

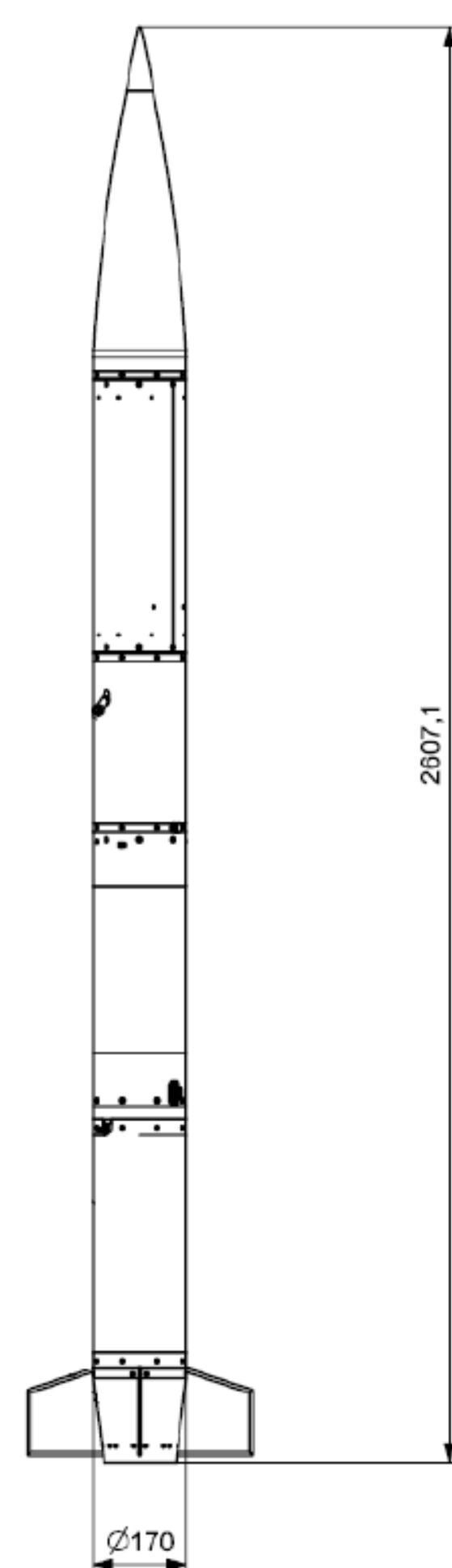
Układ akwizycji danych do pomiaru parametrów utleniacza w hybrydowym silniku raketowym

Cel pracy

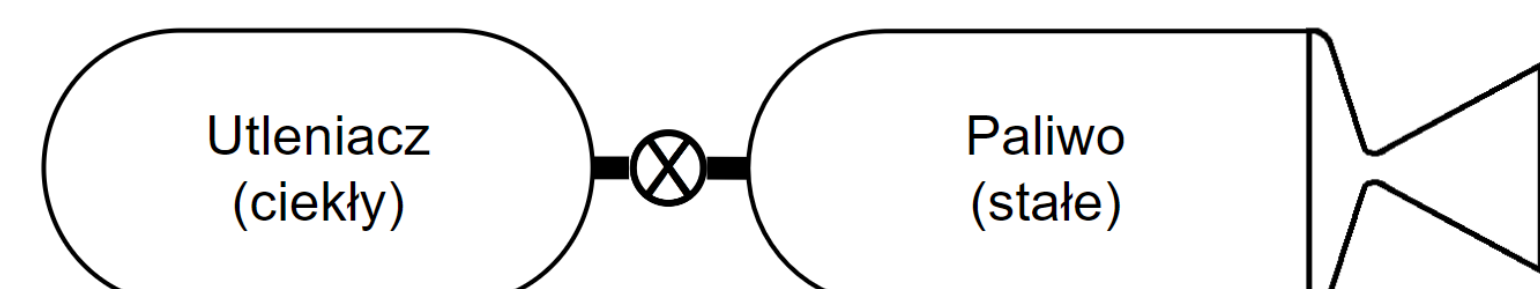
- Projekt i wykonanie układu akwizycji danych
 - Przeznaczony do rakiety Twardowsky (Studenckie Koło Astronautyczne)
 - Pomiar ciśnienia utleniacza
 - Pomiar temperatury utleniacza
- Weryfikacja działania układu

Rakiet Twardowsky

- Rakiet z silnikiem hybrydowym
 - Stałe paliwo (HTPB), ciekły utleniacz (N_2O)
 - Konieczne monitorowanie ciśnienia i temperatury utleniacza podczas przygotowania do lotu
- Przeznaczona do startu w konkursie Spaceport America Cup
 - Niezbędna odporność na skrajnie wysokie i niskie temperatury
- Układ kluczowy dla bezpieczeństwa
 - Konieczne zapewnienie niezawodności



Rys. 1 Rakieta Twardowsky



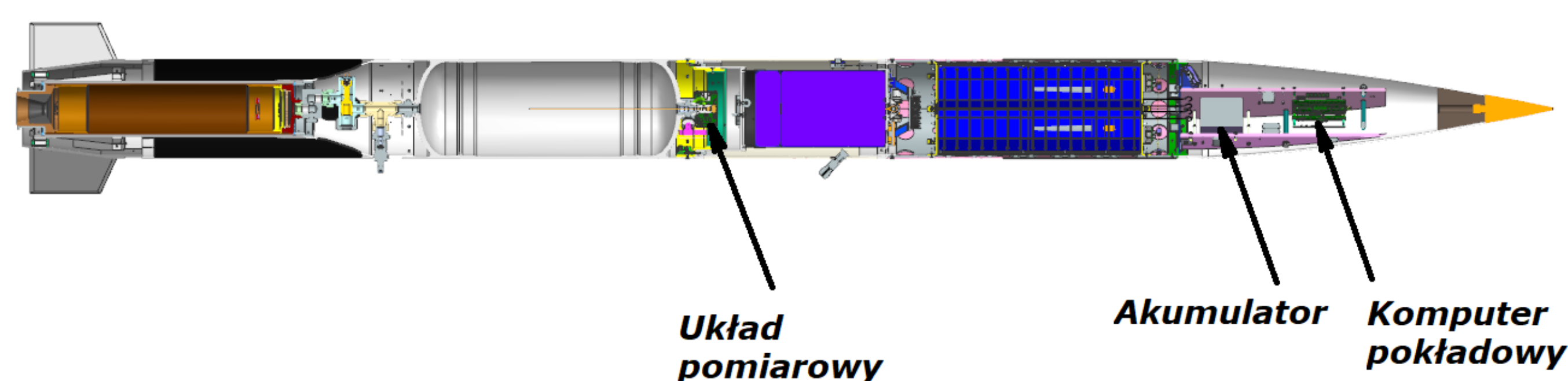
Rys. 2 Schemat hybrydowego silnika raketowego z ciekłym utleniaczem



