



PRZEPISY
PUBLIKACJA 28/P

PRÓBY SILNIKÓW SPALINOWYCH

lipiec
2024

Publikacje P (Przepisowe) wydawane przez Polski Rejestr Statków są uzupełnieniem lub rozszerzeniem Przepisów i stanowią wymagania obowiązujące tam, gdzie mają zastosowanie.

GDAŃSK

Publikacja 28/P – Próby silników spalinowych – lipiec 2024, została zatwierdzona przez Zarząd Polskiego Rejestru Statków S.A. w dniu 11 czerwca 2024 r. i wchodzi w życie z dniem 1 lipca 2024 r.

© Copyright by Polski Rejestr Statków S.A., 2024

PRS/RP, 06/2024

SPIS TREŚCI

	Str.
1 PRÓBA TYPU SILNIKÓW spalinowYCH	5
1.1 Postanowienia ogólne	5
1.2 Pomiary i zapisy.....	7
1.3 Etap A – wewnętrzne próby zakładowe.....	8
1.4 Etap B – próba klasyfikacyjna typu	8
1.5 Etap C – oględziny części silnika.....	11
2 PRÓBY ZDAWCZO-ODBIORCZE SILNIKÓW SPALINOWYCH.....	12
2.1 Postanowienia ogólne	12
2.2 Próby na stanowisku u producenta (odbiory fabryczne).....	12
2.3 Zakres prób u producenta (obciążenia próbne).....	13
2.4 Próby na statku.....	15
3 SILNIKI DWUPALIWOWE ORAZ SILNIKI GAZOWE	17
3.1 Postanowienia ogólne	17
3.2 Próby typu.....	17
3.3 Odbiory fabryczne	20
3.4 Próby na statku.....	21
4 Type Testing Procedure of Explosion Relief Devices for Combustion Air Inlet and Exhaust Gas Manifolds of I.C. Engines Using Gas as Fuel.....	21
4.1 General.....	21
4.2 Definitions	21
4.3 Documents.....	21
4.4 Tests	22
4.5 Test report.....	25
4.6 Assessment.....	26
4.7 Approval.....	26

1 PRÓBA TYPU SILNIKÓW SPALINOWYCH

1.1 Postanowienia ogólne

1.1.1 Próba typu silnika spalinowego obejmuje zatwierdzenie dokumentacji (w zakresie wymaganym w 1.3.2, część VII), zatwierdzenie specyfikacji, sprawdzenie zgodności z produkcją, zatwierdzenie programu prób typu, przeprowadzenie prób typu silników, przegląd uzyskanych wyników oraz wystawienie Świadectwa uznania typu przez PRS.

1.1.2 Próba typu wymagana jest dla każdego nowego typu silnika przeznaczonego do zainstalowania na statku objętym nadzorem klasyfikacyjnym. Próba typu przeprowadzona dla określonego typu silnika w dowolnym miejscu jego wytwarzania będzie akceptowana dla wszystkich silników tego samego typu zbudowanego przez licencjobiorcę lub licencjodawcę, jeśli wytwórnia została zaakceptowana przez PRS.

1.1.3 Typ silnika określany jest poprzez:

- .1 średnicę cylindra i skok;
- .2 sposób wtrysku (bezpośredni lub pośredni);
- .3 działanie zaworu oraz wtrysku (sterowanie krzywkami lub elektroniczne);
- .4 rodzaj paliwa (płynne, płynne-gazowe, gazowe);
- .5 cykl pracy (4- suwowy, 2-suwowy);
- .6 system turbodoładowania (ciśnienie pulsacyjne lub stałe);
- .7 system chłodzenia powietrza doładowującego (np. z udziałem lub bez udziału chłodnicy międzystopniowej);
- .8 układ cylindrów (rzędowy lub widlasty)¹⁾;
- .9 moc cylindra, prędkość obrotowa i ciśnienie w cylindrze²⁾.

Uwagi:

¹⁾ Jedna próba typu będzie odpowiednia do objęcia zakresu różnych liczb cylindrów. Próba typu silnika z układem rzędowym nie zawsze może objąć wersję z układem widlastym. Pod warunkiem osobnej zgody poszczególnych towarzystw, mogą być wymagane osobne próby typu dla silnika w układzie widlastym. Z drugiej strony, próba typu silnika w układzie widlastym obejmuje silniki w układzie rzędowym, dla których średnie ciśnienie efektywne wyznaczone na hamowni (BMEP) nie jest wyższe.

²⁾ Silnik posiada zatwierdzenie typu w zakresie wartości parametrów mocy znamionowej i ciśnienia z próby (100% wartości odpowiadającej maksymalnej ciągłej mocy znamionowej (MCR)). Można zezwolić (przy zatwierdzonym projekcie*) na nieprzeprowadzenie nowej próby typu, pod warunkiem przedstawienia udokumentowanego dowodu pozytywnych doświadczeń eksploatacyjnych silników z klasyfikowanymi wartościami znamionowymi (100%), jeśli zwiększenie niżej wymienionych wartości parametrów w porównaniu z wartościami dotyczącymi silnika poddanego próbom typu, mieści się w granicach:

- .1 5% maksymalnego ciśnienia spalania, lub
- .2 5% średniego ciśnienia efektywnego, lub
- .3 5% obrotów na minutę.

* dotyczy tylko obliczeń i rysunków wałów korbowych, jeśli zostały zmodyfikowane.

