

## **BADANIA WPLYWU TEMPERATUR EKSTREMALNYCH NA DZIAŁANIE TURBOGENERATORA RAKIETY PRZECIWLOTNICZEJ „KUB”**

**Streszczenie:** W artykule przedstawiono wyniki badań odporności turbogeneratora rakiety „KUB” na temperatury ekstremalne. Potrzeba symulacji ekstremalnych warunków pracy ma swoje uzasadnienie rzeczywistymi warunkami jakie mogą wystąpić podczas startu i lotu rakiety, bowiem różnica temperatur w miejscu startu i na maksymalnej wysokości (rzędu 10 km) może wynosić nawet do 100 °C. Duży gradient temperatury może wystąpić również podczas transportu raket statkami powietrznymi.

### **1. Wstęp**

Turbogenerator jest jednym z elementów układu elektropneumatycznego, wraz z regulatorem napięcia jest pokładowym źródłem zasilania wszystkich podzespołów elektronicznych i elektromechanicznych rakiety. Sprawność techniczna tego zespołu ma zatem zasadniczy wpływ na poprawność działania rakiety od momentu przejścia na zasilanie pokładowe aż do końca jej lotu. Zespół ten zasila aparaturę pokładową rakiety trójfazowym prądem zmiennym o częstotliwości 400Hz i napięciach 230 V oraz 36 V.

Generator jest prądnicą synchroniczną prądu trójfazowego, wzbudzaną magnesem stałym. Na jego stojanie znajdują się trójfazowe uzwojenia robocze i sterujące. Turbinę generatora napędza sprężone powietrze o ciśnieniu 2,5 MPa doprowadzane ze zbiornika kulistego sprężonego powietrza. Wirnik generatora wraz z turbiną osadzony jest na wspólnym wale i obraca się z prędkością 24000 obr/min.

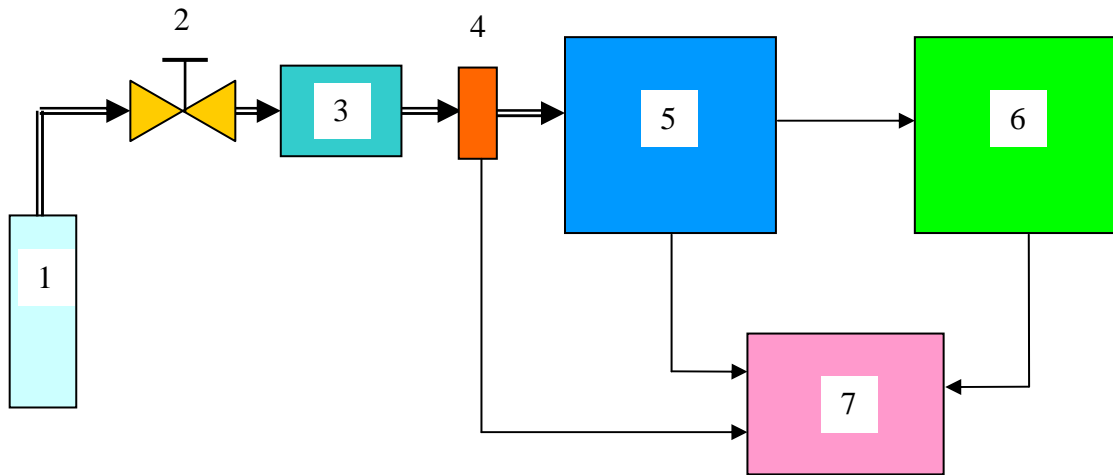
Stabilizację częstotliwości uzyskuje się przez utrzymanie określonej prędkości obrotowej turbiny, a stabilizację wartości napięć poprzez zmianę reluktancji (oporności magnetycznej) twornika generatora.

Regulator turbogeneratorski stabilizuje częstotliwość i wartość napięcia za pomocą regulatora impulsowego w granicach 400±12Hz, napięcia zmiennie 230±8V (trzy fazy) i przekształca je w napięcie zmiennie 36±3,6 V i w stałe 27±2,7 V.

### **2. Laboratoryjne stanowisko do sprawdzania bloku elektropneumatycznego**

W Wojskowym Instytucie Technicznym Uzbrojenia opracowano i wykonano stanowisko, które stanowi dopełnienie i jednocześnie umożliwia rozszerzenie zakresu testowanych parametrów bloku elektropneumatycznego.

Na rys.1. przedstawiono schemat blokowy laboratoryjnego stanowiska do badań turbogeneratorów i zespołów zasilania, natomiast Fot.1. przedstawia jego fizyczną realizację.