Rys. 3 Ziarno paliwa rakiety Twardowsky

Założenia

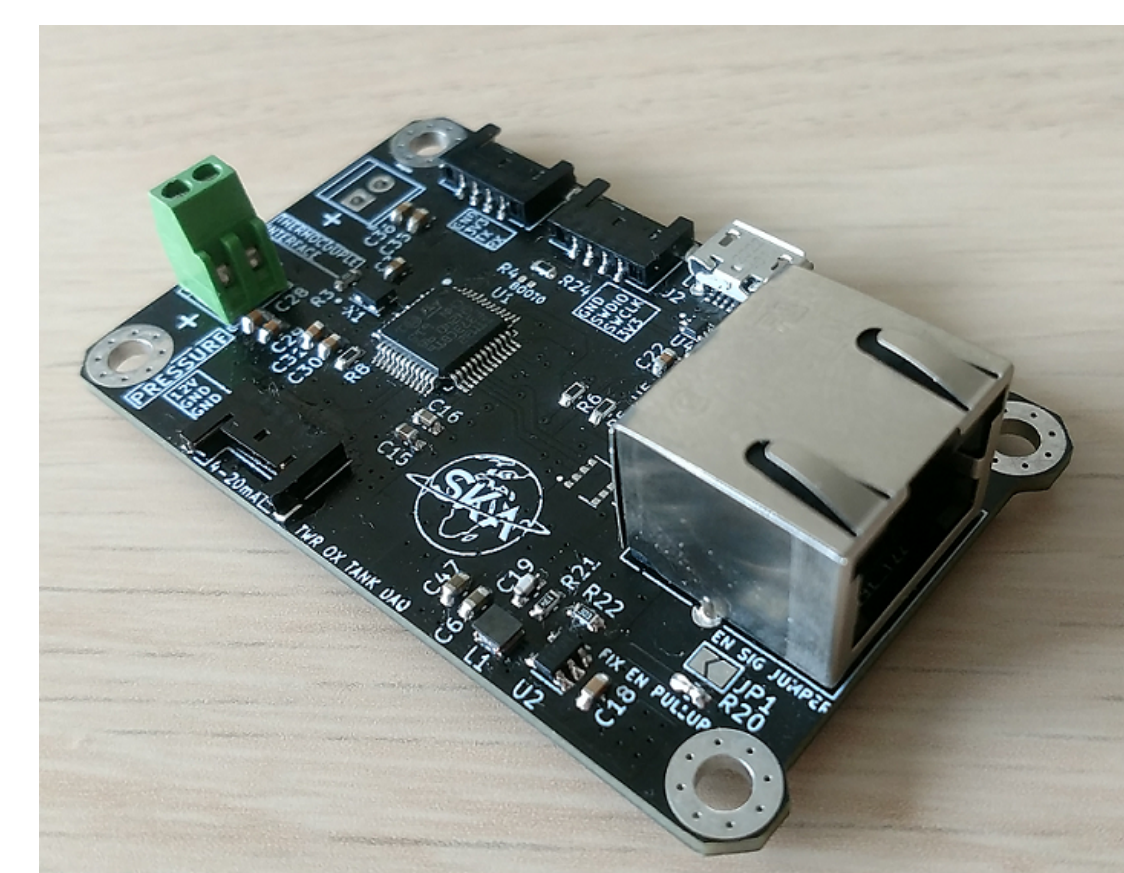
- Pomiar ciśnienia utleniacza (1-100 barów, $\pm 0,5$ bara, ≥ 20 Hz)
- Pomiar temperatury utleniacza (od $-30^\circ C$ do $+40^\circ C$, $\pm 1^\circ C$, ≥ 10 Hz)
- Zapis danych (5 minut)
- Komunikacja z komputerem pokładowym rakiety, w tym transmisja danych (CAN)
- Temperatura otoczenia podczas pracy od $-30^\circ C$ do $+45^\circ C$
- Zasilanie - akumulator litowo-polimerowy 3S znajdujący się w głowicy



