



Typowe, znane problemy przy użytkowaniu modelarskich silników turbinowych starowanych modułami ProJET.

Nazewnictwo:

1. EGT - (exhaust gas temp) temperatura za turbiną, czyli tych wszystkich gorących gazów o tak wspaniałym zapachu. Mierzmy ją w silnikach z zewnętrznym pomiarem temperatury.
2. TIT - (turbine inlet temp) temperatura gazów przed samą turbiną, czyli to, co mierzymy przy wewnętrznym pomiarze temperatury.
3. ECU - (engine control unit) zwany też Fadec-iem. Po prostu moduł elektroniczny, który dba o nasz silnik i nim zawiaduje. Czasem wbrew naszej woli.
4. GSU - (general service unit lub ground support unit) moduł służący do obsługi ECU. Warto zabierać na lotnisko, czasem się przydaje.
5. Akceleracja - przyspieszanie - przyrost obrotów wirnika. Zbyt szybka i mamy miotacz płomieni, zbyt wolna -lądując mamy jedno podejście
6. Deceleracja - opóźnianie - odwrotnie do akceleracji. Zbyt szybka -lądujemy przymusowo, zbyt wolna - przesmarujemy lotnisko.

Poniżej lista budowana na podstawie wieloletnich doświadczeń własnych i licznej korespondencji z użytkownikami utrzymana w konwencji - *problem - przyczyna - rozwiązanie*. Dotyczy silników z zapłonem na paliwie płynnym (kerostart) sterowanych modułami firm ProJet Hornet III i ew. Xicoy V10.

1. Brak zapłonu oraz dymienia (dymienia z odparowania paliwa, a nie spalania). Problem, z jakim można się spotkać podczas pierwszego rozruchu .

Przyczyny:

- A. najczęściej brak dostarczania paliwa do silnika.
- B. możliwy również brak żarzenia świecy. (należy natychmiast przerwać procedurę rozruchową, aby nie zalewać silnika paliwem)

Rozwiązania:

ad A. układ paliwowy musi być napełniony przed rozruchem. W zależności od typu sterownika można to zrobić poprzez wybranie z menu pozycji "pump test" i włączenie pompy do czasu dojścia paliwa do silnika lub przez naciśnięcie oddzielnego przycisku starowania pompą. Efekt musi być zawsze taki sam - paliwo musi "podejść pod silnik" lecz nie wlać się do środka. Wygodnie jest wyjąć wężyk z silnika i uruchomić pompę do czasu wypłynięcia paliwa. Nie polecam napełniania układu sposobem kilku nieudanych rozruchów. Podczas tej fazy pompa paliwa wykonuje tak mało obrotów, że układ napełni się dopiero po kilku nieudanych zapłonach, a to z kolei spowoduje niepotrzebne przeciążenie świecy i przegrzanie tranzystora mocy w ECU.

Jeśli układ zasilania paliwem jest wypełniony, to przyczyny należy szukać w **ustawieniach dla pompy paliwa**. Wszystkie moduły ECU, np. firm ProJet lub Xicoy umożliwiają wybór napięć dla pompy paliwa. Za pracę pompy w pierwszej fazie rozruchu odpowiada napięcie startowe. Ten parametr jest charakterystyczny dla danego typu pompy. Jeśli napięcie jest zbyt niskie, efektem jest właśnie brak przepływu paliwa.

Brak przepływu paliwa może również być spowodowany **złym podłączeniem** (najczęściej) **lub uszkodzeniem zaworka rozruchowego**. Często pomyłka dotyczy zamiany wtyczek i włączenia zaworka rozruchowego w gniazdo zaworka głównego i na odwrót.



ad B. brak żarzenia może być spowodowany **usterką tranzystora wyjściowego w ECU lub świecy żarowej**. Naprawa ECU wiąże się raczej z wysyłką do serwisu. Wymiana przepalanej świecy ogranicza się do rozbiórki silnika i wymiany elementy grzejnego przy świecy wewnętrznej lub, jeśli świeca jest wkręcona w obudowę zewnętrzną, należy tylko ją wymienić na sprawną. Ceramiczna świeca żarowa stosowana w turbinach modelarskich jest bardzo odporna i rzadko ulega przepaleniu. Trzeba jednak pamiętać, aby przy nieudanych rozruchach spowodowanych brakiem paliwa, nie przeciążać świecy i tranzystora mocy poprzez serię prób.