Jeśli moc maksymalna nie została zwiększona o więcej niż 10%, można zezwolić na zwiększenie wartości maksymalnej zatwierdzonej mocy bez nowej próby typu, pod warunkiem przedstawienia analizy technicznej oraz dowodu pozytywnych doświadczeń eksploatacyjnych w podobnych obszarach zastosowań (nawet jeśli nie podlegają klasyfikacji) lub przedstawienia dokumentacji zakładowego badania wewnętrznego, a zwiększenie wartości parametrów znamionowych, w porównaniu z wartościami dotyczącymi silnika poddanego próbom typu, mieści się w granicach:

- .1 10% maksymalnego ciśnienia spalania, lub
- .2 10% średniego ciśnienia efektywnego, lub
- .3 10% obrotów na minutę (rpm).

1.1.4 Silnik o obniżonych wartościach znamionowych

Jeśli dokumentacja silnika została zatwierdzona, a zakładowe próby wewnętrzne na etapie A zostały udokumentowane dla większej mocy znamionowej niż w próbach typu, zatwierdzenie typu może być rozszerzone do zwiększonej mocy/średniego ciśnienia efektywnego (mep)/obrotów rpm, po przedstawieniu Sprawozdania z prób silnika o zwiększonych parametrach znamionowych uwzględniającego pomiary parametrów pracy przy:

- .1 Próbie przy nadmiernej prędkości obrotowej (tylko w przypadku zwiększenia prędkości znamionowej),
- .2 Mocy znamionowej, tj. 100% mocy przy znamionowym (100 %) momencie obrotowym i znamionowej (100%) prędkości obrotowej mierzonej w punkcie pracy 1; 2 pomiary w odstępie jednej godziny;
- .3 Maksymalnym dopuszczalnym momencie obrotowym (zwykle 110%) przy znamionowej (100 %) prędkości obrotowej mierzonej w punkcie pracy 3 lub maksymalnej dopuszczalnej mocy (zwykle 110%) oraz przy prędkości obrotowej zgodnej z nominalną krzywą śrubową mierzonej w punkcie pracy 3a, w czasie pół godziny;
- .4 Mocy 100% przy maksymalnej dopuszczalnej prędkości obrotowej mierzonej w punkcie pracy 2, w czasie pół godziny.

1.1.5 Próba zintegrowania

Próba zintegrowania przeprowadzana jest w celu potwierdzenia, że reakcja kompletnego systemu mechanicznego, hydraulicznego i elektronicznego jest taka, jaka może być założona dla odbioru osobno zatwierdzanych podsystemów (turbodoładowania, sterowania silnikiem, zasilania dwupaliwowego, przetwarzania gazowych produktów spalania, itp.). Zakres tych prób powinien być zaproponowany przez projektanta/licencjodawcę, po uwzględnieniu ich oddziaływania na silnik.

1.1.6 Środki bezpieczeństwa

1.1.6.1 Przed wykonaniem rozruchu próbnego, producent/stocznia powinien udostępnić całe odpowiednie wyposażenie bezpieczeństwa personelu uczestniczącego w próbach, które powinno być sprawne, a prawidłowość jego funkcjonowania powinna być sprawdzona.

1.1.6.2 Powyższe dotyczy szczególnie zabezpieczeń przed wybuchem skrzyni korbowej, ale także zabezpieczeń przed nadmiernymi obrotami oraz wszelkich innych systemów wyłączów awaryjnych.

1.1.6.3 Przed wykonaniem próby należy także przeprowadzić inspekcję osłon przewodów paliwowych wysokiego ciśnienia oraz odpowiednio osłonić złącza rurowe (zgodnie z wymaganiami podanymi w 1.4.8.1).

1.1.6.4 Należy przeprowadzić także próbę blokady urządzenia obracającego, jeśli zostało zainstalowane.

1.1.7 Zakres próby typu

Próba typu podzielona jest na trzy etapy:

- .1 Etap A – wewnętrzne próby zakładowe.
- .2 Etap B – próby klasyfikacyjne typu, przeprowadzane na hamowni u producenta, w obecności inspektora PRS.
- .3 Etap C – oględziny części silnika, w zakresie wymaganym przez inspektora PRS.

1.1.8 Kompletny program prób typu podlega zatwierdzeniu PRS. Zakres uczestnictwa inspektora PRS w próbach powinien być w każdym przypadku uzgodniony, powinien on być jednak obecny co najmniej przy etapach B i C.

1.1.9 Próby przeprowadzane przed próbami zatwierdzenia typu (etap B i C) są także uznawane za część kompletnego programu prób typu.

1.1.10 Po zakończeniu kompletnego cyklu prób typu (etapy A do C), należy przedstawić PRS do przeglądu sprawozdanie z prób typu. Sprawozdanie to powinno zawierać:

- .1 Ogólny opis prób przeprowadzonych podczas etapu A. Kierownictwo zapewnienia jakości producenta powinno zachować zapisy w celu ich przedstawienia PRS;
- .2 Szczegółowy opis prób pod obciążeniem oraz prób funkcjonalnych przeprowadzonych podczas etapu B;
- .3 Wyniki przeglądu przeprowadzonego podczas etapu C.

1.1.11 Podczas etapu A zostaną zwykle przeprowadzone próby specjalne, takie jak niskocyklowe badania zmęczeniowe (LCF)¹⁾ oraz próby wytrzymałościowe.

Uwaga:

¹⁾ LCF- oznacza części, które będą poddane niskocyklowym badaniom zmęczeniowym, takie jak części "gorące", gdy często pracują w zakresach obciążeń od biegu jałowego przez pełne obciążenie do biegu jałowego (przy szybkim wzroście obciążenia).