**Rys.1. Schemat blokowy laboratoryjnego stanowiska sprawdzania turbogeneratora i zespołu zasilania: 1. butla sprężonego powietrza o ciśnieniu 27,5 MPa; 2. zawór odcinający; 3. zespół reduktorów powietrza 27,5 MPa / 3,0 MPa; 4. czujnik pomiaru ciśnienia; 5. turbogenerator; 6. zespół zasilania; 7. układ pomiarowy i rejestrator wielokanałowy.**



**Fot.1. Widok laboratoryjnego stanowiska do badań układu elektropneumatycznego.**

Na stanowisku mierzone i rejestrowane są 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  $P_{3MPa}$ .

### 3. Przebieg i wyniki badań

Do badań odporności na temperatury ekstremalne wybrano 4 turbogeneratory (przyjęto oznaczenia robocze: T1, T2, T3 i T4) i zespoły zasilania, wymontowane z rakiet 3M9ME i 3M9M3E po długoletnim składowaniu (po 2 komplety z każdego typu) - wykaz w tablicy poniżej.

Lp	Oznaczenie turbogeneratora	typ rakiety	rok produkcji rakiety
1	T1	3M9ME	1975
2	T2	3M9ME	1975
3	T3	3M9M3E	1982
4	T4	3M9M3E	1987

Wszystkie wybrane do badań turbogeneratory i zespoły zasilania poddano próbie narażeń składających się z dziesięciu cykli. Każdy z cykli składał się z czterech odcinków czasowych, w których turbogeneratory i zespoły zasilania poddawane były:

- schłodzeniu do temperatury  $-40^{\circ}\text{C}$  – czas: 12 godz;
- reklimatyzacji do temperatury otoczenia  $+20^{\circ}\text{C}$  – czas: 12 godz.;
- ogrzaniu do temperatury  $+60^{\circ}\text{C}$  – czas: 12godz.;
- reklimatyzacji do temperatury otoczenia  $+20^{\circ}\text{C}$  – czas: 12 godz.;

Na laboratoryjnym stanowisku pomiarowym wykonano pomiary napięć przed rozpoczęciem prób, a następnie:

- w czasie trwania piątego cyklu w temperaturach:  $-40^{\circ}\text{C}$  i  $+60^{\circ}\text{C}$ ,
- w czasie trwania dziesiątego cyklu w temperaturach:  $-40^{\circ}\text{C}$  i  $+60^{\circ}\text{C}$ ,
- po zakończeniu testów w temperaturze:  $+20^{\circ}\text{C}$ .

Ze względu na ograniczony czas nieprzerwanej pracy (poniżej 60 s) oraz dużą ilość mierzonych parametrów, pomiar i zapisy sygnałów przeprowadzono z wykorzystaniem wielkanałowego rejestratora. Pomiary wykonywano w warunkach pracy generatora – bez obciążenia rzeczywistego.

Na fotografiach fot. 2 i Fot.3 pokazano turbogeneratory przygotowane do badań. Przykładowe zapisy z pomiarów przedstawiono w tablicy 1. oraz na rysunkach: rys.2 ÷ rys. 7.

Zarejestrowane pomiary poddawane były analizie w aspekcie wpływu temperatury na wartości generowanych napięć -jej wyniki przedstawiono na rysunkach: rys. 8 – rys. 9.