2. "Dymienie" odparowanej nafty zamiast zapłonu. Częsty problem przy pierwszych próbach uruchomienia silnika. Wiąże się z ryzykiem zalania silnika paliwem, co przy następnej, udanej próbie rozruchu mogłoby się zakończyć przegrzaniem silnika. Za każdym razem, gdy nastąpi efekt odparowania paliwa zamiast zapłonu, należy natychmiast przerwać rozruch. Praktycznym sposobem jest błyskawiczne, całkowite zaciśnięcie wężyka doprowadzającego paliwo.

Przyczyny:

- A. zbyt niska temperatury świecy
- B. za duża dawka paliwa podawanego na świecę
- C. złe parametry ustalające mieszankę paliwo/powietrze dla zapłonu
- D. niewłaściwie dobrany akumulator zasilający
- E. zbyt cienkie przewody zasilające pomiędzy akumulatorem a ECU

Rozwiązania:

ad A. Ustawić napięcie żarzenia świecy żarowej. Napięcie żarzenia świecy jest jednym z podstawowych parametrów, jakie należy wprowadzić w sterowniku silnika. Świece stosowane w silnikach JETPOL pracują w zakresie napięć 8-11V, ale występują również świece na niższe napięcia pracy. Na przykład świece Xicoy pracują przy 6,5V i pomimo dużej odporności na przegrzanie, ustawienie wyższego napięcia może być przyczyną usterki.

ad B i C. Wprowadzić właściwe parametry w ECU. W pierwszej fazie rozruchu, po czasie podgrzewania świecy, paliwo podawane jest na nią w odpowiedniej ilości z jednoczesnym dostarczaniem powietrza przez sprężarkę. Jeśli paliwo leje się obficie na ceramikę świecy, powoduje jej raptowne przestudzenie. Zapłon w takim przypadku nie nastąpi. Poza tym stosunek mieszanki powstałej z odparowanego paliwa i powietrza musi się mieścić w zakresie odpowiednim dla zapłonu. Zaburzenie proporcji wynika ze złej dawki paliwa - nieodpowiednie napięcie sterujące pompą, lub złych obrotów wirnika - nieodpowiednie napięcie na rozruszniku. Zarówno jeden jak i drugi parametr jest ustawiany jednorazowo dla danego silnika w odpowiedniej pozycji menu.

Można stosować tutaj zasadę niezbędnego minimum. Napięcie na pompie ustalić na wartość około 0,1V powyżej minimalnej startowej dla silniczka pompy, napięcie na rozruszniku na wartość odpowiadającą mniej więcej 2 tys. obr./min dla wirnika. Dawką paliwa regulować precyzyjnie ustawieniem wypełnienia impulsu dla zaworka rozruchowego. Najczęściej mieści się w przedziale 20-40%.

ad D i E. faza rozruchowa jest etapem najbardziej obciążającym prądowo. Akumulator zasilający silnik z zapłonem na paliwie płynnym (kerostart) powinien być dobrej jakości, w pełni naładowany o napięciu nominalnym 11,1V (3 cele) dla ECU ProJet i 7,4V (2 cele) dla ECU Xicoy. Połączenia elektryczne powinny być możliwie jak najkrótsze (max 50cm) i wykonane przewodem o przekroju żyły min. 1,5mm². To właśnie punkty D i E są bardzo częstą przyczyną problemów z rozruchem silnika i wynikają z niedoszacowania możliwości akumulatora i połączeń elektrycznych. Przy prądach przekraczających 20A



spadki napięć na połączeniach są na tyle duże, że świeca żarowa nie osiąga wymaganej temperatury około 1000°C.

3. Długi czas oczekiwania na obrotach dla zapłonu i przerwany rozruch. Sytuacja ma miejsce przy specyficznym ustawieniu sposobu rozruchu dla ECU firmy ProJet i przy typowym ustawieniu dla ECU Xicoy. Problem polega na braku wystarczającego przyrostu temperatury. ProJet z ustawieniem "2" w punkcie 9.14 wymaga wzrostu temperatury EGT powyżej 140°C. Jeśli w czasie kilku sekund ten próg temperaturowy nie zostanie przekroczony, rozruch zostaje przerwany. Xicoy rejestruje przyrost temperatury EGT o 50°C i to traktuje jako udany zapłon. Jeśli $\Delta EGT < 50^\circ C$ rozruch zostanie przerwany.