1.1.12 Silniki wysokoobrotowe do zastosowań morskich powinny być zwykle poddawane próbie wytrzymałościowej przy pełnym obciążeniu trwającej 100 godzin. Można rozważyć pominięcie lub uproszczenie próby typu poza zakresami podanymi w 1.1.3 dla silników z długą praktyką eksploatacyjną w zastosowaniach niemorskich lub rozszerzenie takiej próby w przypadku silników dobrze znanego typu.

1.1.13 Silniki napędowe jednostek szybkich, które mogą doświadczać częstych zmian obciążeń od biegu jałowego do obciążenia pełnego powinny być zwykle podawane próbom przy co najmniej 500 cyklach (od biegu jałowego przez pełne obciążenie do biegu jałowego) przy najszybszym wzroście obciążenia na jaki pozwala system sterowania (lub zgodnie z podręcznikiem obsługi, przy braku sterowania automatycznego). Czas trwania powinien wystarczać do uzyskania stałej temperatury części gorących.

1.2 Pomiary i zapisy

1.2.1 Podczas wszystkich prób należy prowadzić zapisy dotyczące warunków otoczenia (temperatura powietrza, ciśnienie atmosferyczne i wilgotność).

1.2.2 Należy prowadzić pomiary i zapisy co najmniej następujących parametrów silnika:

- .1 Prędkość obrotowa;
- .2 Moment obrotowy;
- .3 Maksymalne ciśnienie spalania dla każdego cylindra¹⁾;
- .4 Średnie ciśnienie indykowane dla każdego cylindra¹⁾;
- .5 Ciśnienie i temperatura powietrza doładowującego;
- .6 Temperatura gazów wylotowych;
- .7 Położenie listwy paliwa lub podobny parametr związany z obciążeniem silnika;
- .8 Prędkość turbodoładowarki;
- .9 Wszystkie parametry silnika, które są wymagane w celu sterowania i kontroli parametrów pracy (napędu, mechanizmów pomocniczych i awaryjnych).

Uwagi:

¹⁾ W przypadku silników, których standardowe głowice cylindrów nie są konstrukcyjnie przystosowane do takich pomiarów, można zastosować specjalną głowicę przystosowaną do tego celu. W takim przypadku pomiary mogą być prowadzone jak dla etapu A i powinny być one odpowiednio dokumentowane. Jeśli uznano to za niezbędne, np. w przypadku silników z zasilaniem dwupaliwowym, pomiar maksymalnego ciśnienia spalania oraz średniego ciśnienia indykowanego może być przeprowadzony przy użyciu metod pośrednich, pod warunkiem że udokumentowano wiarygodność metody pomiaru.

Nadzorujący inspektor PRS powinien otrzymać do przeglądu zapisy dotyczące kalibracji przyrządów użytych do uzyskania danych wymienionych powyżej.

W związku z oceną konstrukcji mogą być wymagane dodatkowe pomiary.

1.3 Etap A – wewnętrzne próby zakładowe

1.3.1 Podczas prób zakładowych silnik powinien być poddany próbom działania w punktach pracy istotnych dla projektanta, a odpowiednie wartości parametrów pracy powinny zostać udokumentowane zapisami. Próby stanów obciążeń powinny obejmować także próby podane w mającym zastosowanie programie prób.

1.3.2 Praca normalna

Praca normalna obejmuje próby przynajmniej dla następujących obciążeń:

- punkty pracy przy obciążeniu wynoszącym 25%, 50%, 75%, 100% i 110% maksymalnej znamionowej mocy silnika dla pracy ciągłej, leżące na nominalnej (teoretycznej) krzywej śrubowej oraz przy stałej prędkości obrotowej dla silników głównych (przy stosowanym trybie pracy, tj. przy napędzie śrub ze skokiem zmiennym) i przy stałej prędkości obrotowej dla silników zespołów prądotwórczych włącznie z próbą bez obciążenia przy prędkości znamionowej;
- punkty graniczne dopuszczalnego zakresu pracy. Punkty te powinny być określone przez producenta silnika;
- dla silników wysokoobrotowych – próba przy pełnym obciążeniu i czasie trwania 100 godzin oraz niskocyklowa próba zmęczeniowa, wymagane w związku z oceną konstrukcji;
- specyficzne próby części silnika wymagane przez PRS lub podane przez projektanta.

1.4 Etap B – próba klasyfikacyjna typu

Próby w podanym niżej zakresie powinny być przeprowadzone w obecności inspektora PRS. Wyniki prób należy zapisać w sprawozdaniu z prób, które powinno być podpisane przez nadzorującego inspektora po zakończeniu prób.

Przed próbami na hamowni producent powinien przedłożyć inspektorowi PRS obliczony błąd pomiaru mocy silnika na hamowni, świadectwo uwierzytelnienia hamulca oraz pozostałych przyrządów pomiarowych. Jeżeli tego świadectwa nie ma, należy dokonać sprawdzenia hamulca w obecności inspektora PRS w sposób podany przez producenta hamulca.

Parametry i ustawienia silnika powinny być zgodne z podanymi w instrukcji obsługi.

W sprawozdaniu powinny być ujęte parametry paliwa i olejów smarowych użytych podczas próby.

1.4.1 Należy przeprowadzić próbę zwiększonej prędkości obrotowej (nadobrotów), która powinna wykazać, że silnik nie zostanie uszkodzony poprzez zatrzymanie w zakresie nastawy nadobrotów. Próba może być przeprowadzona zgodnie z życzeniem producenta z obciążeniem lub bez obciążenia podczas zadawania nadobrotów.

1.4.2 Punkty pracy

Punkty pracy, według których silnik ma pracować na hamowni, są wskazane na wykresie mocy w funkcji prędkości obrotowej (patrz rys. 1.4.5).