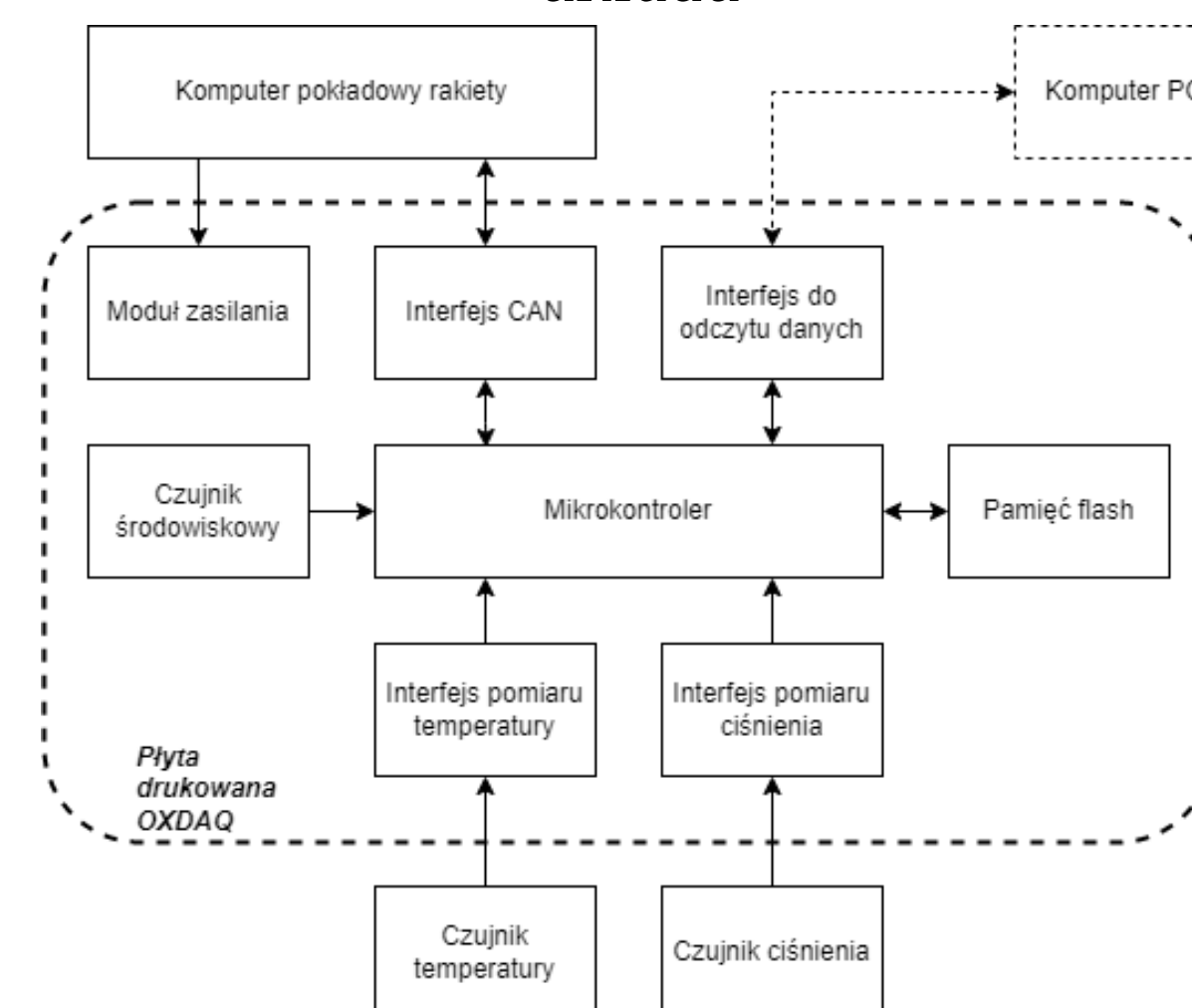
Rys. 4 Przekrój rakiety Twardowsky z zaznaczoną lokalizacją opisywanego układu, akumulatora oraz głównego komputera pokładowego

Projekt układu

- Moduł na jednej płycie drukowanej (PCB)
 - 4 warstwy
 - Komponenty montowane powierzchniowo
- Dwustopniowy układ zasilania
 - Przetwornica step-down + LDO
 - Ograniczenie strat i nagrzewania
- Cyfrowy interfejs termopar z układem kompensacji (2 kanały)
 - Układ Maxim MAX31856
 - Termopara typu T
- Interfejs przetwornika ciśnienia
 - Przetwornik Baumer PBM4
 - Pętla prądowa 4-20 mA
 - Zastosowano ADC sigma-delta 16 bit
- Mikrokontroler STM32F373
 - ADC 16 bit, CAN
- Pamięć SST26VF064B
 - 8MB pamięci nieulotnej