Przyczyny:

- A. zbyt mała dawka paliwa dla fazy do zapłonu
- B. zbyt głęboko wsunięta termopara w wieńcu dyszowym kierownicy
- C. skrajnie zła pozycja kątowa zamocowania silnika

Rozwiązania:

ad A. dawka paliwa podawanego na świecę, odpowiednia dla zapłonu, nie wystarczy jednak dla podniesienia temperatury gazów wylotowych do wymaganego progu 140°C. Należy ją podnieść, zachowując właściwe proporcje z obrotami rozrusznika. W ECU ProJet, jeśli z różnych powodów okaże się to niemożliwe i przy wyższej dawce zapłon nie będzie następował, można zmienić ustawienie w punkcie 9.14 na "1". Skutkuje to zmianą procedury rozruchu na czasową. ECU nie rozpoznaje przyrostu EGT, a jedynie odczeka kilka sekund i realizuje kolejny etap. Właściwa interpretacja zapłonu spoczywa wówczas na operatorze.

ad B. silniki z wewnętrznym pomiarem EGT posiadają termoparę umieszczoną pomiędzy łopatkami kierownicy spalin. Może się zdarzyć, że termopara, z normalnej pozycji 1-3mm wysunięcia w przestrzeń między łopatkami, zmieni położenie. Uniemożliwi jej to właściwy pomiar temperatury spalin. Bardzo łatwo tę pozycję skorygować po zdjęciu obudowy zewnętrznej silnika. Dużo prostsze jest rozwiązanie w silnikach z pomiarem zewnętrznym. Korekta położenia termopary nie wymaga żadnej ingerencji we wnętrze silnika.

ad C. ze względu na konstrukcję świecy żarowej i jej zabudowę, silniki z zapłonem "kerostart" powinny być montowane w określonej pozycji kątowej. Przy silnikach z wewnętrznym zabudowaną świecą, najkorzystniejszą pozycję startową określa producent. Silniki ze świecą zewnętrzną montuje się kierując ją ku górze z odchyłką około +/- 60°. Właściwa pozycja zapewnia odpowiedni przepływ paliwa przez świecę. Zła pozycja utrudnia zapłon i powoduje zaleganie paliwa w świecy po nieudanym lub przerwany rozruch, co z kolei utrudnia następne.

4. Przekroczona temperatura rozruchu i przerwana procedura. Objaw zaliczyłbym do tych rzadszych. Dotyczy raczej starszych silników lub źle ustawionych w ECU. Wiąże się najczęściej z przesadną flarą płomienia z dyszy wylotowej, W skrajnym przypadku towarzyszy mu wypluwanie niespalonego paliwa z dyszy wylotowej, co już stwarza zagrożenie bezpieczeństwa. Można i należy natychmiast zareagować przerywając rozruch nie czekając na reakcję ECU.

Przyczyny:

- A. zbyt duża dawka paliwa w fazie podgrzewu komory żarowej lub zaraz po niej
- B. za zimna komora żarowa (zbyt krótki czas podgrzewu) i ostra rampa przyrostu obrotów pompy



- C.** zbyt wolny przyrost obrotów rozrusznika spowodowany złym ustawieniem lub usterką rozrusznika
- D.** rozruch następujący po wcześniejszych nieudanych, którym towarzyszył zbyt późno przerwany wypływ paliwa do wnętrza silnika (rozruch tzw. zalanego silnika)
- E.** zbyt duże opory toczenia łożysk wirnika, zużyte łożyska (rzadko, np. przed wymianą skrajnie zużytych łożysk)
- F.** uszkodzone parownice (bardzo rzadko i w silnikach z dużym przebiegiem)
- G.** pęknięcie lub silna deformacja płaszcza rury żarowej spowodowana naprężeniami termicznymi (rzadko i w silnikach z dużym przebiegiem)
- H.** nieszczelności w transporcie paliwa wewnątrz silnika np. z powodu pęknięcia kolektora paliwowego (bardzo rzadko)