Wielkości zmierzone w czasie prób silnika w różnych punktach pracy powinny zawierać wszystkie parametry niezbędne podane w 1.2.

Czas pracy silnika w każdym punkcie pracy zależy od wielkości silnika (konieczność osiągnięcia przez silnik przy pomiarze stanu stabilnej pracy) i od czasu niezbędnego dla dokonania odczytów na wszystkich przyrządach pomiarowych. W zasadzie czas ok. 0,5 godz. jest wystarczający dla każdego punktu pracy, należy jednak przeznaczyć wystarczający czas na oględziny inspektora.

1.4.3 Parametry pracy silnika należy mierzyć w poniższych punktach pracy, zaznaczonych na rys. 1.3.1.

- .1 moc znamionowa (MCR), tj. 100% mocy przy znamionowym (100%) momencie obrotowym i znamionowej (100%) prędkości obrotowej – punkt 1; zwykle przez 2 godziny z zapisywaniem danych i z przerwą 1 godziny. Jeśli wymagana jest praca silnika w zakresie określonym przez jego specyficzny system alarmowy (np. przy poziomach alarmowych ciśnienia oleju smarowego i temperatury wlotu), próbę należy przeprowadzić dla tego zakresu.
- .2 100% mocy przy maksymalnej dopuszczalnej prędkości obrotowej – punkt 2;
- .3 maksymalny dopuszczalny moment obrotowy (zwykle co najmniej 110%) przy pełnej znamionowej prędkości obrotowej – punkt 3 lub maksymalna dopuszczalna moc (zwykle co najmniej 110%) przy prędkości obrotowej 103.2% , zgodnie z teoretyczną krzywą śrubową – punkt 3a;

Punkt pracy 3a dotyczy silników napędu tylko pędników o stałym skoku lub pędników strugowodnych. Punkt pracy 3 dotyczy wszystkich innych zastosowań. Punkt pracy 3 (lub 3a jeśli ma zastosowanie) powinien być zastąpiony obciążeniem odpowiadającym określonemu przeciążeniu i czasowi trwania zatwierdzonym dla pracy przerywanej. Dotyczy to sytuacji, gdy wartość takiego przeciążenia przekracza 110% mocy znamionowej (MCR). W przypadku gdy zatwierdzona wartość przeciążenia przerywanego jest mniejsza niż 110% MCR, przedmiotowa wartość przeciążenia powinna być użyta zamiast punktu 100% MCR. W takim przypadku ma nadal zastosowanie punkt pracy przy 110% MCR.

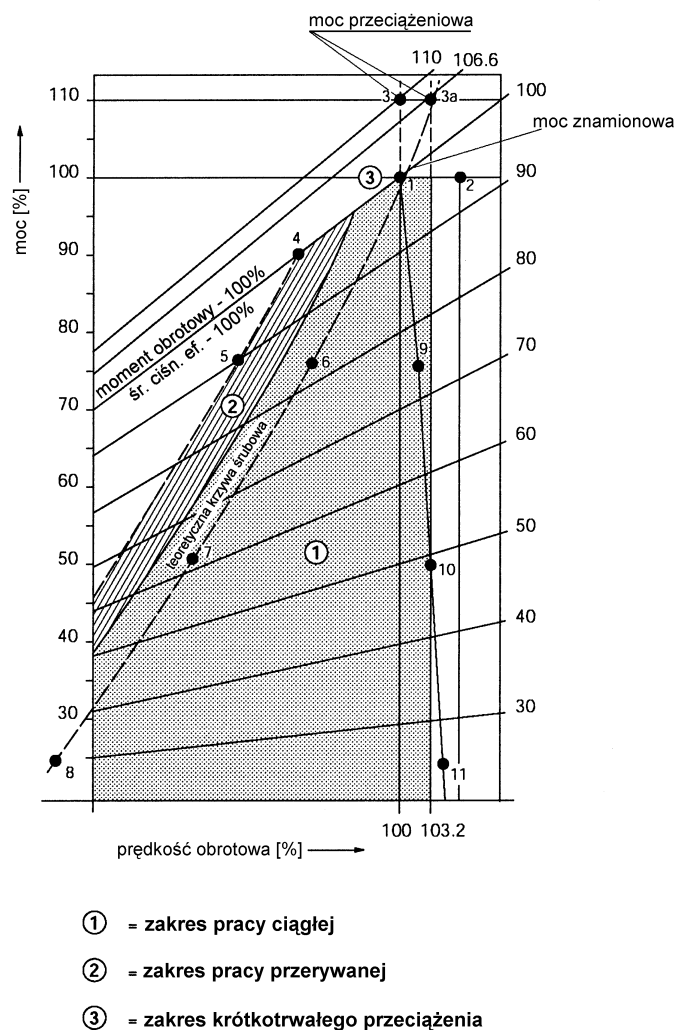
- .4 minimalna dopuszczalna prędkość obrotowa przy znamionowym momencie obrotowym równym 100 % – punkt 4;
- .5 minimalna dopuszczalna prędkość obrotowa przy momencie obrotowym równym 90% znamionowego – punkt 5 (dotyczy tylko silników głównych);
- .6 moce częściowe, np. 75%, 50%, 25% mocy znamionowej przy prędkościach obrotowych, wynikających dla tych mocy z teoretycznej krzywej śrubowej (tj. 90.8%, 79.3% oraz 62.9%) przechodzącej przez punkty 6, 7 i 8 lub przy stałych ustawieniach prędkości obrotowych odpowiadających punktom 9, 10 oraz 11, w zależności od zamierzonego zastosowania silnika;
- .7 silniki wozikowe, co do których zastosowania z pędnikami o zmiennym skoku nie ma ograniczeń, powinny być poddawane próbom bez obciążeń przy maksymalnej dla danego silnika dopuszczalnej prędkości obrotowej.

