

## **WYCZERPYWANIE RESURSU ZESPOŁU ZASILANIA EM7202-0-2 Z TURBOGENERATOREM EM7201-0-1 - BADANIA FUNKCJONALNE**

**Streszczenie:** W artykule przedstawiono fragment procesu badania stanu technicznego raket po wieloletniej eksploatacji mającego na celu określenie możliwości ich dalszej eksploatacji po okresie gwarantowanym przez producenta. Proces obejmuje badania funkcjonalne zespołu zasilania z turbogeneratorem na wyczerpanie resursu. Omówiono przedmiot przeprowadzanych badań oraz zastosowane podczas badań metody badawcze. Przedstawiono także wnioski z przeprowadzonych badań i analiz. Wykazano przydatność zastosowanych metod badawczych w procesie badania stanu technicznego elementów raket po wieloletniej eksploatacji.

Słowa kluczowe: turbogenerator, zespół zasilania, resurs.

## **CONSUMING THE SERVICE LIFE OF POWER SUPPLY SYSTEM EM7202-0-2 WITH TURBO GENERATOR EM7201-0-1 FUNCTIONAL TESTING**

**Abstract:** The paper presents a part of the testing process of technical conditions for the long-term serviced rockets to determine the possibility of their further use after passing a period guaranteed by manufacturer. The process includes functional testing by consuming the service life of power system and turbo generator. The subject of studies and applied testing methods are presented with the findings. The usefulness of test methods used in the examination of technical elements of rockets after long term service is proved.

Keywords: turbogenerator, power supply system, service life.

### **1. Wstęp**

Wojskowy Instytut Techniczny Uzbrojenia od wielu lat prowadzi badania mające na celu zapewnienie bezpiecznej eksploatacji środków bojowych oraz określenie możliwości przedłużenia okresu ich eksploatacji poza okres gwarantowany przez producenta. Między innymi prowadzone są badania długotrwale eksploatowanych zespołów zasilania z turbogeneratorami, wykorzystywanych w raketach przeciwlotniczych. Spełniają one rolę przetworników energii sprężonego powietrza zgromadzonej w zbiornikach kulistych w energię elektryczną niezbędną do zasilania pokładowych urządzeń i mechanizmów sterujących lotem raket. Podczas eksploatacji raket i ich sprawdzeń okresowych w jednostkach wojskowych turbogeneratory są stale uruchamiane oraz testowane. Podczas niewłaściwej eksploatacji, a także w wyniku zmian starzeniowych aparatura ta narażona jest na uszkodzenia, w związku z powyższym istnieje konieczność kontroli stanu technicznego turbogeneratorów i zespołów zasilania.

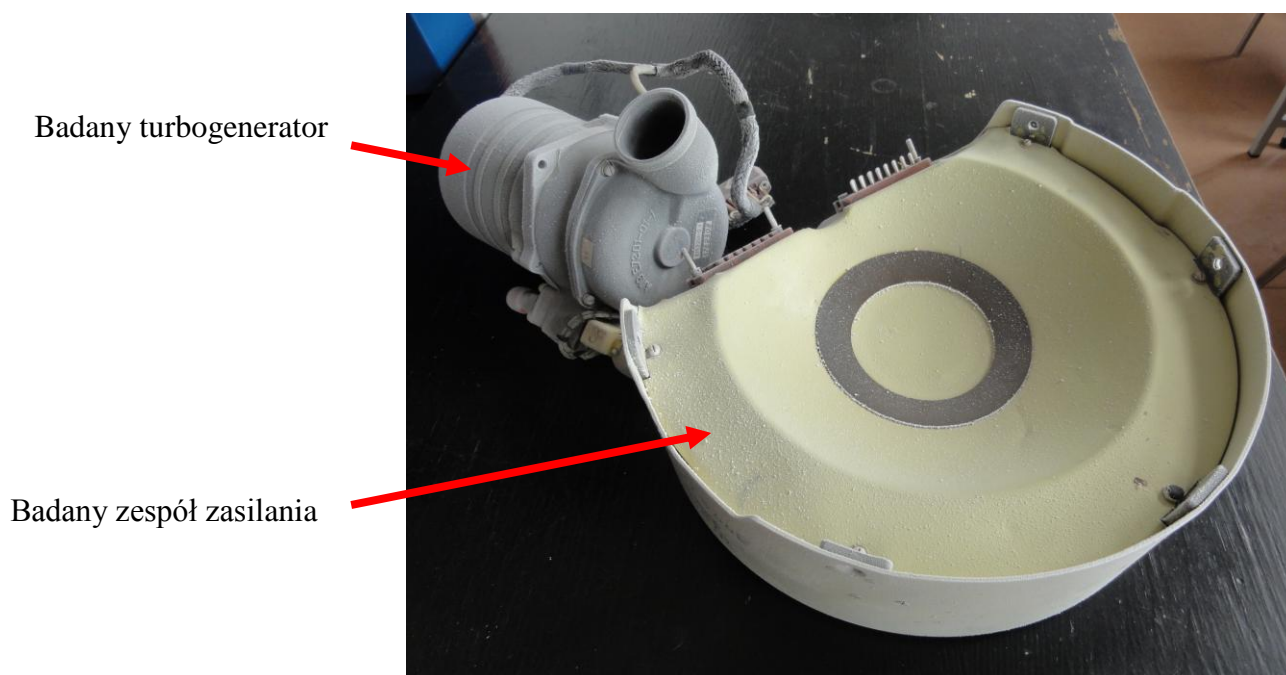
## 2. Cel badań

Zespoły zasilania EM7202-0-2 i turbogeneratory EM7201-0-1 po wieloletniej eksploatacji jako podzespoły szczególnie narażone na uszkodzenie podczas użytkowania oraz mające istotne znaczenie dla prawidłowego funkcjonowania rakiety, poddawane są kompleksowym sprawdzeniom technicznym. Wykonywane są badania parametrów elektrycznych pod odpowiednim obciążeniem, odpowiadającym temu, które występuje podczas lotu rakiety. W związku z tym, że producent przewidział konkretny rezerw jakiego układu zasilania i turbogenerator powinny poprawnie funkcjonować tzn. 9,5 h, należy sprawdzić poprawność funkcjonowania układu w całym przedziale czasowym tego rezerwu. Należy również opracować wytyczne dla personelu obsługującego, które umożliwią dalsze prawidłowe funkcjonowanie zespołów zasilania i turbogeneratorów.