UWAGA: w modułach ECU firmy proJET w ostatnim czasie (końcówka roku 2017) zauważyłem działanie polegające na zbyt wczesnym otwieraniu zaworu głównego. Powoduje to napływ paliwa dyszami głównymi do nierozgrzanej jeszcze komory żarowej. Paliwo nie odparowuje i gromadzi się na dnie komory silnika powodując nadmierną flarę ognia w dalszym etapie rozruchu. Poprawę, choć nie całkowitą, uzyskać można przez podniesienie przyrostu obrotów na rozruszniku (par. 9.19 i skrócenie czasu podgrzewu komory (par. 9.20).

Rozwiązania:

ad A i B. należy ustawić:

- właściwy czas otwarcia zaworka głównego dla rozruchu. W ECU ProJet realizuje to punkt 1.7 (najczęściej z zakresu 30-50%)
- wprowadzić opóźnienie załączenia pompy paliwa w pkt. 9.21 (najczęściej 0,01-0,5)
- odpowiedni przyrost napięcia na pompie w punkcie 9.23 (najczęściej 0,00 - 0,05)
- czas podgrzewu komory w pkt. 9.20 (sprawdzony parametr to 6s, ale bywają silniki tolerujące tylko 1-2s)

W ECU Xicoy należy wprowadzić parametry "Engine Fuel Preh." (typowa wartość 40-50) oraz "EGT End Preheat" (o wartości 100-130)

ad C. ustawić napięcie rozrusznika w pkt. 9.16 (najczęściej 5-6) oraz przyrost napięcia dla rozrusznika w pkt 9.19 (typowa wartość z przedziału 0,5-0,9)

W ECU Xicoy należy ustawić parametr "RPM Fuel Ramp K" na wartość z przedziału 10000-12000 oraz parametr "RPM PREHEAT K" należy ustawić na około 2 tys. obrotów wyższy od obrotów dla zapłonu paliwa.

ad D. jeśli podczas nieudanego rozruchu do silnika napłynie zbyt duża ilość paliwa (powyżej 25g) najlepiej byłoby silnik opróżnić przed kolejnym rozruchem. Niektóre silniki posiadają otwór drenażowy, ale należą one do rzadkości. W większości przypadków trzeba to zrobić samodzielnie. Wbrew logice silnika nie opróżnimy poprzez dyszę wylotową lecz poprzez wlot sprężarki. Trzeba to jednak robić ostrożnie, powoli przechylając silnik stroną wlotu do dołu, aby paliwo nie przedostało się do gumowego sprzęgła rozrusznika. W przeciwnym razie następnym rozruchom będzie towarzyszył poślizg rozrusznika względem nakrętki sprężarki.

ad E. opory toczenia łożysk wynikają z ich naturalnego zużycia. Jest ono zależne od warunków pracy. łożyska smarowane są olejem zawartym w paliwie, a jego transport zapewnia przepływające powietrze. To samo, które w dużych ilościach silnik zasysa przez wlot sprężarki. Jeśli powietrze jest zabrudzone na przykład pyłem piaskowym, to jest to doskonałe ścierniwo działające na bieżnie łożysk. Warto zwrócić uwagę na warunki pracy silnika i zapewnić mu możliwie czyste powietrze oraz 3-5% zawartość



odpowiedniego oleju w paliwie. Jeśli łożyska nadają się do wymiany, to pozostaje skorzystać z serwisu.

ad F. Uszkodzenie parownic to po prostu ich wypalenie. Parownice pracują w strefie najwyższych temperatur. Z czasem ulegają deformacjom i wypaleniu. Jest to bardzo długi proces ale nieuchronny. Nie mamy na niego wpływu. Wymiana parownic wiąże się z całkowitą rozbiórką silnika i zmusza raczej do skorzystania z serwisu.

Na pocieszenie fakt, że wiele sezonów upłynie zanim taka konieczność nastąpi.

ad G. W tym przypadku można próbować zaradzić we własnym zakresie. Nieszczelności, jeśli już wystąpią, to tylko na uszczelnieniach gumowych typu oring i są proste do usunięcia.