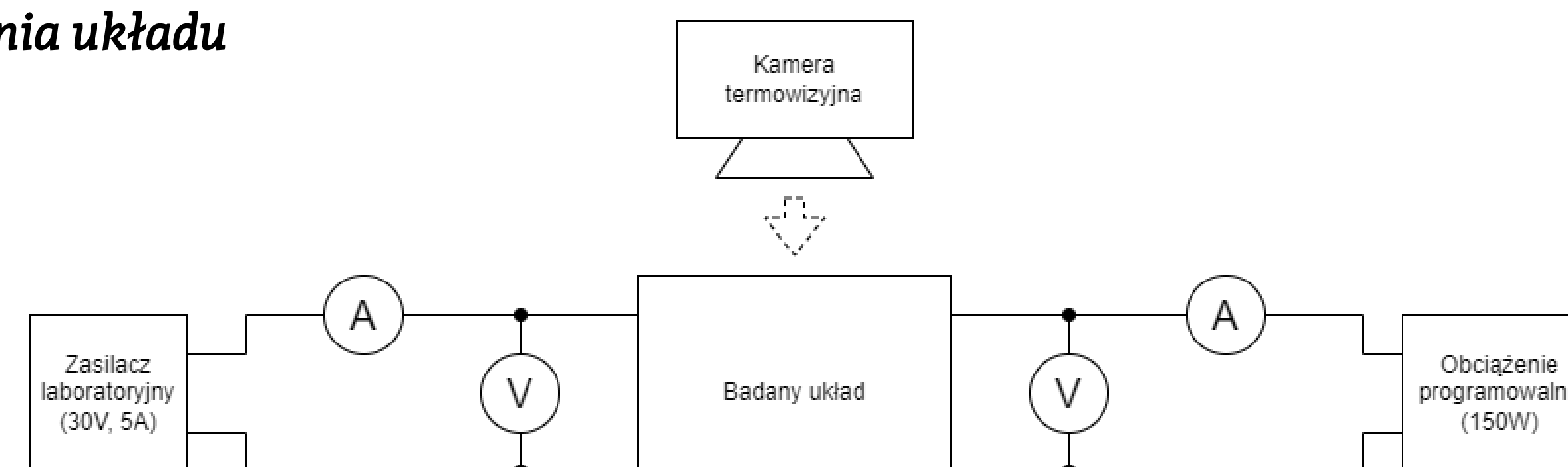


Rys. 5 Płyta drukowana opisywanego układu

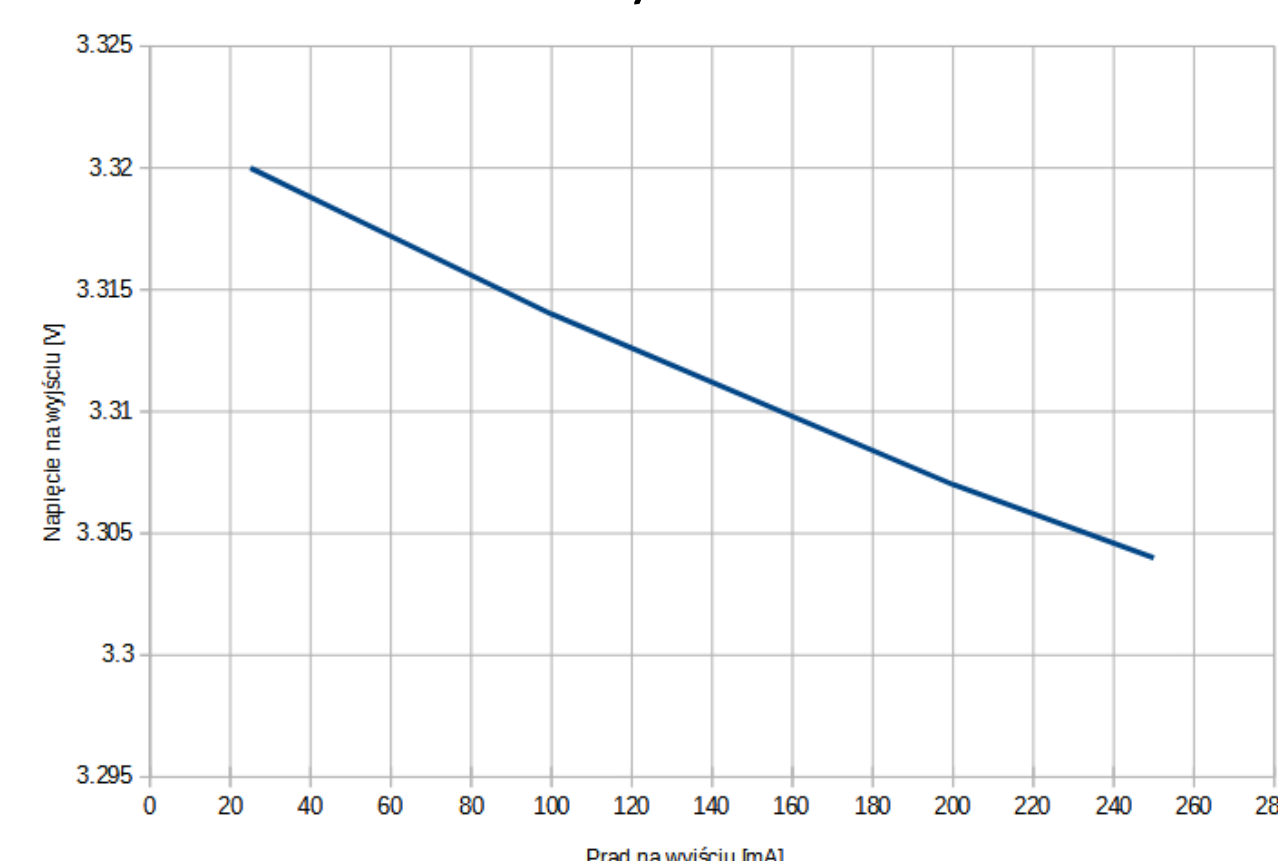


Rys. 6 Schemat blokowy opisywanego układu

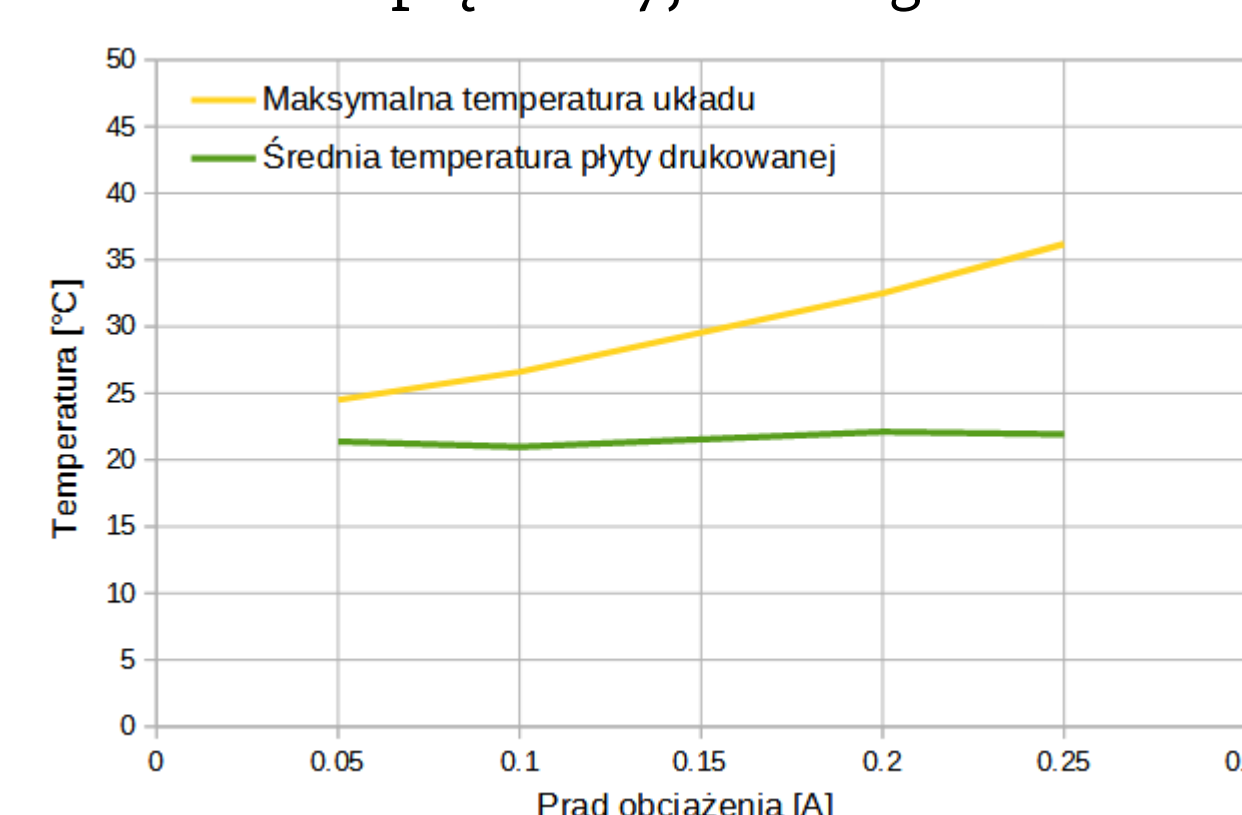
Badania układu