1.4.4 W tych wszystkich punktach pracy parametry silnika powinny mieścić się w ustalonych i zatwierdzonych zakresach.

1.4.5 Praca z uszkodzoną turbosprężarką

1.4.5.1 Dla silników dwusuwowych, należy określić osiągalną moc stałą przy pracy z uszkodzoną turbosprężarką.

1.4.5.2 Silniki przeznaczone do pojedynczego napędu z pędnikiem o stałym skoku powinny być zdolne do pracy z prędkością obrotową wynoszącą 40% pełnej prędkości obrotowej wynikającą z teoretycznej krzywej śrubowej, gdy jedna z turbosprężarek jest niesprawna. (Próba może być przeprowadzona poprzez obejście turbosprężarki, unieruchomienie wału wirnika turbosprężarki lub przez wyjęcie wirnika).



Rys. 1.4.1. Charakterystyka mocy w funkcji prędkości obrotowej

1.4.6 Próby funkcjonalne

- .1 Weryfikacja najniższej prędkości obrotowej silnika głównego zgodnie z teoretyczną krzywą śrubową, podanej przez projektanta silnika (mimo że silnik pracuje na hamulcu wodnym). Podczas tej próby nie powinien aktywować się alarm.
- .2 Próby rozruchów dla silników nienawrotnych i/lub próby rozruchu i nawrotu dla silników nawrotnych, w celu określenia minimalnego ciśnienia powietrza rozruchowego i jego zużycia.
- .3 Próby regulatora obrotów: należy przeprowadzić próby na zgodność z wymaganiami UR M 3.1 oraz UR M 3.2.

1.4.7 Próba zintegrowania

1.4.7.1 W przypadku silników wysokoprężnych sterowanych elektronicznie próba zintegrowania powinna potwierdzić, że reakcja kompletnego systemu mechanicznego, hydraulicznego i elektronicznego jest taka jaką założono dla wszystkich przewidywanych trybów pracy. Zakres tych prób powinien być uzgodniony z PRS dla wybranych przypadków, w oparciu o analizę stanów awaryjnych i ich skutków (FMEA) wymaganych w UR M44.

1.4.8 Środki ochrony przeciwpożarowej

1.4.8.1 Silniki należy poddawać przeglądom w celu sprawdzenia:

- .1 obudowy przewodów paliwowych wysokiego ciśnienia, włącznie z systemem wykrywania przecieków oraz właściwej osłony połączeń rurowych w przewodach przewodzących ciecze palne;
- .2 właściwej izolacji gorących powierzchni podczas pracy silnika przy pełnym (100%) obciążeniu, alternatywnie przy przeciążeniu zatwierdzonemu dla pracy przerywanej. Odczyty temperatur powierzchni należy prowadzić przy użyciu sprzętu termograficznego pracującego na podczerwień. Uzyskane odczyty należy wrywkowo weryfikować przy użyciu termometrów kontaktowych.

1.5 Etap C – oględziny części silnika

1.5.1 Należy mierzyć ugięcie wału korbowego w warunkach określonych przez projektanta (z wyjątkiem silników, dla których nie określono takich warunków).

1.5.2 Silniki wysokoobrotowe do zastosowań morskich powinny być zwykle rozebrane do całkowitego przeglądu po próbie typu.

1.5.3 Dla wszystkich pozostałych silników, po zakończeniu prób, należy przedstawić do oględzin następujące części jednego cylindra dla silników o układzie rzędowym i dwu cylindrów dla silników o układzie widlastym (w przypadku silników z długą praktyką eksploatacyjną w zastosowaniach niemorskich zakres ten może być zredukowany):

- .1 tłok wymontowany i rozłożony;
- .2 łożysko wodzikowe, rozłożone;
- .3 płaszczyzny prowadnic;
- .4 łożyska korbowodu (duży i mały koniec) rozłożone (z szczególnym uwzględnieniem ząbkowania oraz korozji czarnej na powierzchniach styku ze ściankami łożysk);
- .5 łożysko główne, rozłożone;
- .6 tuleję cylindrową, bez demontażu;
- .7 głowicę cylindrową, przy zdemontowanych zaworach;
- .8 elementy napędu wału rozrządu, wał rozrządu i skrzynię korbową ze zdjętymi pokrywami. (Powinno być możliwe obracanie silnika obracarką w celu przeprowadzenia oględzin)

1.5.4 W przypadku silników o układzie widlastym, cylindry do przeglądu należy wybrać z obu rzędów i z różnych wykorbień.

1.5.5 Inspektor może uznać za niezbędne dalsze rozmontowanie silnika.

2 PRÓBY ZDAWCZO-ODBIORCZE SILNIKÓW SPALINOWYCH

2.1 Postanowienia ogólne

2.1.1 Przed rozpoczęciem prób silniki powinny być poddane wstępnemu rozbiegowi zgodnie z instrukcjami producenta silnika.

2.1.2 Należy zapewnić warunki stanowiska prób (hamowni) odpowiednie dla obciążeń wymaganych w 2.3. Wszystkie ciecze stosowane do prób, takie jak paliwa, oleje smarne i woda chłodząca powinny być odpowiednie do założonego zadania, np. powinny być czyste, wstępnie podgrzane jeśli jest to niezbędne i nie powodować uszkodzeń części silnika. Dotyczy to wszystkich cieczy stosowanych w próbach okresowo lub wielokrotnie.