## 3. Przedmiot badań

Przedmiotem badań był zespół zasilania EM7202-0-2 nr 92013 i turbogenerator EM7201-0-1 nr 92831 wyprodukowany w 1980 roku. Przedmiot badań wymontowany został z rakiety typu 3M9M3E o numerze 0U 5213. Prawidłowo działający układ powinien generować następujące napięcia:

- 230V- 400Hz (230V  $\pm$  8V) - 3 fazy,
- 36V - 400Hz (36V  $\pm$  3,6V) - 3 fazy,
- 27V (27V  $\pm$  2,7V) - nap. stałe.

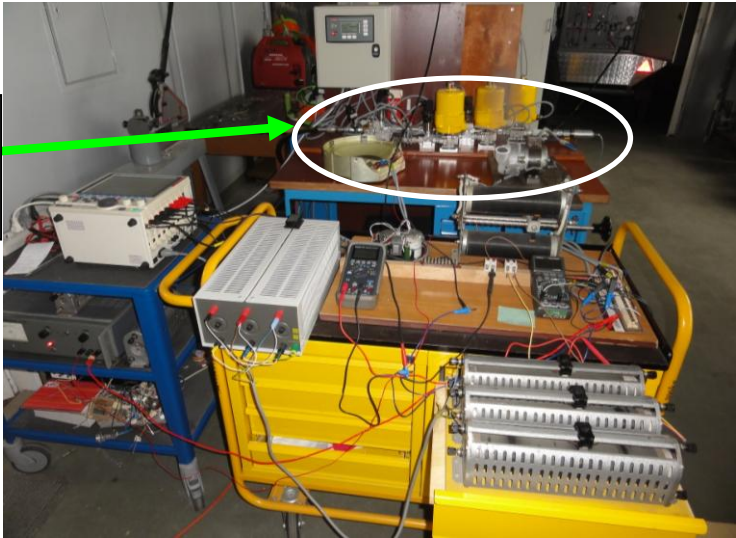


Rys.1. Zdjęcie badanego turbogeneratora i zespołu zasilania wymontowanego z rakiety KUB.

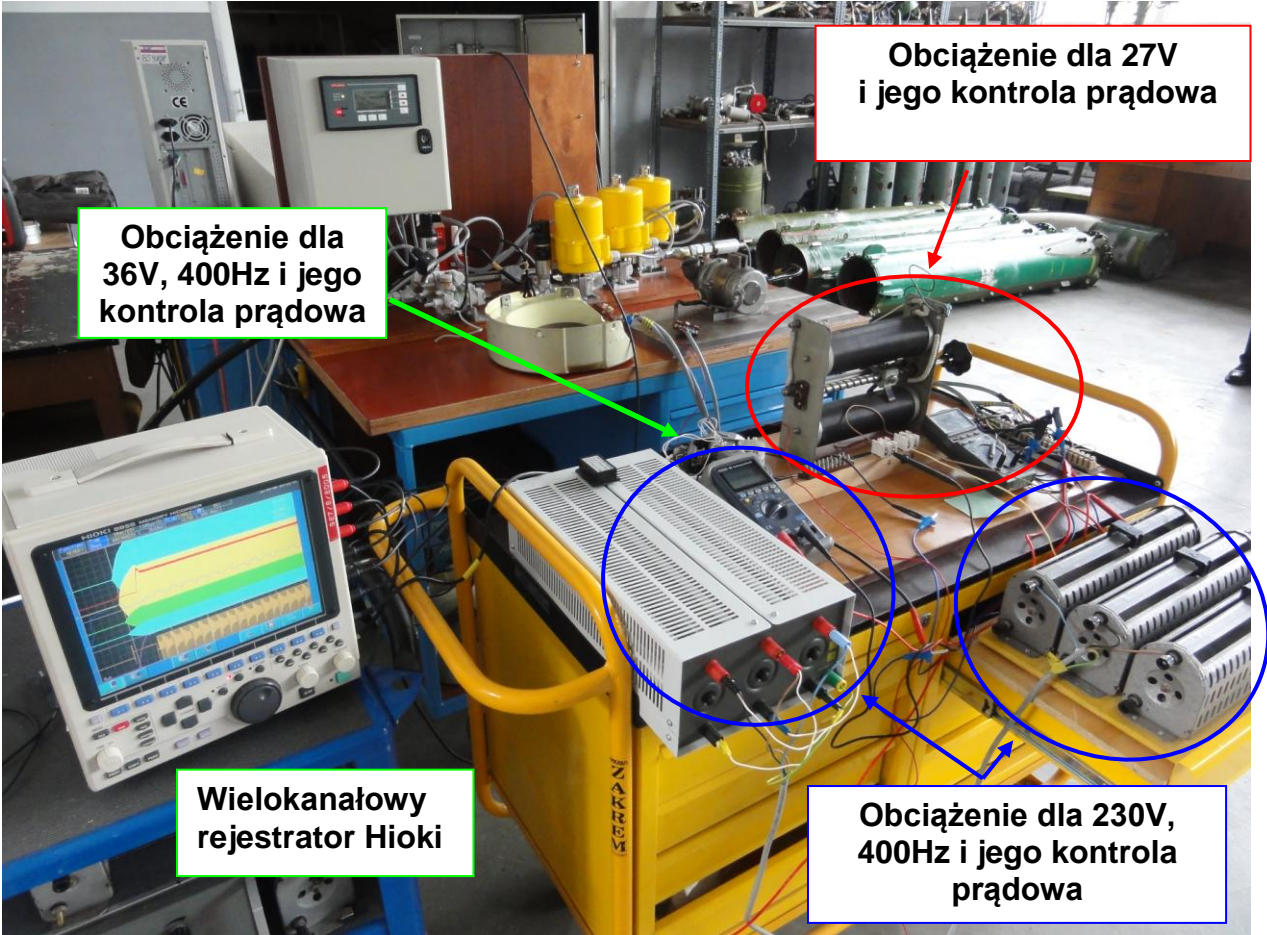
## 4. Przebieg i wyniki badań

Na rys.5. przedstawiono schemat blokowy laboratoryjnego stanowiska sprawdzania turbogeneratora i zespołu zasilania, natomiast rys.2-4. przedstawiają jego wygląd.