Rys. 7 Schemat stanowiska do badań układu zasilania

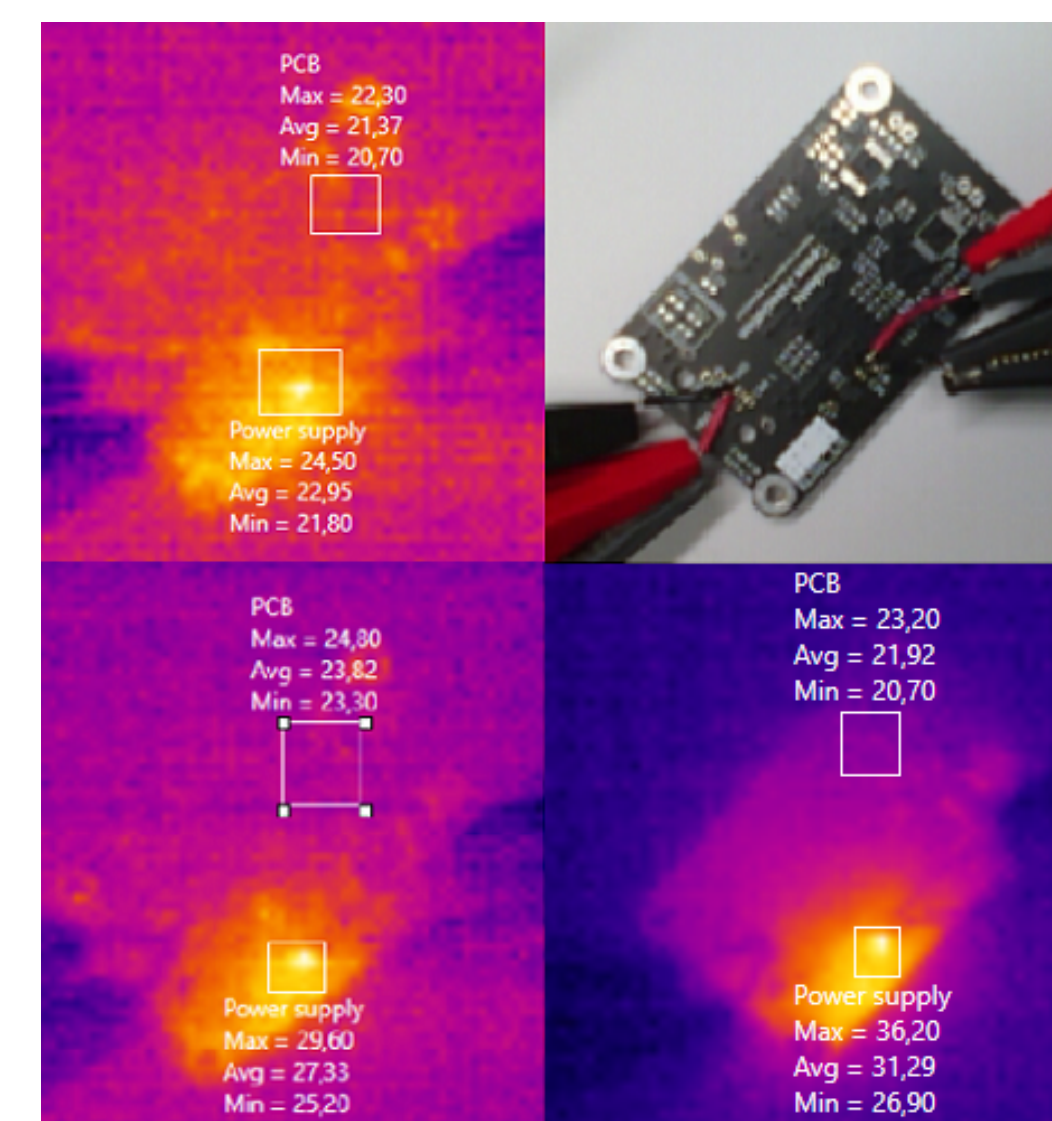


Rys. 8 Wyniki badania stabilności napięcia wyjściowego



Rys. 9 Wyniki testów termicznych

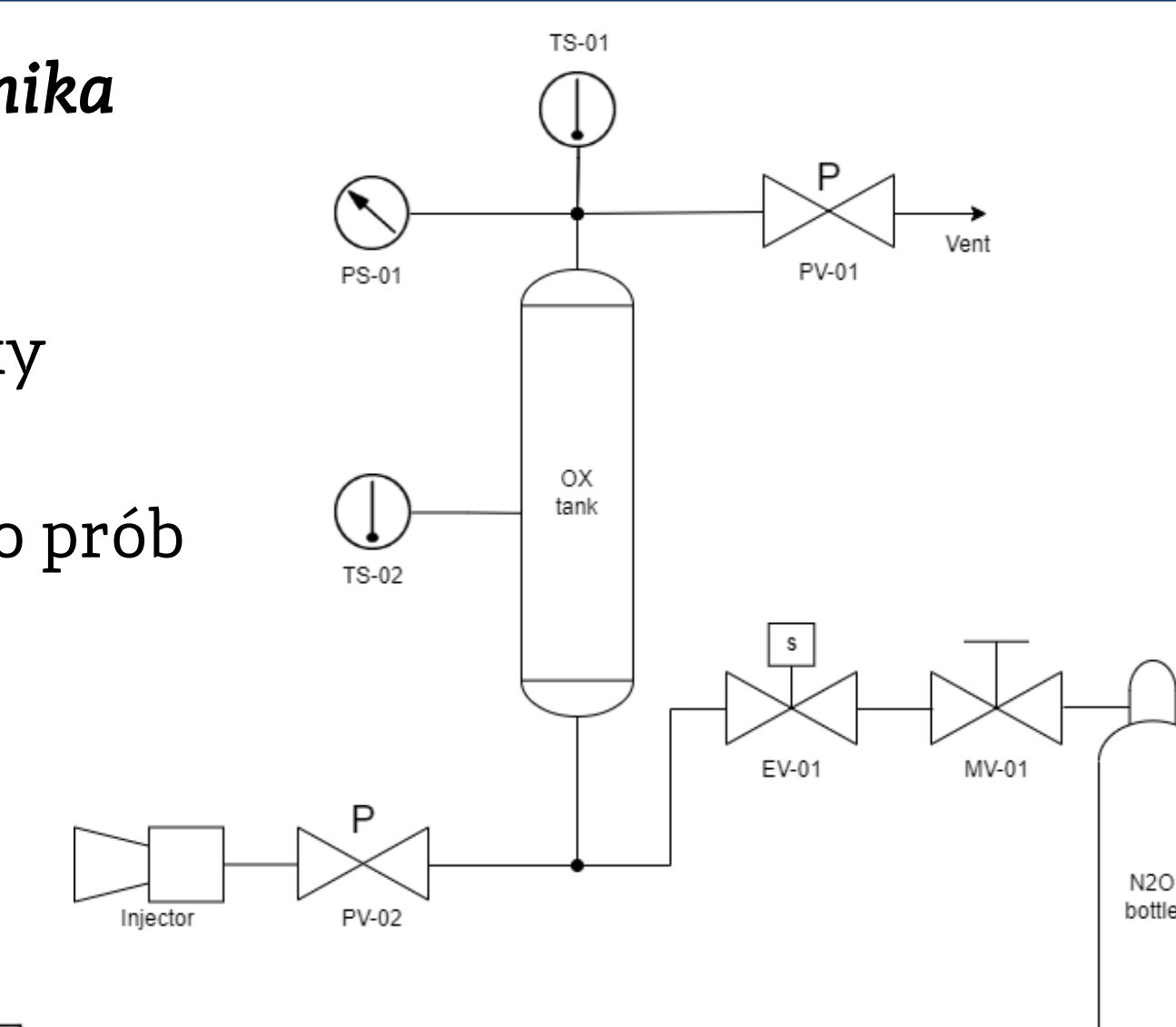