2.1.3 Próby składają się z prób u producenta i prób na statku (na nabrzeżu i w morzu).

2.1.4 Silniki należy poddać przeglądowi w celu sprawdzenia:

- .1 osłon przewodów paliwowych wysokiego ciśnienia, włącznie z systemem wykrywania przecieków;
- .2 właściwej osłony połączeń rurowych w przewodach przewodzących ciecze palne;
- .3 właściwej izolacji gorących powierzchni poprzez odczyty temperatury przeprowadzane wyrywkowo, które należy porównywać z odpowiadającymi odczytami uzyskanymi podczas prób typu. Należy to przeprowadzać przy silniku pracującym z mocą znamionową. Stosowanie termometrów kontaktowych jest dopuszczalne za zgodą inspektora uczestniczącego w próbach. W przypadku gdy izolacja została zmodyfikowana po próbie zatwierdzenia typu PRS może wnioskować o pomiar temperatury zgodnie z wymaganiami 1.4.8.1.2.

2.1.5 Przeglądy te zwykle powinny być przeprowadzane podczas prób u producenta przez producenta oraz inspektora nadzorującego, ale za zgodą PRS część z tych przeglądów może być przeniesiona do czasu prób na statku.

2.2 Próby na stanowisku u producenta (odbiory fabryczne)

Próby na stanowisku u producenta są końcowym etapem nadzoru PRS nad produkowanym silnikiem, a po pomyślnym ich zakończeniu PRS wystawia metrykę silnika.

Próby na stanowisku u producenta należy przeprowadzić w zakresie podanym w 2.3. Zmniejszenie zakresu prób wymaga zgody PRS.

2.2.1 Należy prowadzić zapisy dotyczące poniższych warunków prób środowiskowych

- .1 temperatury otoczenia;
- .2 ciśnienia atmosferycznego otoczenia;
- .3 wilgotności atmosferycznej.

2.2.2 Dla każdego wymaganego punktu pracy należy zwykle prowadzić zapisy następujących parametrów:

- .1 mocy i prędkości obrotowej;
- .2 indeksu paliwa (lub parametr równoważny);
- .3 maksymalne ciśnienie spalania (tylko wówczas gdy konstrukcja zainstalowanych głowic cylindrów pozwala na taki pomiar);
- .4 temperatura gazów wylotowych przed turbiną i z każdego cylindra (w zakresie, w jakim wymagany jest monitoring w UR M73 oraz UR M35/36);
- .5 temperatura powietrza doładowującego;
- .6 ciśnienie powietrza doładowującego;

- .7 prędkość obrotowa turbodoładowarki (w zakresie, w jakim wymagany jest monitoring w UR M73).

2.2.3 Zapisy dotyczące kalibracji przyrządów pomiarowych należy przedstawić nadzorującemu inspektorowi PRS, na jego wniosek.

2.3 Zakres prób u producenta (obciążenia próbne)

Producent silnika powinien zmierzyć i odnotować odpowiednie parametry eksploatacyjne silnika poddanego próbom. Wszystkie wyniki powinny być zestawione w sprawozdaniu z prób, opracowanym przez producenta silnika.

W każdym przypadku wszystkie pomiary przeprowadzone dla różnych punktów pracy powinny być dokonane po osiągnięciu stanu stabilnej pracy silnika. Dla punktu pracy przy 100% mocy znamionowej MCR (maksymalna stała moc znamionowa przy znamionowej prędkości obrotowej) należy wykonać dwa odczyty parametrów w odstępie czasu zwykle 30 minut.

Poniższy zakres prób może ulec rozszerzeniu w zależności od zastosowania silnika, historii eksploatacyjnej lub innych odpowiednich czynników.

Uwaga: producent i PRS mogą uzgodnić próby alternatywne do prób szczegółowych, w przypadku gdy ogólny ich zakres można uznać za równoważny.

2.3.1 Silniki główne napędzające tylko śrubę napędową lub wirnik

Należy przeprowadzić próby ruchowe dla następujących punktów pracy:

- .1 100% mocy (moc MCR) – przy znamionowej prędkości obrotowej n_o – co najmniej przez 60 min.;
- .2 110% mocy przy obrotach $n = 1,032n_o$: zapisy należy dokonywać po 15 minutach lub po ustabilizowaniu pracy silnika, przyjmując czas krótszy;

Uwaga:

Próba wymagana jest tylko raz dla każdej indywidualnej konfiguracji silnik/turbodoładowarka.

- .3 Zatwierdzone przerywane przeciążenie (jeśli ma zastosowanie): czas trwania uzgodniony z producentem;
- .4 90% (lub normalna stała moc eksploatacyjna), 75%, 50% i 25% mocy – zgodnie z teoretyczną krzywą śrubową, kolejność powinna być dobrana przez producenta silnika;
- .5 próbę nawrotów (jeśli ma zastosowanie)

Uwaga:

Po zakończeniu prób na hamowni układ podawania paliwa należy wyregulować tak, aby w czasie eksploatacji nie mogła być przekazywana moc przeciążenia, chyba że okresowe przeciążenie mocą jest zatwierdzone przez PRS. W tym przypadku układ podawania paliwa powinien być zablokowany do tej mocy.

2.3.2 Silniki napędzające prądnice napędu elektrycznego

Należy przeprowadzić próby ruchowe dla następujących punktów pracy:

- .1 100% mocy (moc znamionowa MCR) – przy właściwej prędkości obrotowej n_o , – co najmniej 60 min.;
- .2 110% mocy – przy prędkości obrotowej n_o : 15 minut – po osiągnięciu stanu stabilnej pracy silnika;
- .3 Należy przeprowadzić próby regulatora obrotów na zgodność z UR M3.1 oraz M3.2.
- .4 75%, 50%, 25% mocy oraz nieobciążony, kolejność powinna być dobrana przez producenta silnika.