**BADANY TURBOGENERATOR  
I ZESPÓŁ ZASILANIA**



Rys.2. Widok laboratoryjnego stanowiska sprawdzania turbogeneratora i zespołu zasilania.



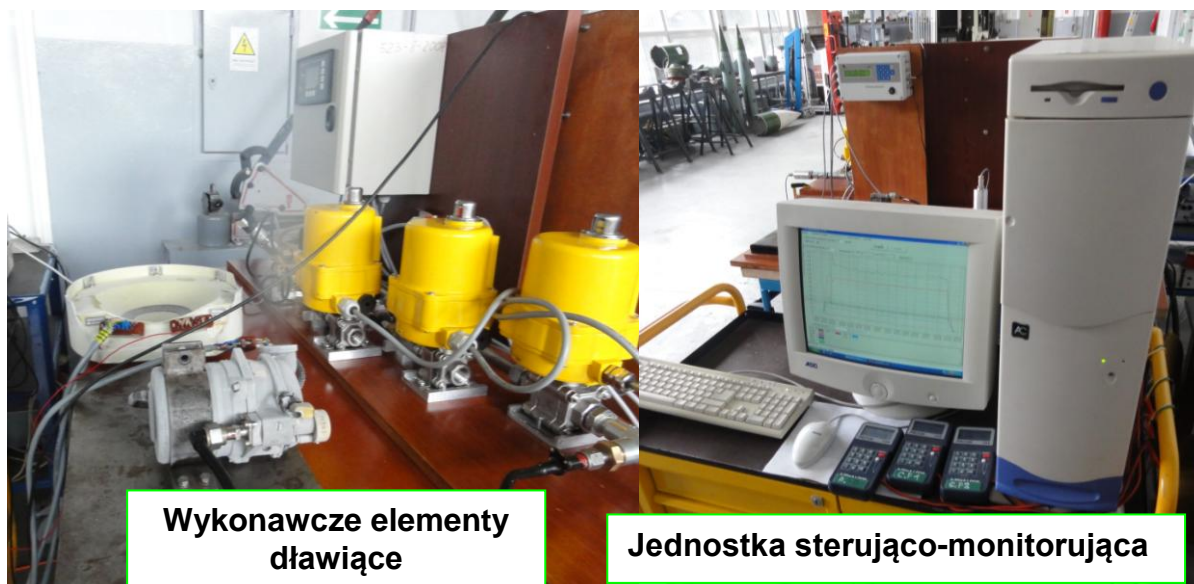
**Obciążenie dla  
36V, 400Hz i jego  
kontrola prądowa**

**Obciążenie dla 27V  
i jego kontrola prądowa**

**Wielokanałowy  
rejestrator Hioki**

**Obciążenie dla 230V,  
400Hz i jego kontrola  
prądowa**

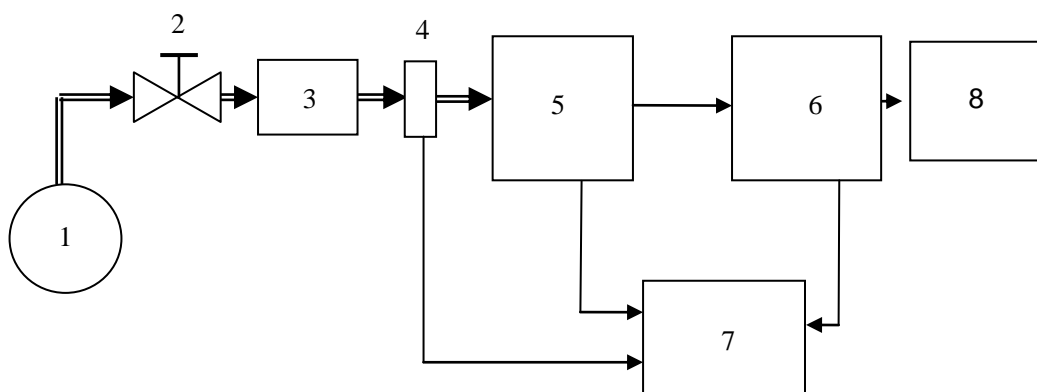
Rys.3. Turbogenerator i zespół zasilania przygotowany do badań z odpowiednimi obciążeniami nominalnymi.



**Wykonawcze elementy dławiące**

**Jednostka sterująco-monitorująca**

**Rys. 4. Część stanowiska badawczego odpowiedzialna za sterowanie ciśnieniem i przepływem powietrza, którym zasilany jest badany zespół turbogeneratora.**



**Rys. 5. Schemat blokowy laboratoryjnego stanowiska sprawdzania turbogeneratora i zespołu zasilania.**

Skład elementów stanowiska badawczego:

- 1- Zespół zasilania sprężonym powietrzem;
- 2- zawór odcinający;
- 3- zespół reduktorów powietrza;
- 4- czujnik pomiaru ciśnienia;
- 5- turbogenerator;
- 6- zespół zasilania;
- 7- układ pomiarowy i rejestrator wielokanałowy;
- 8- zespół obciążeń.

Na stanowisku sprawdzane i rejestrowane były następujące parametry turbogeneratora i zespołu zasilania:

