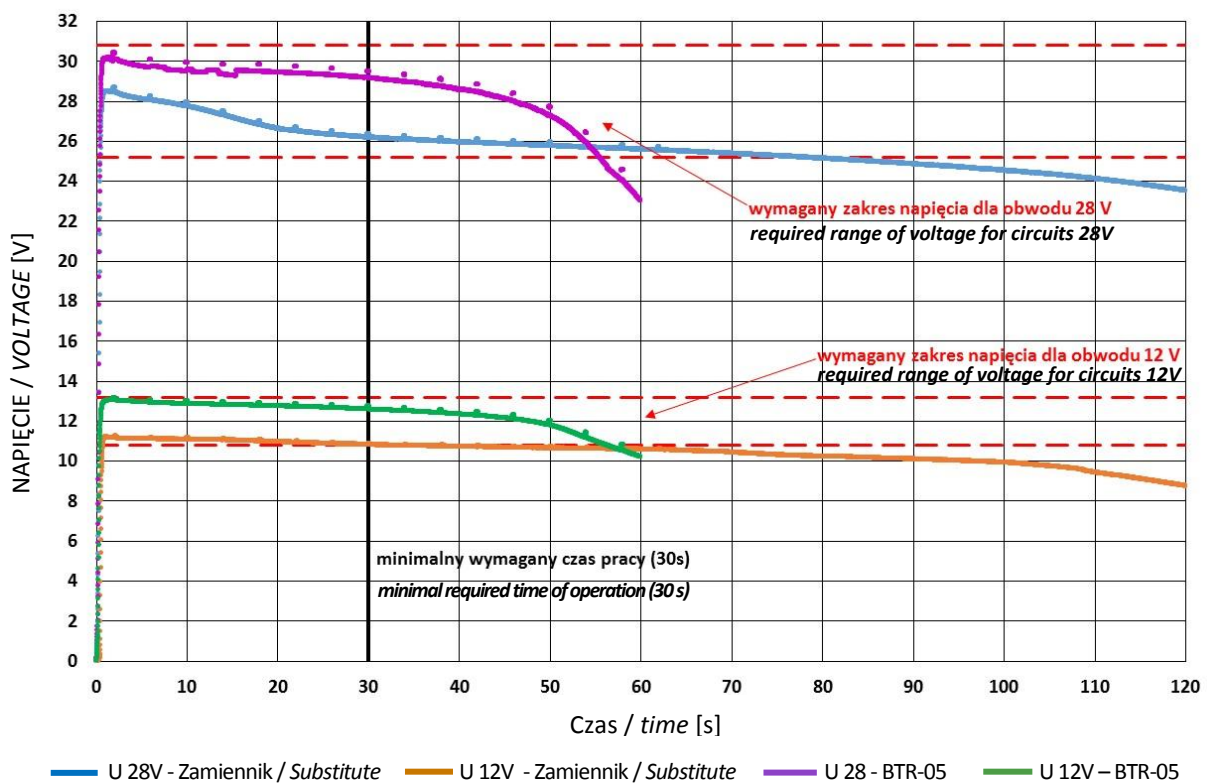
Results received at testing the initial model of BTR-05 battery replacement are very promising. In the case of the meas-

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.*