Uwaga:

Po zakończeniu prób na hamowni układ podawania paliwa należy wyregulować tak, aby w czasie eksploatacji po zainstalowaniu na statku możliwe było obciążenie silnika pełną mocą z dodatkowym 10% marginesem na regulację przejściową. Wymagana jest zdolność do przejściowego przeciążenia tak, aby wymagane charakterystyki regulacji przejściowej były osiągnięte także przy pełnym (100%) obciążeniu silnika oraz aby system zabezpieczenia stosowany w elektronicznym systemie rozdziału mógł być aktywowany przed zgaśnięciem silnika.

2.3.3 Silniki napędzające prądnice mechanizmów pomocniczych

Próby należy przeprowadzić w zakresie takim, jak podano w 2.3.2.

2.3.4 Silniki główne napędzające dodatkowo prądnice pobierające moc (PTO)

- .1 100% mocy (moc znamionowa MCR) – przy właściwej prędkości obrotowej n_0 , – co najmniej 60 min;
- .2 110% mocy – przy prędkości obrotowej n_0 : 15 minut – po osiągnięciu stanu stabilnej pracy silnika;
- .3 zatwierdzone przerywane przeciążenie (jeśli ma zastosowanie): czas trwania uzgodniony z producentem;
- .4 90% lub normalna stała moc eksploatacyjna, 75%, 50% i 25% mocy – zgodnie z teoretyczną krzywą śrubową lub przy stałej prędkości n_0 , kolejność powinna być dobrana przez producenta silnika;

Uwaga: Po zakończeniu prób na hamowni układ dopływu paliwa należy wyregulować tak, aby w czasie eksploatacji po zainstalowaniu na statku możliwe było obciążenie silnika pełną mocą z dodatkowym marginesem na regulację przejściową. Wymagana jest zdolność do przejściowego przeciążenia tak, aby elektryczne zabezpieczenie elementów systemu dopływu paliwa mogło być aktywowane przed zgaśnięciem silnika. Można przyjąć margines 10% mocy silnika, ale nie mniej niż 10% mocy (PTO).

2.3.5 Silniki napędów pomocniczych

- .1 100% mocy (moc znamionowa MCR) – przy znamionowej prędkości obrotowej n_0 , – co najmniej 30 min;
- .2 110% mocy przy prędkości obrotowej n_0 : 15 minut – po osiągnięciu stanu stabilnej pracy silnika;
- .3 zatwierdzone okresowe przeciążenie (jeśli ma zastosowanie): czas trwania uzgodniony z producentem;
- .4 dla silników o zmiennych prędkościach obrotowych, 75%, 50% i 25% mocy zgodnie z teoretyczną krzywą śrubową lub przy stałej prędkości n_0 , kolejność powinna być dobrana przez producenta silnika.

Uwaga: Po zakończeniu prób na hamowni układ dopływu paliwa należy wyregulować tak, aby w czasie eksploatacji nie mogła być przekazywana moc przeciążenia, chyba że zatwierdzono okresowe przekazywanie takiej mocy. W takim przypadku układ dopływu paliwa powinien być zablokowany do tej mocy.

2.3.6 Dopasowanie turbodoładowarki do silnika

2.3.6.1 Turbodoładowarki powinny posiadać taką charakterystykę sprężarki aby silnik, do którego jest przeznaczona pracował bez niestateczności obrotów w każdych warunkach, a także po przedłużonym działaniu. W warunkach odbiegających od normy, nawet jeśli są dozwolone, takich jak brak zapłonu i nagły spadek mocy, nie powinna występować ciągła niestateczność pracy.

Uwaga: niestateczność pracy oznaczają zjawisko, które przejawia się drganiami o wysokiej częstotliwości na poziomie słyszalności lub wybuchu, podobnym do odgłosów z rejonu przedmuchu silnika. Ciągłość niestateczności obrotów oznacza, że występuje ona powtarzając się i niejednokrotnie.

2.3.6.2 Turbodoładowarki kategorii C stosowane przy silnikach głównych należy sprawdzić pod względem bezpiecznego zapasu dla statecznej pracy podczas prób silników u producenta,

w sposób podany niżej. Od prób tych można odstąpić w przypadku, gdy wcześniejsze próby przy identycznej konfiguracji silnika z turbodoładowarką zostały zakończone z wynikiem pozytywnym (włącznie z niektórymi pierścieniami dysz).

Uwaga: Parametrem kategorii turbodoładowarek (A, B, C) jest moc silnika (MCR) dostarczona przez grupę cylindrów obsługiwaną przez aktualną turbodoładowarkę (np. dla silnika w układzie widlastym z jedną turbodoładowarką na każdy rząd jest to połowa całkowitej mocy silnika). W przypadku turbodoładowarek kategorii C, moc silnika (MCR) dostarczona przez grupę cylindrów jest większa niż 2500 kW (patrz UR M73).

Dla silników czterosurowych

Należy wykonać następujące działania bez wskazywania niestateczności pracy:

- .1 przy maksymalnej stałej mocy i prędkości obrotowej (100%), należy zmniejszyć prędkość przy stałym momencie obrotowym (wskaźnik paliwowy) do 90 % mocy;
- .2 przy 50% mocy i 80 % prędkości obrotowej (charakterystyka pędnika ze stałym skokiem), prędkość obrotową należy zmniejszyć do 72% utrzymując stały moment obrotowy (wskaźnik paliwowy).