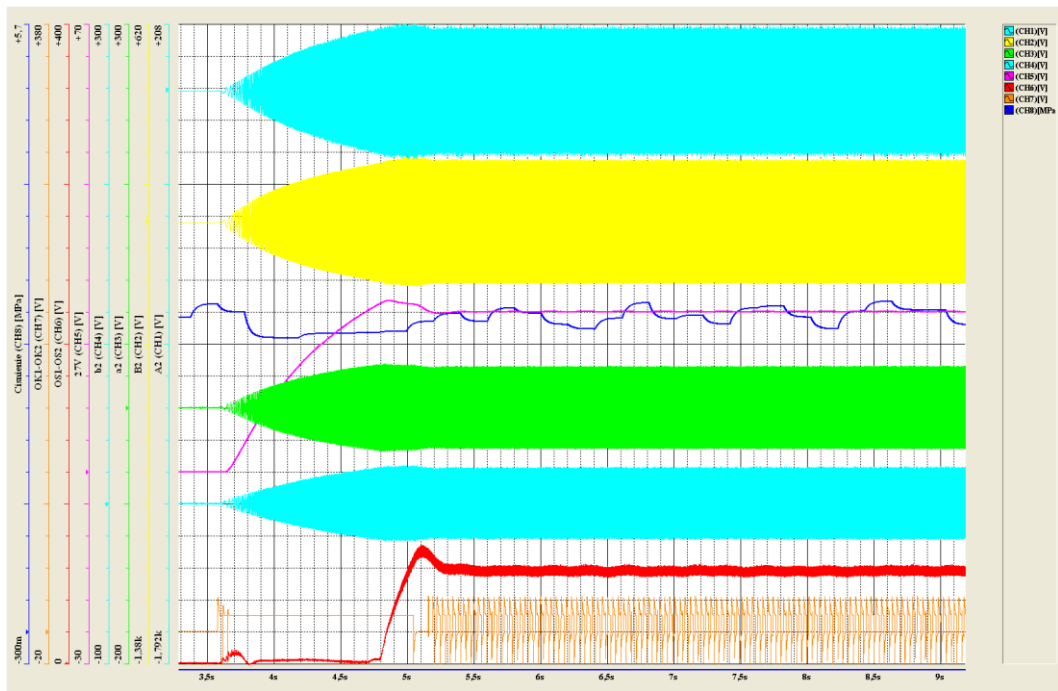
- $U_{App}$  – Napięcie międzyszczytowe fazy „A”;
- $U_{Ask}$  – Napięcie skuteczne fazy „A”;
- $U_{A-B}$  – Napięcie skuteczne  $U_{A-B}$  między fazą „A-B” (230V/400Hz);
- Częstotliwość  $F$  napięcia  $U_{fA}$ ;
- $U_{Bpp}$  – Napięcie międzyszczytowe fazy „B”;
- $U_{Bsk}$  – Napięcie skuteczne fazy „B”;
- $U_{B-C}$  – Napięcie skuteczne  $U_{B-C}$  między fazą „B-C” (230V/400Hz);
- Częstotliwość  $F$  napięcia  $U_{fB}$ ;
- $U_{bpp}$  – Napięcie międzyszczytowe fazy „b”;
- $U_{bsk}$  – Napięcie skuteczne fazy „b”;
- $U_{b-c}$  – Napięcie skuteczne  $U_{b-c}$  między fazą „b-c” (36V/400Hz);
- Częstotliwość  $F$  napięcia  $U_{fb}$ ;
- Napięcie pokładowe  $U_{27V}$ ;
- Ciśnienie powietrza  $P_{3MPa}$ .

Ze względu na ograniczony czas nieprzerwanej pracy (poniżej 60 s, zgodnie z instrukcją eksploatacji) oraz dużą ilość mierzonych parametrów, pomiar i zapisy sygnałów prowadzone zostały z wykorzystaniem wielokanałowego rejestratora Hioki.

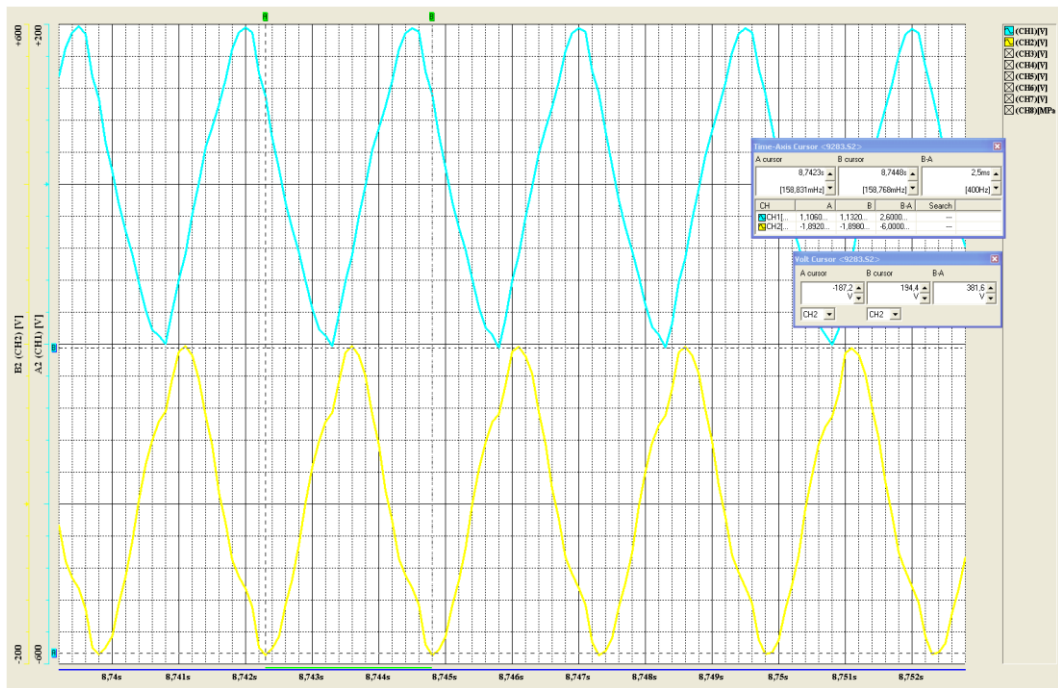
#### 4.1. Wyniki badań

Zespół zasilania EM7202-0-2 nr 92013 i turbogenerator EM7201-0-1 nr 92831 wymontowane z rakiety 0U 5213 poddano cyklowi sprawdzeń. Polegały one na wymuszeniu ciągłej pracy zespołu w cyklach jednonumitowych (z odpowiednimi przerwami pomiędzy próbami), aż do wyczerpania rezerwy pracy zespołu tzn. 9h i 30min. Pomiar wykonano w temperaturze otoczenia ( $20^{\circ}\text{C} \div 30^{\circ}\text{C}$ ). Zgodnie z danymi z formularza rakiety po 32 latach eksploatacji czas pracy zespołu był równy 15 minut i 35 sekund. Do badań przyjęto ten moment eksploatacji za czas „0”. Badania prowadzono do pełnego wyczerpania rezerwy przewidzianego przez producenta tzn. 9,5 h.