**Fot.2. Turbogenerator przygotowany do badań w temperaturze  $-40^{\circ}\text{C}$**



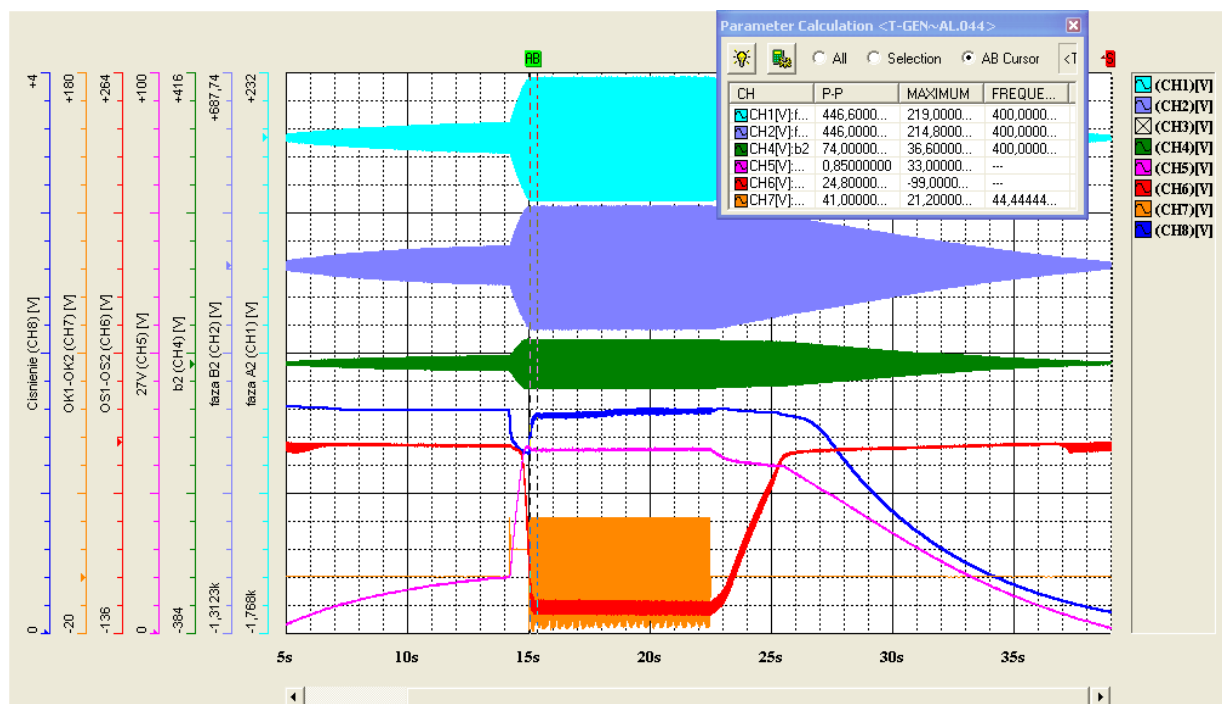
**Fot.3. Turbogenerator po reklimatyzacji**

### Wyniki pomiarów

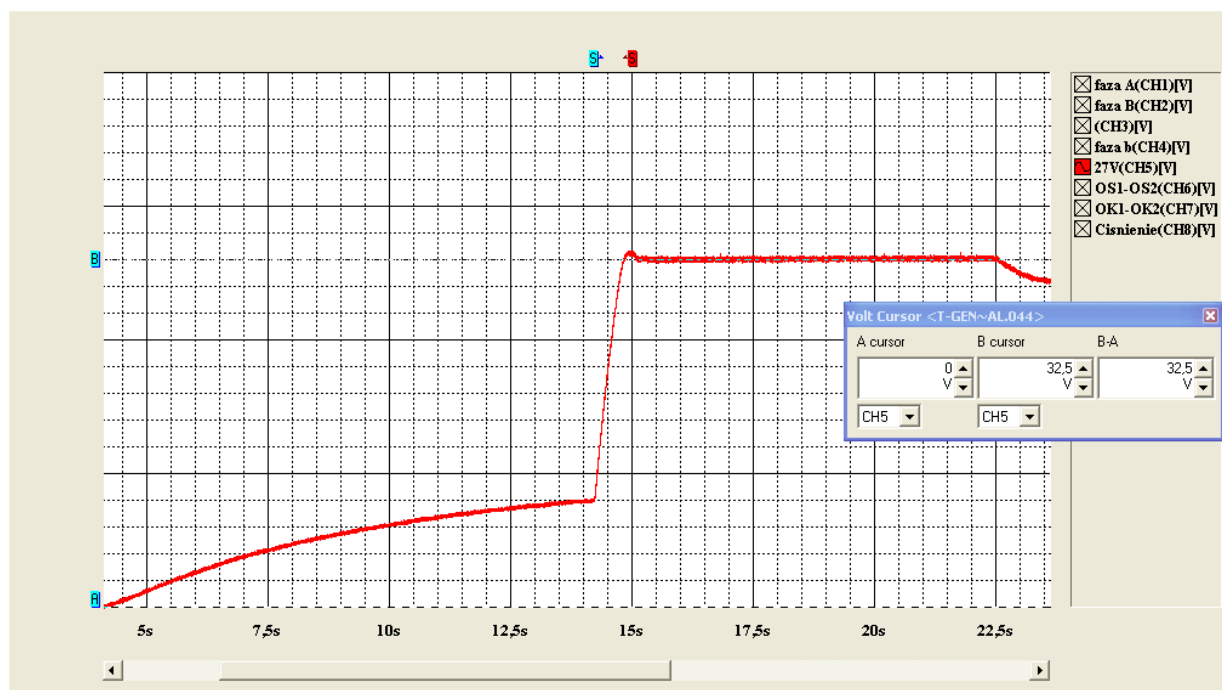
W Tablicy nr 1. przedstawiono przykładowe wyniki sprawdzeń jednego z badanych na stanowisku laboratoryjnym turbogeneratorów i zespołów zasilania

Tab.1.