5. Długi i nieudany rozruch, przerwy automatycznie. Temperatury w normie. Problem występuje

czasami w powiązaniu ze zmianą któregoś z komponentów zestawu w układzie paliwowym.

Dodatkowym objawem może być spadek obrotów podczas rozruchu zaraz po zakończeniu pracy rozrusznika.

Przyczyny:

A. za mała ilość paliwa dostarczana do silnika w fazie rampy rozruchowej

B. za krótki czas przewidziany na rozruch

Rozwiązania:

ad A. jeśli problem występuje od początku, lub po zmianie któregoś z komponentów układu paliwowego może być spowodowany złym parametrem dotyczącym obrotów pompy paliwa, która w wyniku innych oporów przepływu paliwa w układzie lub wydatku, nie dostarcza go w odpowiedniej ilości. W ECU ProJet najlepiej podnieść wartość w pkt. 1.5 , natomiast w ECU Xicoy parametr "Engine min.Flow". Podniesienie wartości oznacza jednocześnie większą dawkę paliwa dla obrotów jałowych i nawet gdyby powodowało to przekroczenie obrotów na zakończenie rozruchu, to sterownik wyrówna je samoczynnie do wartości ustalonej dla obrotów wolnych turbiny. Podniesienie ręczne wspomnianej wartości spowoduje jednak pożądane w tym przypadku podniesienie zbocza rampy rozruchowej. To z kolei pozwoli uzyskać wymagane obroty w odpowiednim czasie przeznaczonym na rozruch.

Spadek obrotów po zakończeniu pracy rozrusznika i odłączeniu bendix-a w ECU ProJet nie jest wspomagany programowo. Jeśli turbina nie "podniesie się" samoczynnie wykorzystując energię gazów wylotowych, to rozruch zostanie przerwany. Inaczej wygląda to w ECU Xicoy, gdzie parametr "RPM to reconnect Starter" pozwala ustalić obroty dla których rozrusznik zostanie załączony ponownie i wspomocze gazy wylotowe w rozpędzaniu wirnika. Oczywiście akcja rozrusznika zakończy się zgodnie z parametrem "RPM OFF Starter", ale rampa przyrostowa dla pompy będzie powodowała już dostarczanie większej dawki paliwa do silnika.

ad B. ECU ProJet przewiduje wprowadzenie czasu przewidzianego na rozruch. Odpowiada za niego parametr 9.22 (typowa wartość wynosi 20s) Zmniejszenie tej wartości wiąże się ze skracaniem rozruchu i wzrostem agresywności jego przebiegu. Rampa dla pompy staje bardziej stroma. Jednocześnie silnik musi wykonać procedurę w krótszym czasie i, jeśli sobie z tym nie poradzi, rozruch zostaje przerwany. Typowa wartość około 20s jest moim zdaniem optymalna. Nie wydłuża niepotrzebnie pracy rozrusznika, co polepsza jego kondycję, a jednocześnie nie obciąża termicznie silnika, co ma miejsce przy krótszych czasach.



6. Silniki nie przechodzi procedury kalibracji (dotyczy ECU ProJet). Po prawidłowym rozruchu i ustabilizowaniu wolnych obrotów rozpoczyna się procedura kalibracji. Polega ona na stopniowym zwiększaniu obrotów do wartości ustalonej parametrem 9.3. (typowa wartość 50-60 tys. obr/min). Pozytywne zakończenie tej procedury warunkuje dalszą pracę. Może się zdarzyć, że silnik przerwie pracę podczas kalibracji.

Przyczyny:

A. parametr 9.5 ustawiony nieodpowiednio dla danego typu pompy (szczególnie po wymianie pompy)

B. niewłaściwa wartość parametrów 9.6 i 9.7

Rozwiązania:

ad A. sprawdzić pompę i połączenia paliwowe oraz czystość filtra paliwa i ssaka.