- Test stabilności napięcia wyjściowego układu zasilania
- Testy termiczne pod obciążeniem
- Testy i kalibracja układów pomiarowych



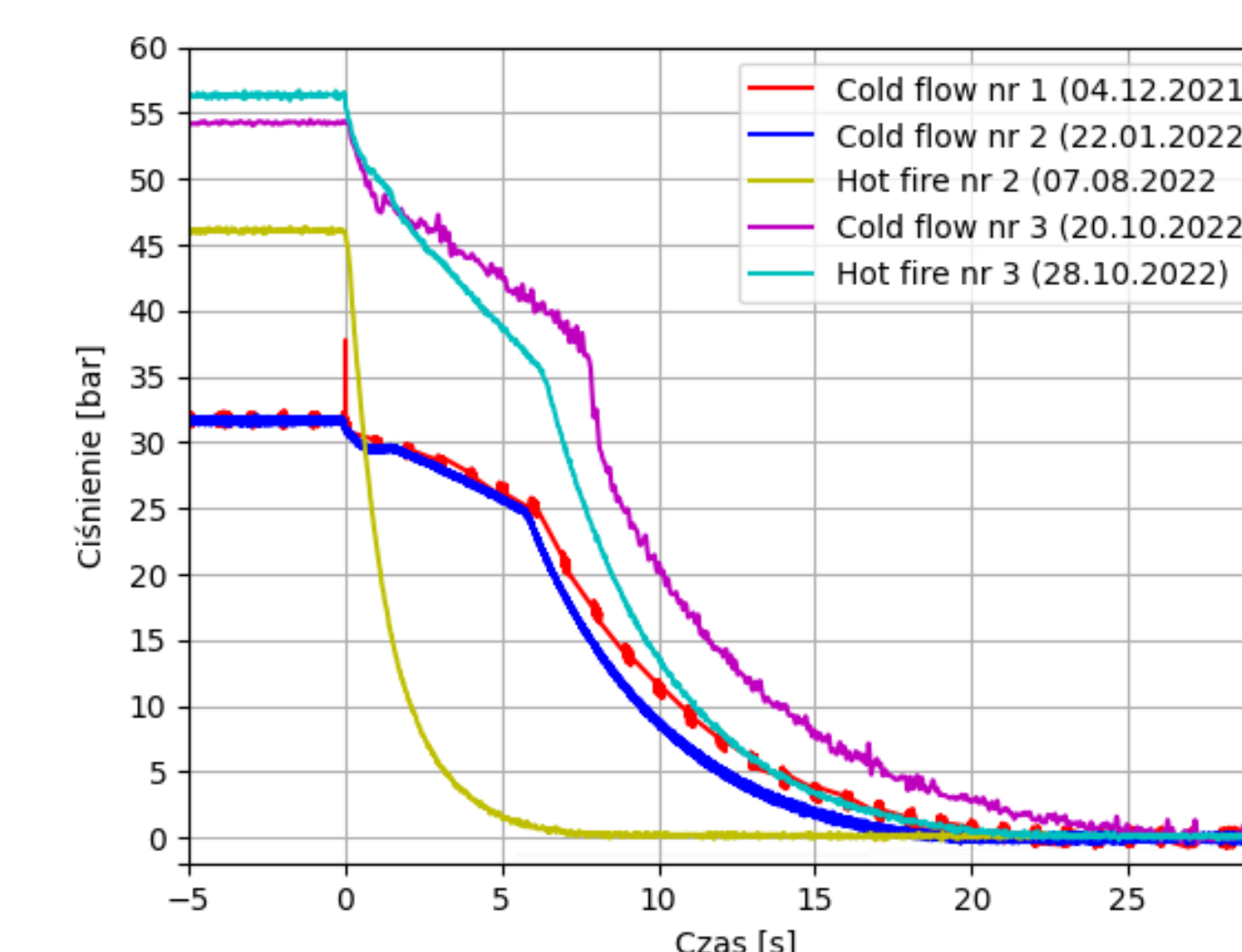
Rys. 10 Testy termiczne układu zasilania