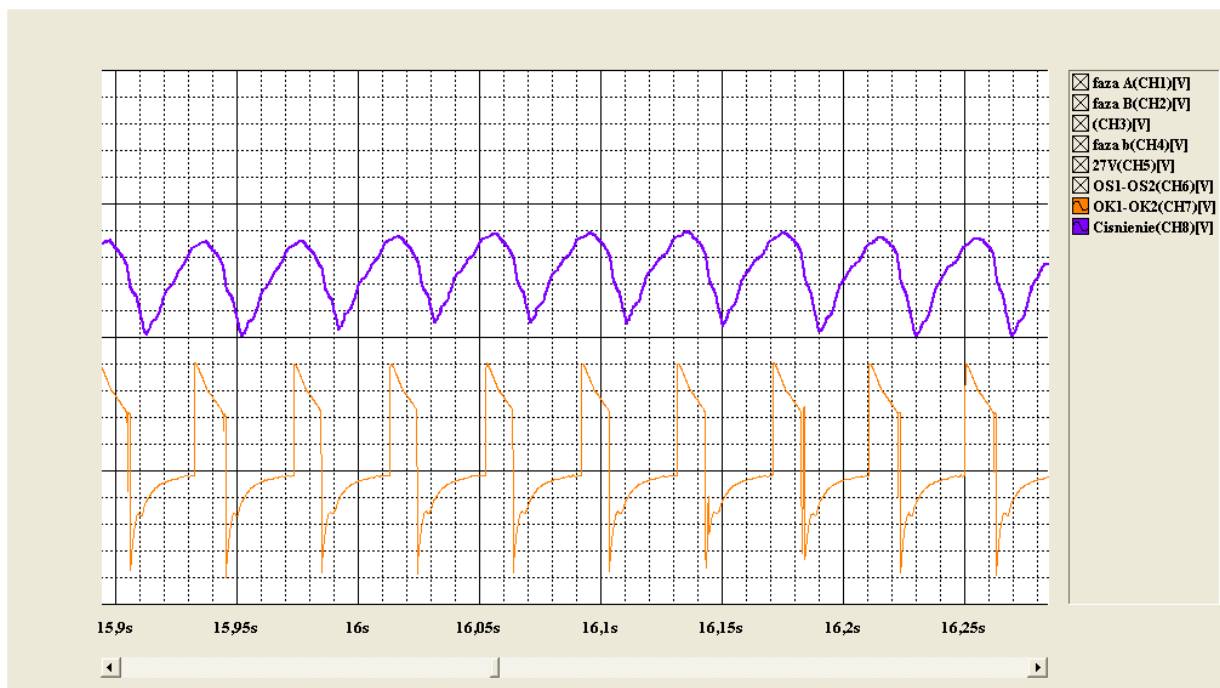
typ .rakiety			3M9ME					
oznaczenie turbogeneratorsa			T1					
temperatura pracy			+20°C	-40°C	+60°C	-40°C	+60°C	+20°C
PARAMETRY ZMIERZONE	Napięcie międzyszczytowe fazy A $U_{Ap}$	V	427,5	416	428,2	418,1	427,8	426,7
	Napięcie skuteczne fazy A $U_{Ask}$	V	151,1	147	151,4	147,8	151,2	150,8
	Napięcie skuteczne międzyfazowe $U_{A-B}$	V	261,79	254,75	262,22	256,03	261,97	261,30
	Częstotliwość napięcia $U_{fA}$	Hz	400	400	400	400	400	400
	Napięcie międzyszczytowe fazy B $U_{Bpp}$	V	426,4	415,5	426,9	418	426,8	425,2
	Napięcie skuteczne fazy B $U_{Bsk}$	V	150,76	146,90	150,93	147,79	150,90	150,33
	Napięcie skuteczne międzyfazowe $U_{B-C}$	V	261,12	254,44	261,42	255,97	261,36	260,38
	Częstotliwość napięcia $U_{fB}$	Hz	400	400	400	400	400	400
	Napięcie międzyszczytowe fazy b $U_{bpp}$	V	71,4	68,9	71,9	69,4	71,7	70,8
	Napięcie skuteczne fazy b $U_{bsk}$	V	25,24	24,36	25,42	24,54	25,35	25,03
	Napięcie skuteczne międzyfazowe $U_{b-c}$	V	43,72	42,19	44,03	42,50	43,91	43,36
	Częstotliwość napięcia $U_{fb}$	Hz	400	400	400	400	400	400
	Nap. Pokładowe $U_{27V}$	V	32,3	31,1	32,6	31	32,4	32,1
	Ciśnienie powietrza P3;	MPa	3,15	3,09	3,12	3,1	3,12	3,11