Mikroprocesorowy układ elektroniczny każdorazowo po pozytywnym zakończeniu rozruchu przeprowadza kalibrację napięcia pompy paliwa, a dane zebrane podczas tej kalibracji wykorzystuje do realizacji funkcji tzw. regulatora PID. Aby nie wchodzić w zawiłe szczegóły elektroniki, wystarczy stwierdzić, że dane te służą do panowania nad silnikiem utrzymując jego stabilną pracę, bez pulsacji, falowania obrotów czy przekraczania ich minimalnych i maksymalnych wartości. Pewne podstawowe informacje są mimo to niezbędne i należy je podać dla prawidłowej pracy regulatora. Do takich należy zakładana maksymalna wartość napięcia na pompie, przy którym powinna ona dostarczyć wystarczającą ilość paliwa dla osiągnięcia górnych obrotów dla kalibracji. To właśnie wartość parametru 9.5. Jeśli zatem zmienimy pompę na innego typu lub z jakichś powodów ograniczymy przepływ paliwa (zagięcie wężyka, brudny filtr, itp.) może się okazać, że przy dotychczasowym napięciu, pompa nie przetłoczy wystarczającej ilości paliwa i silnik nie osiągnie zadanych obrotów kalibracji.

ad B. wprowadzić nastawy dla parametru 9.6 (typowa wartość 1,5) oraz parametru 9.7 (typowa wartość 0,5 - 0,65) Parametry te związane są bezpośrednio z realizacją funkcji regulatora PID i odpowiadają między innymi za szybkość i zakres reakcji na zmiany obrotów odczytanych w stosunku do zadanych. Reakcja ta, to zmiana napięcia na pompie. Niewłaściwe wartości powodują falowanie obrotów, wolne dochodzenie do wartości zadanej lub przekraczanie tej wartości.

7. Przekraczanie temperatur podczas akceleracji (dotyczy ECU ProJet). Podczas gwałtownego przyspieszania może się zdarzyć, że silnik zareaguje wyłączeniem i przejściem do procedury studzenia.

Przyczyny:

Sterowniki ProJET z serii Hornet posiadają rozbudowany algorytm sterowania silnikiem, oparty o regulator PID oraz cykliczną kontrolę przyrostu EGT w jednostce czasu. Ma to wpływ na dynamikę zmian obrotów pompy paliwa w funkcji RPM i EGT. W zawiązku z tym powyższe zdarzenie należy do niezwykle rzadkich i spowodowane jest przekroczeniem maksymalnego zakresu EGT raczej z powodu niedomagania silnika. Dotyczy to w szczególności stopnia zużycia łożysk lub wypalenia elementów komory żarowej.

Rozwiązania:

W sterownikach serii Hornet nie można ustawiać parametru maksymalnej dopuszczalnej wartości EGT. Jest ona ustawiona przez producenta na poziomie 900 °C. W praktyce przekroczenie tej wartości musi wystąpić w sposób stabilny. Chwilowe zdarzenie i powrót do temperatury o niższej wartości nie powoduje reakcji awaryjnej.



Rozwiązaniem może być ustawienie parametru 9.12 na niższą wartość (typowa to 10⁰C) ale pojawienie się w/w problemu powinno skłaniać do kontroli stanu silnika.

8. Automatyczne przerywanie pracy turbiny podczas deceleracji (dotyczy ECU ProJet). Przy normalnej pracy silnika w chwili gwałtownej zmiany położenia drążka gazu może nastąpić wyłączenia silnika. Zjawisko może nastąpić w sytuacji utraty płomienia w komorze żarowej silnika. Zbyt szybkie obniżenie obrotów pompy paliwa skutkuje zubożeniem mieszanki paliwowo/powietrznej w komorze żarowej spowodowane nadmiarem powietrza podawanego przez sprężarkę, której reakcja obarczona jest zawsze pewną zwłoką czasową. Powoduje to zdmuchnięcie płomienia i gwałtowne ostudzenie elementów komory. Podjęcie dalszej pracy bez dodatkowego źródła ciepła jest niemożliwe. Gdy wartość EGT spadnie poniżej minimalnej ustalonej dla trybu pracy algorytm ECU przerywa pracę i przechodzi do procedury studzenia.

Przyczyny:

Zbyt mała wartość parametrów 9.10 lub 9.11 lub obydwu.

Rozwiązania:

Ustawić wyższą wartość - typowa to 1s .

Opracowane w ramach działalności firmy JETPOL wg stanu wiedzy z grudnia 2017 roku.

Autor: Tomasz Kiciński

Kopiowanie i rozpowszechnianie z zachowaniem informacji o autorze dopuszczalne w nieograniczonym zakresie.