Wykorzystanie układu podczas badań silnika

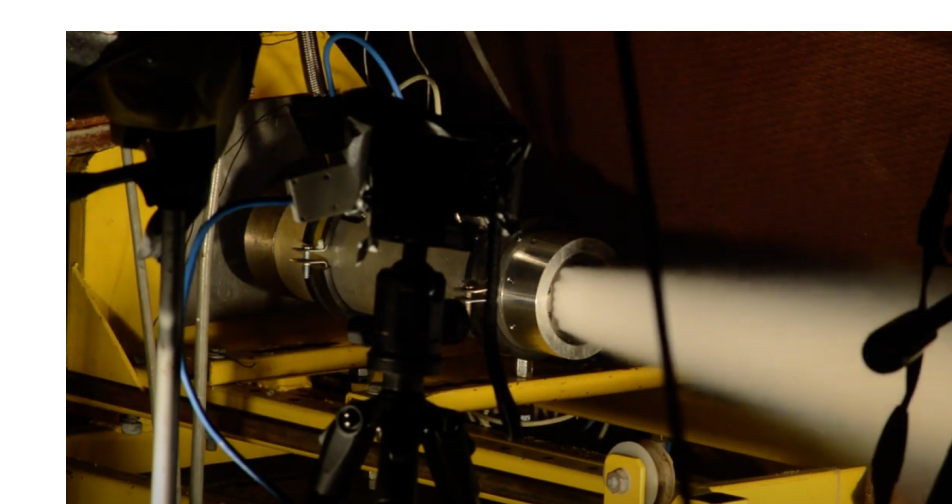
- Układ wykorzystano podczas testów cold flow i hot fire silnika Twardowsky
- Układ pozwolił na bezpieczne napełnienie silnika i przygotowanie do prób
- Uzyskane dane wykorzystano do rozwoju silnika



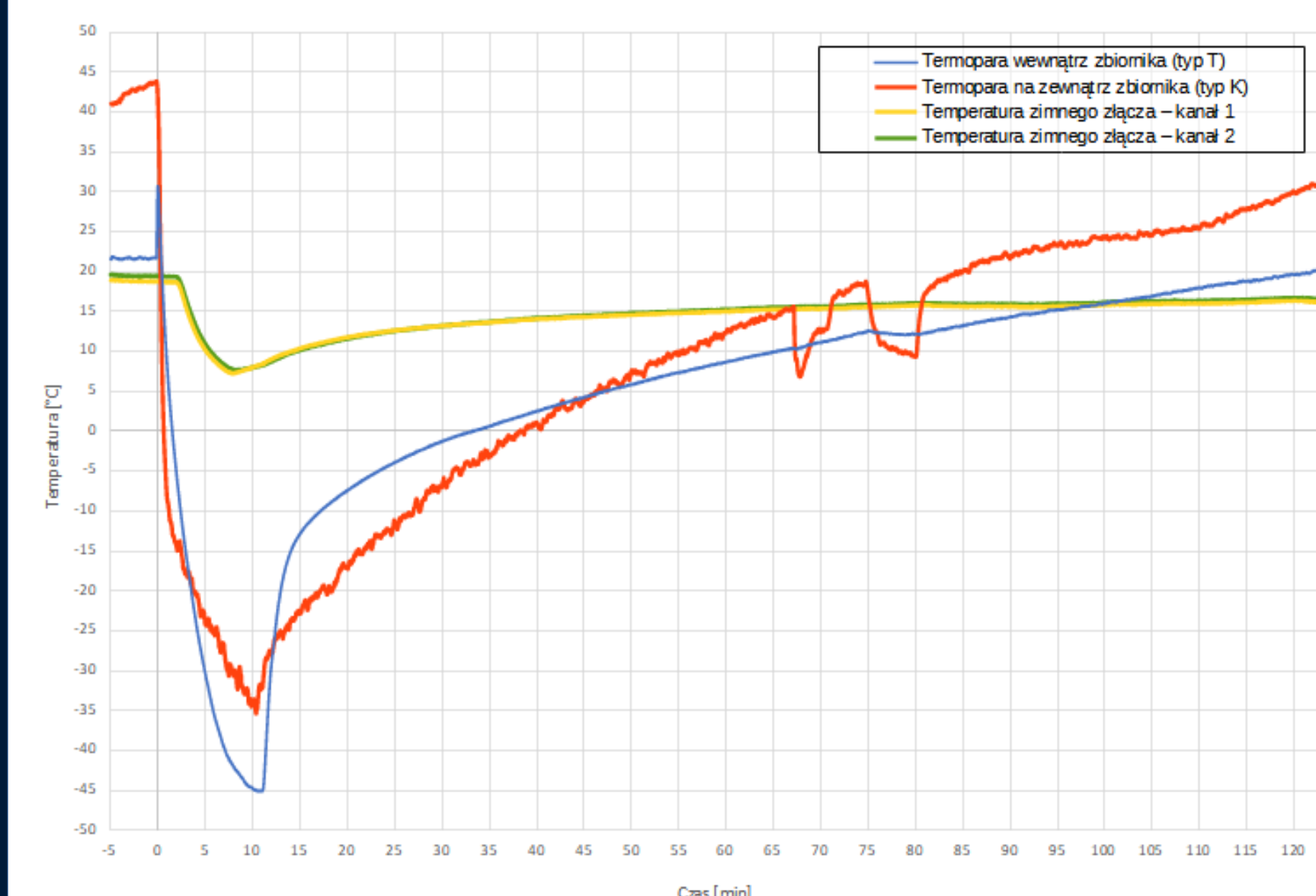
Rys. 11 Schemat układu hydraulicznego podczas testów statycznych