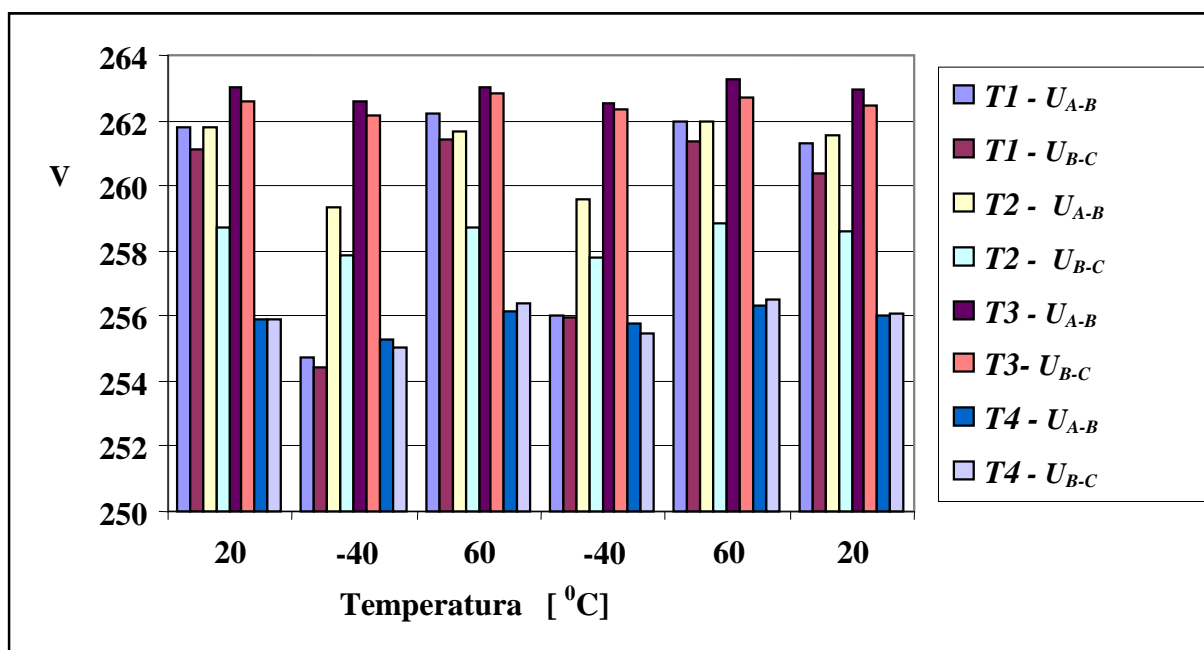
**Rys. 2. Wynik badań turbogeneratora – warunki badań: temperatura +20°C. Oznaczenia: CH8 - wartość ciśnienia na wejściu turbogeneratora: (1 działka=0,2V); CH7 - OK1-OK2 –impulsowa stabilizacja obrotów turbogeneratora; CH6 - OS1-OS2- napięcie wzbudzenia prądnicy; CH5 – napięcie stałe 27V z regulatora; CH4 – napięcie zmienne 36V/400Hz z regulatora, faza b2; CH2 – napięcie zmienne 230V/400Hz faza B2; CH1 – napięcie zmienne 230V/400 Hz faza A2.**