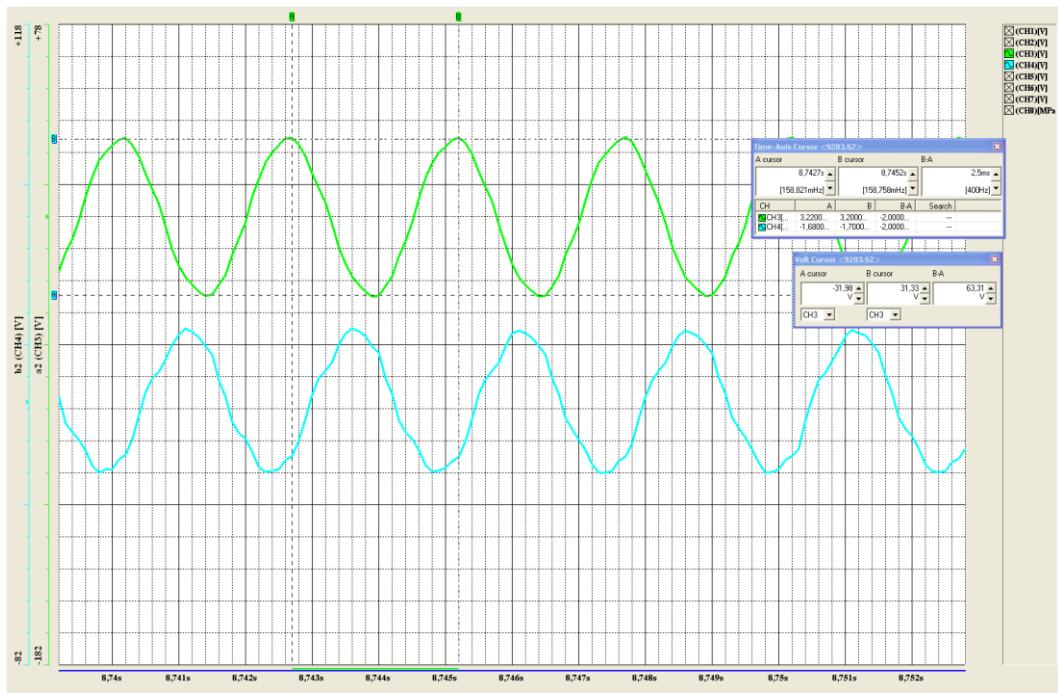
Rejestrację wyników wykonywano w całym przedziale sprawdzeń, począwszy od ustalonego punktu „0” do pełnych 9,5h pracy zespołu napędowego. W tablicy nr 1 przedstawiono wyniki badań z pierwszej minuty prób zmęzeniowych, potem kolejno z 2h, 4h, 6h, 8h i 9,5h pracy zespołu, natomiast na rys. 6-15 przedstawiono ilustrację graficzną wybranych parametrów zespołu zasilania z turbogeneratorem w pierwszej minucie sprawdzeń i dla porównania z ostatniej minuty pracy przewidzianego rezerwy eksploatacyjnego.



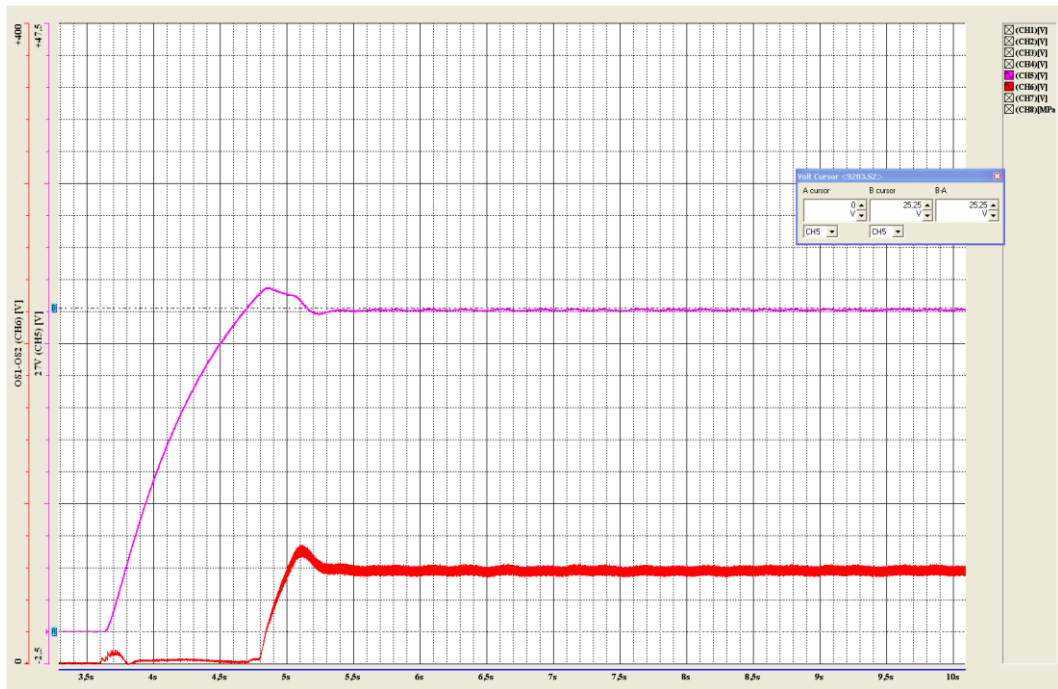
Rys. 6. Zapis pomiarów z badań turbogenerators nr 92831 w punkcie „O”(wszystkie rejestrowane parametry).