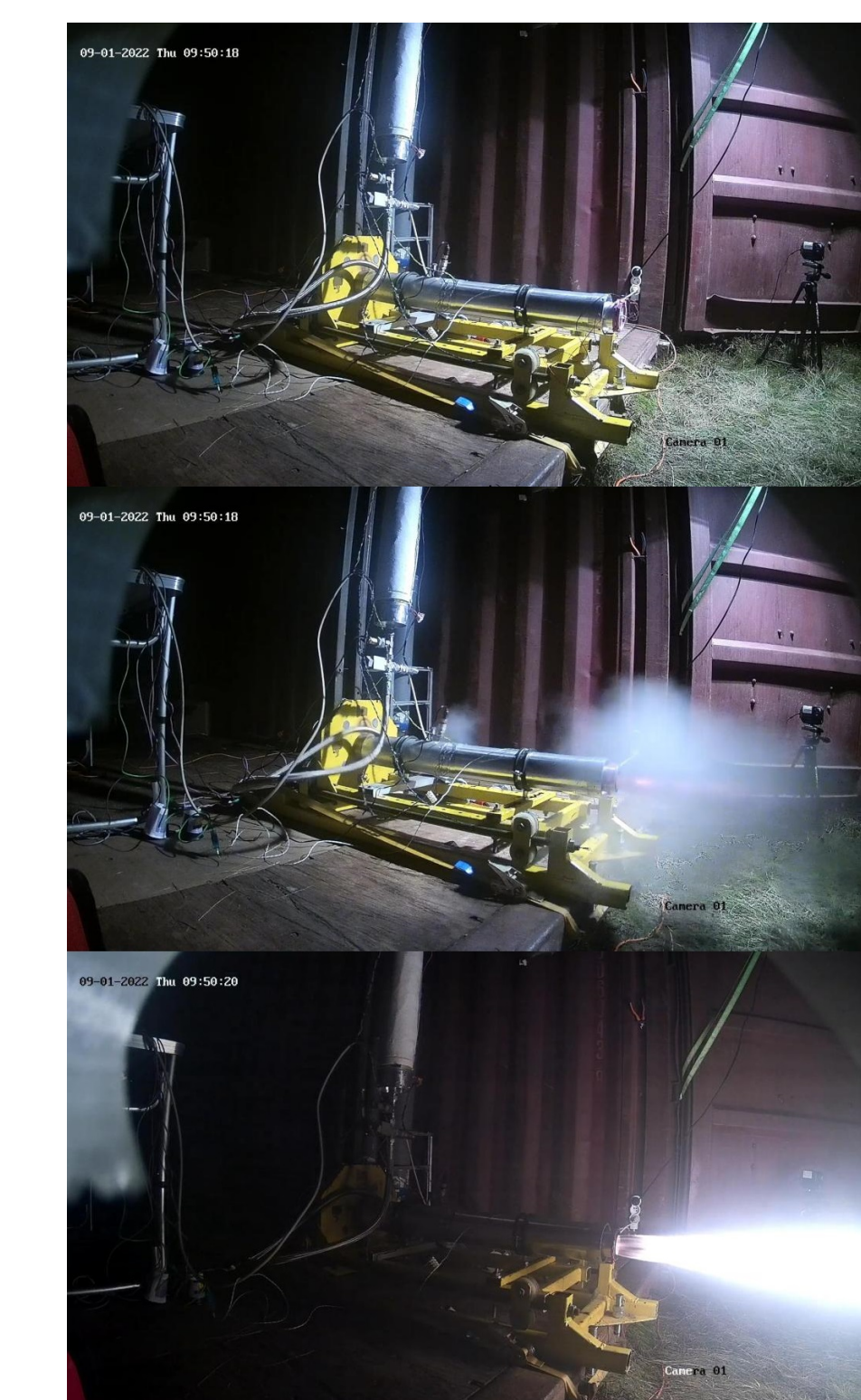
Rys. 12 Ciśnienie utleniacza podczas wykonanych testów



Rys. 14 Próba cold flow



Rys. 13 Temperatura utleniacza podczas przygotowań do testu hot fire



Rys. 15 Próba hot fire

Podsumowanie

- Układ spełnia stawiane mu wymagania
 - Potwierdzono poprzez testy samego układu, oraz wykorzystując go z powodzeniem w docelowym projekcie
- Konieczne było wprowadzenie szeregu poprawek w toku badań
 - Błędy w oprogramowaniu, głównie w komunikacji z układami cyfrowymi
 - Poprawienie połączeń w celu eliminacji zakłóceń

Dalsze kroki

- Przygotowanie i użycie układu w ramach testu lotnego rakiety
- Opracowanie kolejnej wersji układu
 - Zastąpienie termopar czujnikami rezystancyjnymi
 - Zastąpienie użytych złączy konektorami odpornymi na wibracje
 - Zwiększenie liczby kanałów pomiarowych ciśnienia
 - Dodanie obwodów wyjściowych dla systemu wektorowania ciągu (TVC)