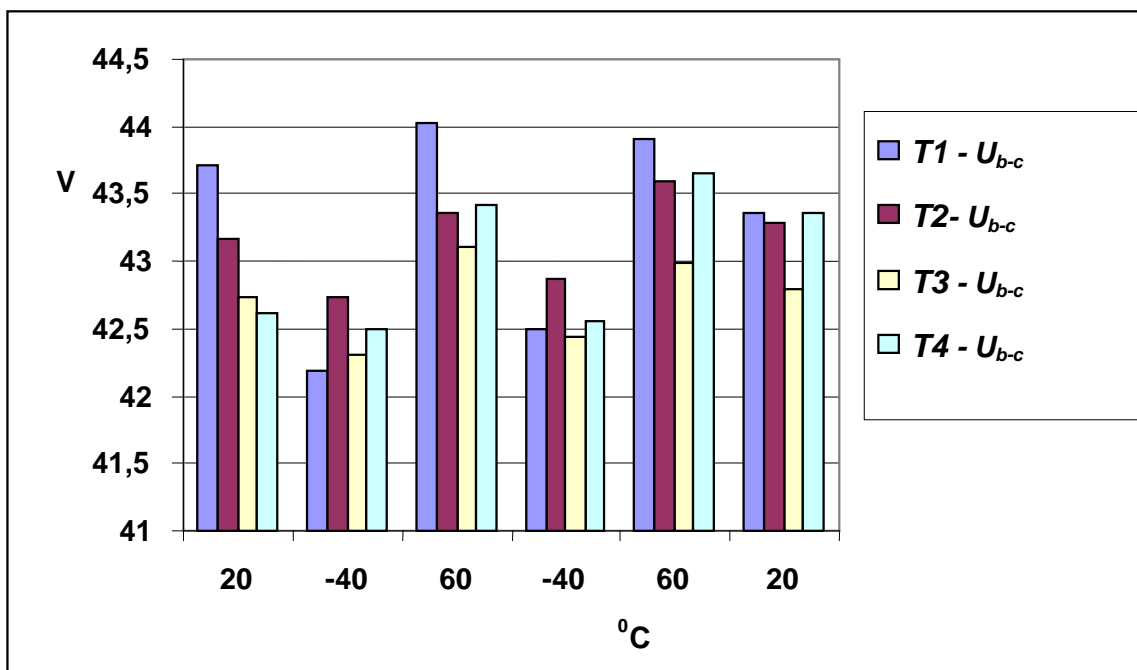
**Rys.3. Wykres napięcia 27V na wyjściu zespołu zasilania**



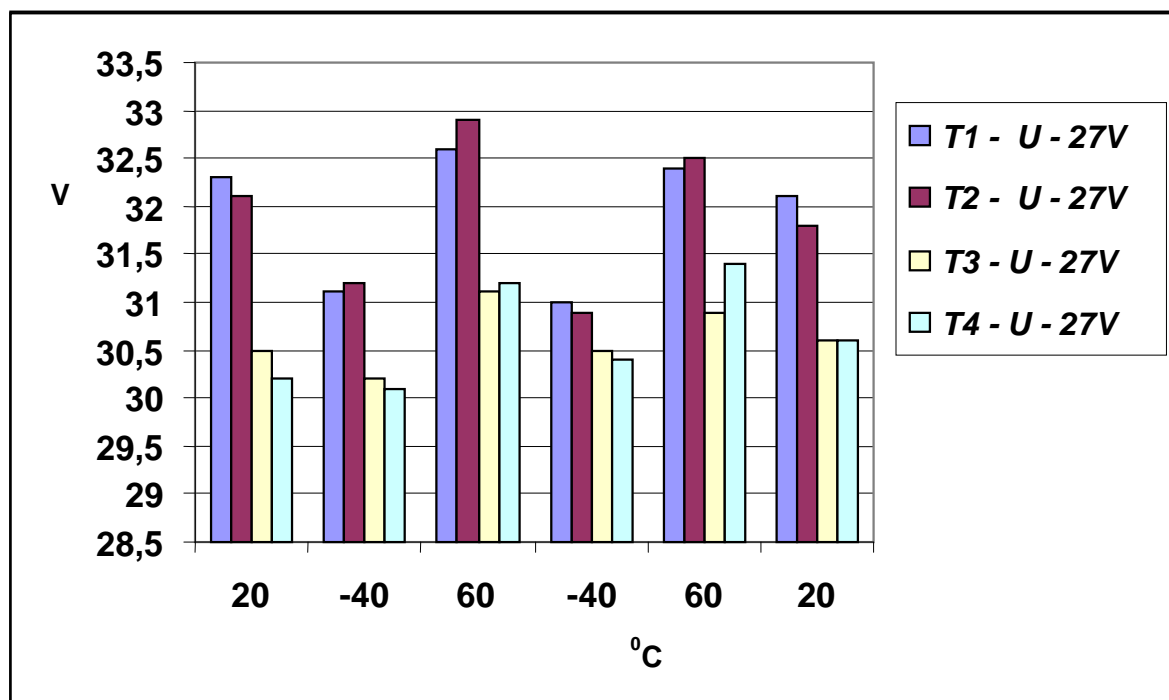
Rys.4. Wykres ciśnienia powietrza oraz sygnału sterującego elektrozaworem.



Rys.5. Zestawienie wyników pomiarów napięcia międzyfazowego skutecznego 230V/ 400Hz. turbogeneratorów T1; T2; T3 i T4 w temperaturach: pokojowej i ekstremalnych.