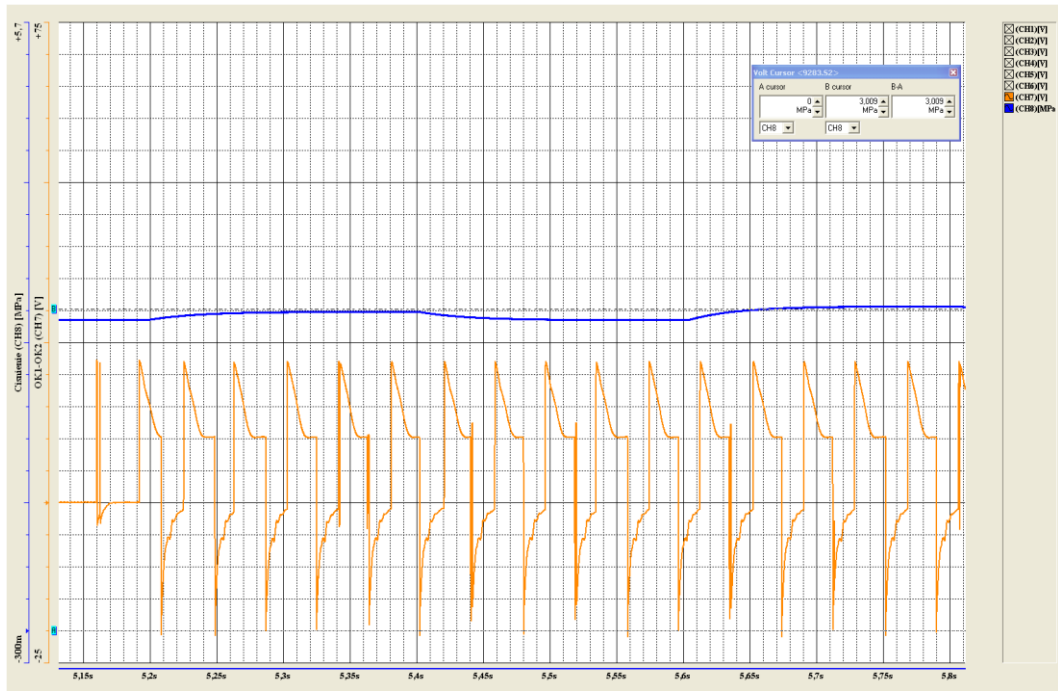
Rys. 7. Zapis pomiarów z badań turbogenerators nr 92831 w punkcie „O” (230V, 400Hz)



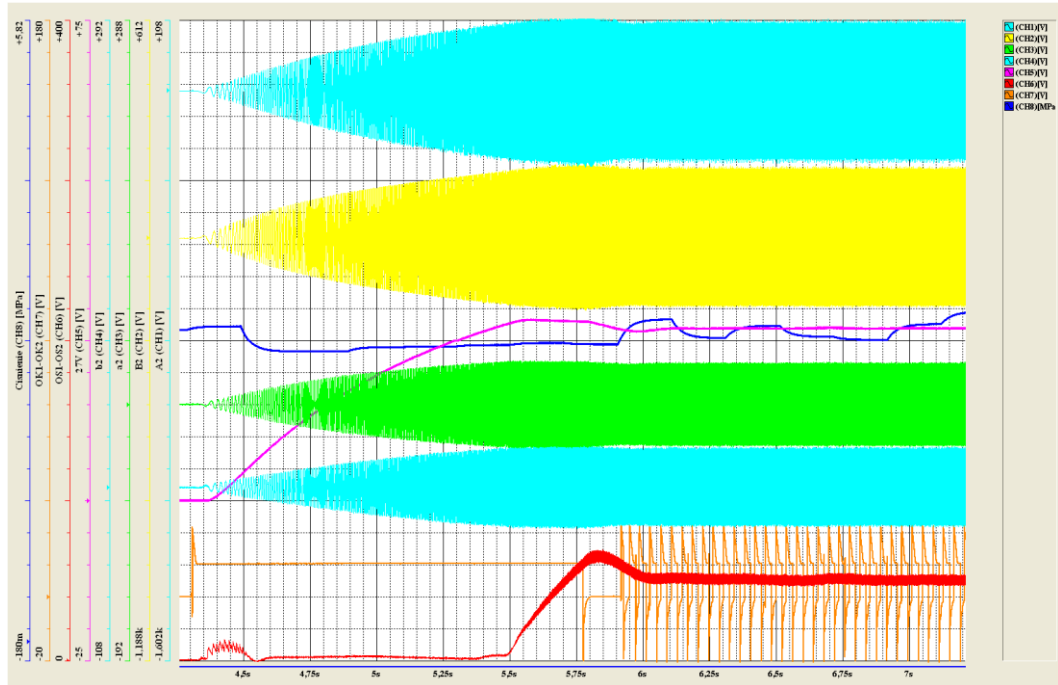
Rys. 8. Zapis pomiarów z badań turbogeneratora nr 92831 w punkcie „O” (36V, 400Hz).



Rys. 9. Zapis pomiarów z badań turbogeneratora nr 92831 w punkcie „O” (27V i napięcie zmieniające oporność magnetyczną twornika).

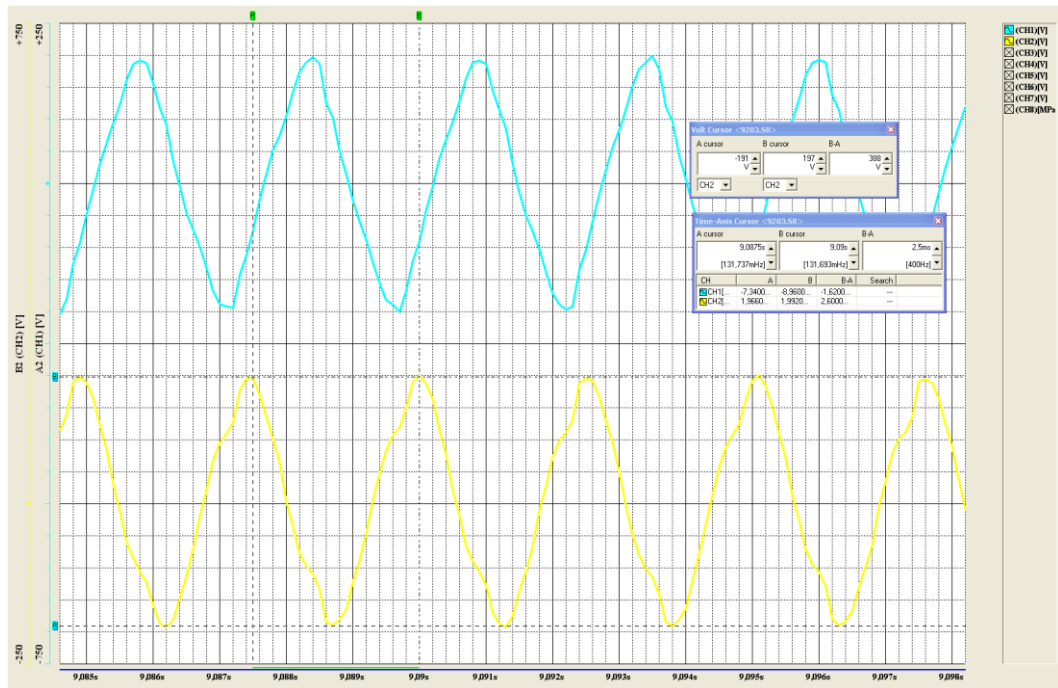


Rys. 10. Zapis pomiarów z badań turbogeneratora nr 92831 w punkcie „O” (sterowanie zaworu elektrycznego turbogeneratora, ciśnienie zasilające turbogenerator).