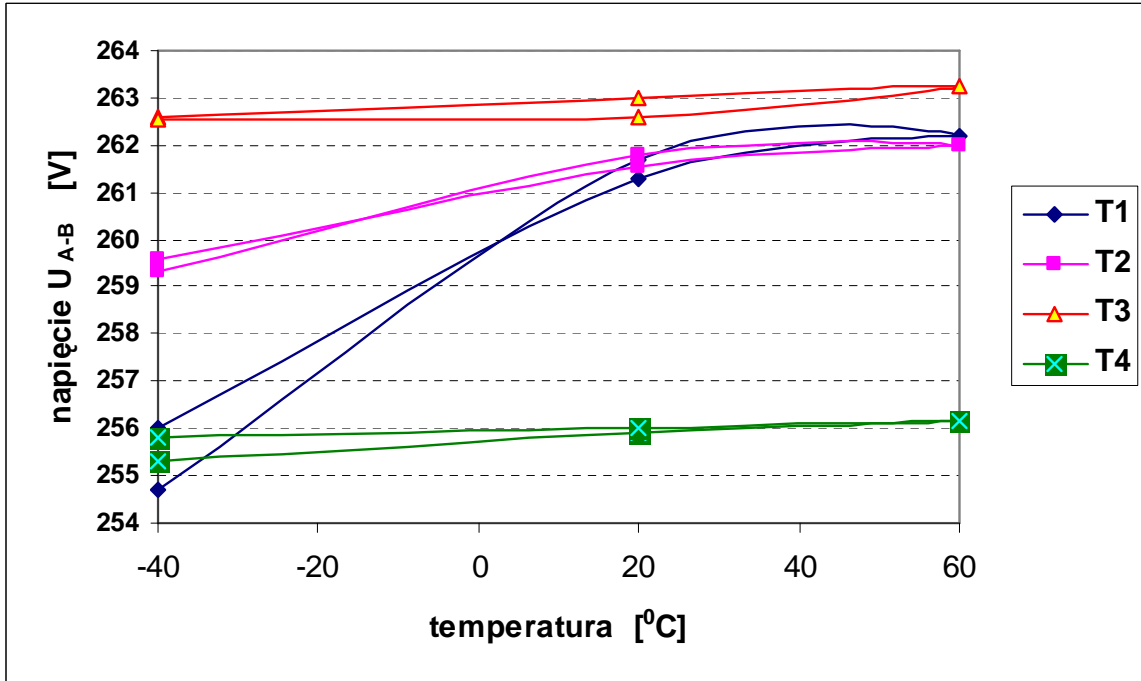


Rys.6. Zestawienie wyników pomiarów dla napięcia skutecznego 36V/ 400 Hz, turbogeneratorów T1; T2; T3 i T4 w temperaturach: pokojowej i ekstremalnych.

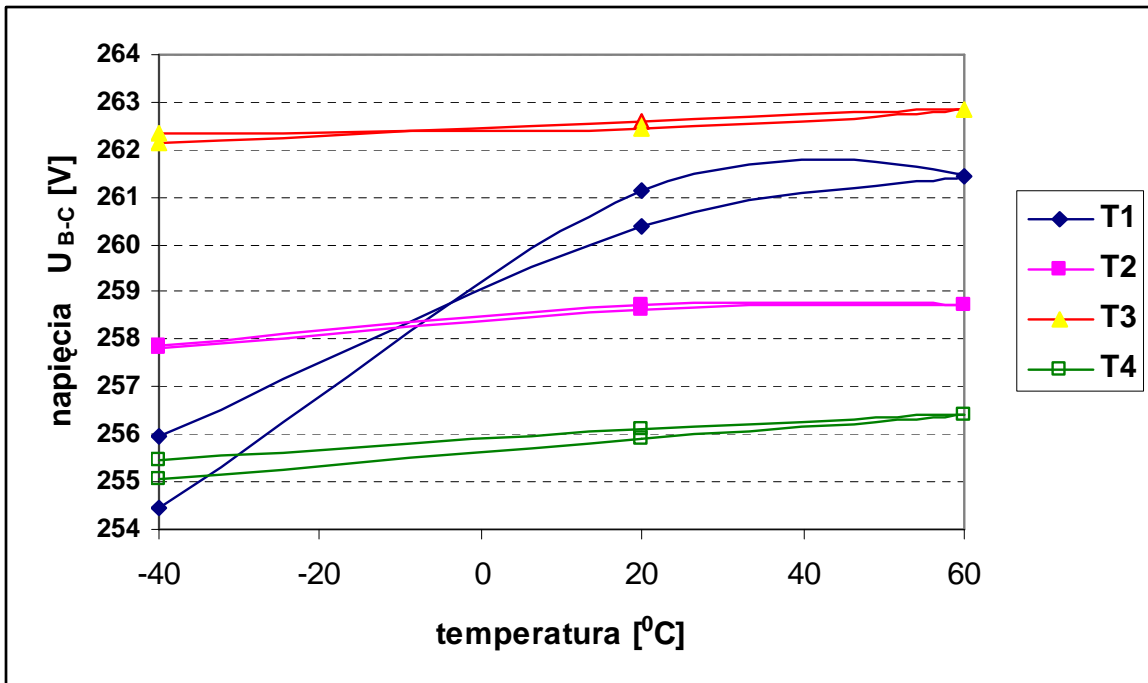


Rys.7. Zestawienie wyników pomiarów dla napięcia 27V, turbogeneratorów T1; T2; T3 i T4 w temperaturach: pokojowej i ekstremalnych.





Rys. 8. Wpływ temperatury na wartości generowanego napięcia  $U_{A-B}$  w poszczególnych fazach cyklu badawczego.



Rys. 9. Wpływ temperatury na wartości generowanego napięcia  $U_{B-C}$  w poszczególnych fazach cyklu badawczego.

## 4. Wnioski

Podczas badań w temperaturach ekstremalnych wszystkie badane turbogeneratory oraz zespoły zasilania działały prawidłowo. Badania potwierdziły także prawidłową pracę całego układu elektropneumatycznego oraz jego poszczególnych elementów. Sterowanie pracą układu elektropneumatycznego odbywało się w całym zakresie sprawdzanych temperatur i mierzona częstotliwość w każdym z pomiarów wynosiła 400 Hz.

Rejestrowane wartości napięć są wyższe od parametrów zasilania zamieszczonych w dokumentacji technicznej rakiet ze względu na to, że pomiary wykonywano bez realnego obciążenia.

Na podstawie analizy wykresów zestawiających wyniki badań można stwierdzić, że zakres zmian mierzonych parametrów elektrycznych w całym zakresie zmian temperatur mieści się w bardzo wąskim przedziale wynoszącym dla napięcia 230V 400Hz – ok. 8,8 V, dla napięcia 36V 400Hz – ok. 1,8V, dla +27V – ok. 1,8V.

Parametry turbogeneratora T1 wykazują objawy eksploatacji ze sprężonym powietrzem o niewłaściwej jakości. Większy zakres zmian napięć generowanych świadczy o większym zużyciu turbogeneratora. Zwiększona zawartość wody w sprężonym powietrzu prowadzi do skrócenia żywotności całego turbogeneratora poprzez korozję łożysk oraz szybsze zużycia turbiny napędzającej wirnik turbogeneratora.

Eksploatacja zespołu elektropneumatycznego z powietrzem złej jakości może być przyczyną uszkodzenia turbogeneratora polegające na nie osiągnięciu pełnej prędkości obrotowej wirnika a nawet całkowitym zablokowaniu wirnika turbiny. Spowoduje to nie wypracowanie napięć umożliwiających przełączenie na zasilanie pokładowe

W trakcie prowadzenia okresowych sprawdzeń kontrolnych rakiet po długoletniej eksploatacji należy zatem zwrócić szczególną uwagę na utrzymanie właściwej czystości i wilgotności powietrza używanego do kontroli zespołu elektropneumatycznego. Powietrze używane do napełniania zbiorników kulistych nie może mieć zanieczyszczeń mechanicznych, większych niż 20  $\mu\text{m}$ , a punkt rosy nie powinien być wyższy niż 223 K (-50<sup>0</sup>C) przy ciśnieniu normalnym.

Zaprezentowana metoda badań jest bardzo przydatna do oceny aktualnego stanu technicznego rakiet oraz do opracowywania prognoz na kolejne lata eksploatacji.

## Literatura

[1]. Materiały archiwalne WITU- niepublikowane

## TESTING OF DEPENDENCE OF ANTI-AIRCRAFT *KUB* MISSILE TURBO-GENERATOR'S OPERATION ON EXTREME TEMPERATURES

The resistance of missile *KUB* turbo-generator against extreme temperatures is presented in the paper. The need to simulate extreme operation conditions is substantiated by the real conditions which may happen at the launching and flying of the missile as the temperature difference between the launching site and maximum ceiling of 10 km may get 100 C deg. Great temperature gradient may also happen when missiles are transported by planes.