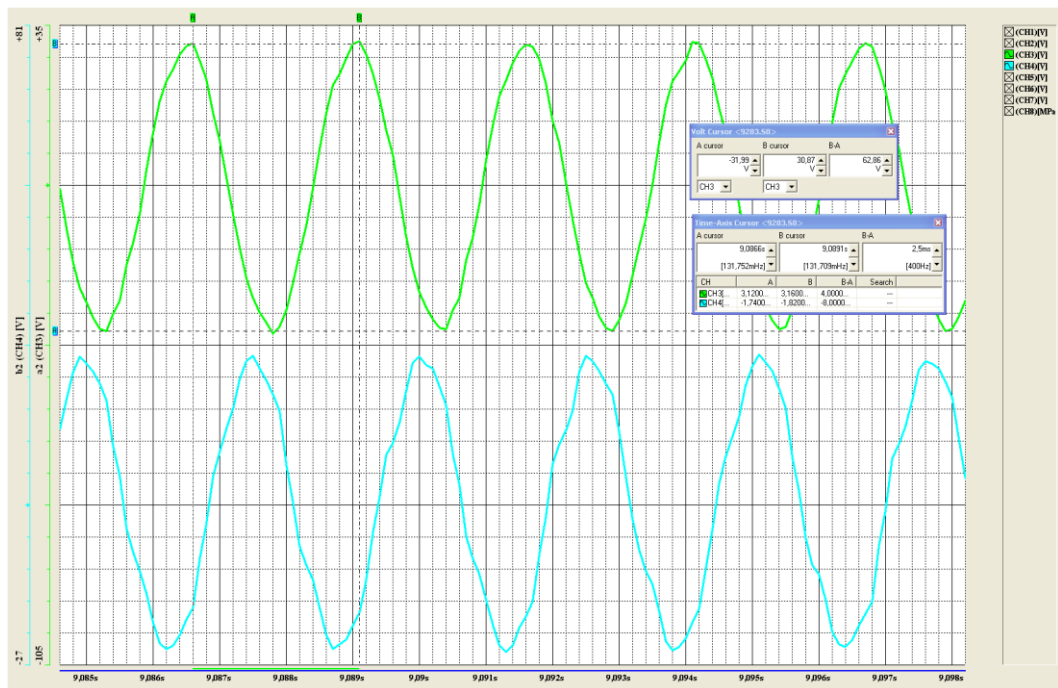


Rys. 11. Zapis pomiarów z badań turbogeneratora nr 92831 po 9,5h pracy (wszystkie rejestrowane parametry).





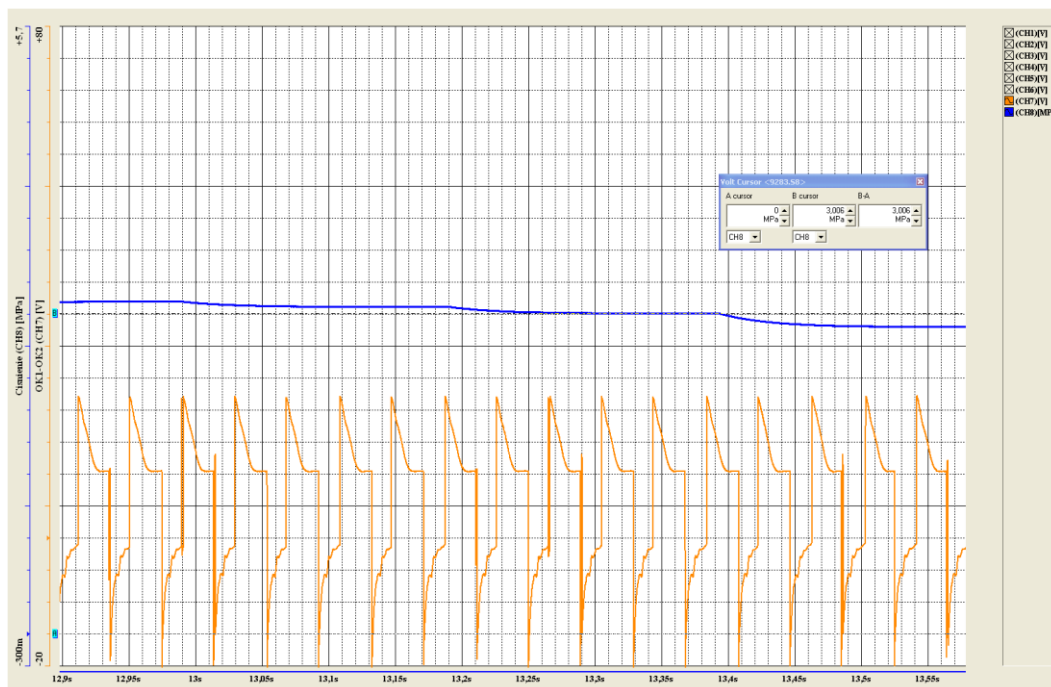
Rys. 12. Zapis pomiarów z badań turbogenerators nr 92831 po 9,5h pracy (230V, 400Hz).



Rys. 13. Zapis pomiarów z badań turbogenerators nr 92831 po 9,5h pracy (36V, 400Hz).



Rys. 14. Zapis pomiarów z badań turbogeneratora nr 92831 po 9,5h pracy (27V i napięcie zmieniające oporność magnetyczną twornika).

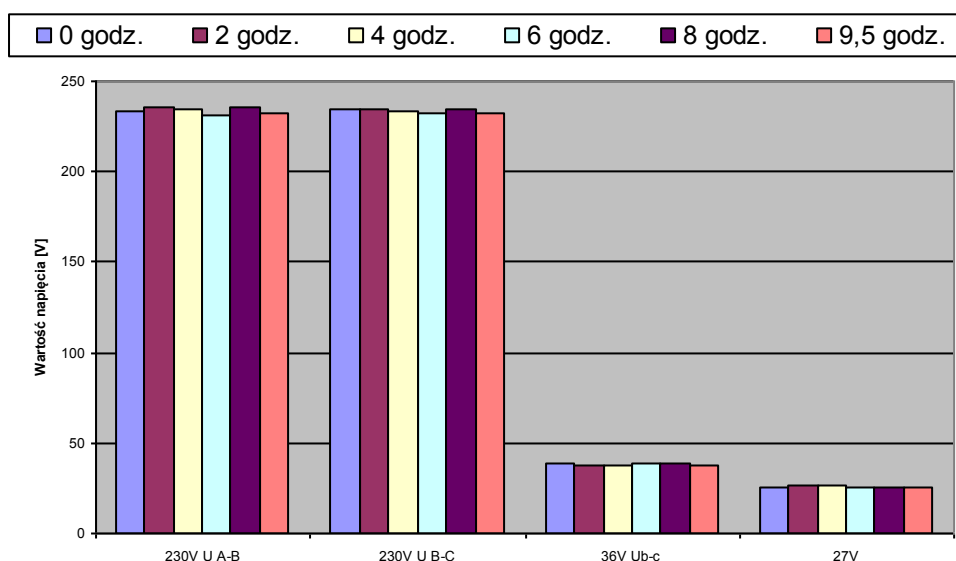


Rys. 15. Zapis pomiarów z badań turbogeneratora nr 92831 po 9,5h pracy (sterowanie zaworu elektrycznego turbogeneratora, ciśnienie zasilające turbogenerator).

Tablica 1

TYP I NR.RAKIETY		3M9M3E – 0U 5213						
TYP TURBOGENERATORA		EM7201-01	Nr.fabryczny		9283			
TYP ZESPOŁU ZASILANIA		EM7202-02	Nr.fabryczny		92013			
CZAS PRACY		0	2h	4h	6h	8h	9,5h	
PARAMETR	Napięcie międzyszczytowe fazy A $U_{App}$	V	381,6	384,0	382,8	378,0	384,8	388,0
	Napięcie skuteczne fazy A $U_{Ask}$	V	135,3	136,1	135,7	134,0	136,4	137,5
	Napięcie skuteczne międzyfazowe $U_{A-B}$	V	233,7	235,1	234,4	231,4	235,6	237,6
	Częstotliwość napięcia $U_{fA}$	Hz	400	400	400	400	400	400
	Napięcie międzyszczytowe fazy B $U_{Bpp}$	V	383,2	383,4	381,9	380,2	382,3	379,3
	Napięcie skuteczne fazy B $U_{Bsk}$	V	135,8	135,9	135,4	134,8	135,5	134,5
	Napięcie skuteczne międzyfazowe $U_{B-C}$	V	234,6	234,8	233,8	232,8	234,1	232,2
	Częstotliwość napięcia $U_{fB}$	Hz	400	400	400	400	400	400
	Napięcie międzyszczytowe fazy b $U_{bpp}$	V	63,3	61,4	62,2	62,7	63,2	62,9
	Napięcie skuteczne fazy b $U_{bsk}$	V	22,4	21,7	22,0	22,2	22,4	22,3
	Napięcie skuteczne międzyfazowe $U_{b-c}$	V	38,8	37,6	38,1	38,4	38,7	38,5
	Częstotliwość napięcia $U_{fb}$	Hz	400	400	400	400	400	400
	Nap. Pokładowe $U_{27V}$	V	25,3	26,9	26,5	25,1	25,8	26,9
	Ciśnienie powietrza $P_{3MPa}$	MPa	3,0	2,9	3,0	3,0	3,0	3,0
	Uwagi							

**Wartość napięć wytwarzanych przez zespół zasilania rakiety 0U 5213  
w trakcie wyczerpywania rezerwu**



**Rys. 16. Statystyka napięć wytwarzanych przez zespół zasilania rakiety 3M9M3E – 0U 5213 w trakcie prób zmężeń.**

#### 4. Wnioski z badań

Badania potwierdziły prawidłową pracę całego układu elektropneumatycznego oraz jego poszczególnych elementów. Sterowanie pracą układu elektropneumatycznego po próbach zmężeń odbywa się prawidłowo, a mierzona częstotliwość w każdym z pomiarów była bardzo stabilna i wynosiła 400Hz. Analiza zestawionych wyników badań pozwala stwierdzić, że rozrzut mierzonych parametrów napięciowych w całym zakresie prób zmężeń mieści się w przedziale wynoszącym dla napięcia 230V 400Hz – ok. 4V, dla napięcia 36V 400Hz – ok. 2V, dla +27V – ok. 2V. Wszystkie rejestrowane parametry napięć mieszczą się w granicach norm zamieszczonych w dokumentacji technicznej, tzn. : 230V- 400Hz (230V ± 8V); 36V- 400Hz (36V ± 3,6V); 27V (27V ± 2,7V).

Wyniki badań pozwalają stwierdzić, że turbogenerator z zespołem zasilania pracował prawidłowo w całym okresie przewidzianego rezerwu i rokuje odpowiednie funkcjonowanie w dalszej eksploatacji wybiegającej poza granice przewidzianego rezerwu.

W trakcie prowadzenia okresowych sprawdzeń kontrolnych rakiet należy zwrócić szczególną uwagę na utrzymanie właściwej wilgotności powietrza używanego do kontroli zespołu elektropneumatycznego. Zwiększona zawartość wody w sprężonym powietrzu prowadzi do skrócenia żywotności całego turbogeneratorsa poprzez korozję łożysk oraz szybsze zużycia turbiny napędzającej wirnik turbogeneratorsa. Konsekwencją eksploatacji zespołu elektropneumatycznego z powietrzem złej jakości mogą być uszkodzenia turbogeneratorsa charakteryzujące się brakiem wypracowania napięć umożliwiających przełączenie na zasilanie pokładowe (zwiększenie oporów na łożyskach, brak możliwości uzyskania pełnej prędkości obrotowej wirnika) i całkowitym zablokowaniem wirnika turbiny.

#### Literatura

- [1] Przeciwlotnicza Rakiet Kierowana 3M9M3E – opis i użytkowanie
- [2] Materiały archiwalne WITU- niepublikowane