Dla silników dwusurowych

Zapas statecznej pracy powinien być wykazany przy pomocy co najmniej jednej z poniższych metod:

- .1 wykres charakterystyki pracy silnika ustalonej podczas jego prób u producenta powinien znaleźć się na mapie sprężarki (opracowanej dla turbodoładowarki na stanowisku prób). Należy przyjąć zapas statecznej pracy sprężarki co najmniej 10 % w zakresie obciążenia paliwem, tj. przepływ roboczy powinien wynosić 10% powyżej przepływu teoretycznego (wagowego) w granicy niestatecznej pracy (bez zmian ciśnienia);
- .2 nagłe odcięcie dopływu paliwa do co najmniej jednego cylindra nie powinno powodować ciągłej niestabilności przepływu a praca turbodoładowarki powinna być w ciągu 20 sekund ustabilizowana w nowym punkcie pracy. Dla zastosowań z więcej niż jedną turbodoładowarką dopływ paliwa powinien być odcięty do cylindrów, które znajdują się powyżej każdej turbodoładowarki i najbliższej niej.

Próba powinna być przeprowadzona przy dwu różnych obciążeniach silnika:

- maksymalna moc dopuszczalna przy braku zapłonu z jednego cylindra;
 - obciążenie silnika odpowiadające ciśnieniu powietrza doładowującego około 0,6 bara (bez pracy dmuchaw pomocniczych);
- .3 nieciągła niestateczność pracy i turbodoładowarka powinna być w ciągu 20 sekund ustabilizowana w nowym punkcie pracy po nagłym zredukowaniu mocy ze 100% na 50% maksymalnej mocy ciągłej.

2.4 Próby na statku

2.4.1 Należy wykonać czynności rozruchowe, aby potwierdzić że czynniki rozruchowe mają zdolność wykonania wymaganej liczby rozruchów.

2.4.2 Instalacje monitorowania i alarmu należy sprawdzić w pełnym zakresie dla wszystkich silników, z wyjątkiem elementów już sprawdzonych podczas prób u producenta.

2.4.3 Należy wykazać odpowiedniość silnika do pracy z użyciem paliw, które mają być stosowane.

Uwaga: na mocy przepisów konwencyjnych mogą być wymagane próby inne niż wymieniono poniżej (np. weryfikacja wskaźnika efektywności energetycznej EEDI).

2.4.4 Obciążenia próbne dla różnych zastosowań silnika podano poniżej. Dodatkowo, zakres prób może być rozszerzony w zależności od zastosowania silnika, doświadczeń eksploatacyjnych lub innych odpowiednich przyczyn. W przypadku potrzeby rozpatrzenia specjalnych warunków eksploatacyjnych, takich jak holowanie, trałowanie itp., zakres prób może ulec rozszerzeniu.

2.4.5 Silniki główne do napędu stałych śrub napędowych lub wirników

- .1 przy prędkości znamionowej n_o – przez co najmniej 4 godziny;
- .2 przy prędkości znamionowej $n = 1.032 n_o$ (jeśli pozwala na to regulacja silnika – patrz 2.3.1.2) – 30 minut;
- .3 przy zatwierdzonym przeciążeniu przerywanym (jeśli ma zastosowanie): czas trwania uzgodniony z producentem;
- .4 należy określić minimalną prędkość obrotową;
- .5 należy wykazać zdolność silników nawrotnych do pracy w kierunku odwrotnym.

Uwaga: Podczas próby zatrzymywania, dodatkowe wymagania w przypadku zakresu obrotów zabronionych patrz 2.4.9.

2.4.6 Silniki główne do napędu śrub ze skokiem zmiennym

- .1 przy prędkości znamionowej n_o przy skoku śruby prowadzącym do znamionowej mocy (lub do maksymalnej mocy uzyskiwanej jeśli 100% mocy nie może być osiągnięte) – przez co najmniej 4 godziny;
- .2 przy zatwierdzonym przeciążeniu przerywanym (jeśli ma zastosowanie): czas trwania uzgodniony z producentem;
- .3 przy skoku ujemnym odpowiednim do manewrowania, dodatkowe wymagania w przypadku zakresu obrotów zabronionych patrz 2.4.9;

2.4.7 Silniki napędzające prądnice przeznaczone do napędu elektrycznego i/lub głównego zasilania

- .1 przy mocy 100 % (znamionowa moc elektryczna prądnicy) – przez co najmniej 60 minut;
- .2 przy mocy 110% (znamionowa moc elektryczna prądnicy) – przez co najmniej 10 minut;

Uwaga:

Każdy silnik należy poddać próbie przy mocy elektrycznej 100% przez co najmniej 60 minut i przy mocy równej 110% mocy znamionowej prądnicy przez co najmniej 10 minut. Może to być, jeśli to możliwe, wykonane podczas próby napędu elektrycznego, które powinno być poddane próbie przy 100% mocy napędu (tj. całkowitej mocy silnika elektrycznego) przez rozdział mocy na możliwie niewielką liczbę prądnic. Czas trwania tej próby powinien być wystarczający do uzyskania stałej temperatury pracy wszystkich urządzeń wirujących lub przez co najmniej 4 godziny. W przypadku gdy ze względu na niewystarczający czas niektóre z zespołów prądotwórczych nie mogą być poddane próbie podczas w/w badania systemu napędowego, próby te powinny być przeprowadzone oddzielnie.

- .3 wykazanie zdolności silników napędzających prądnice oraz regulatorów obrotów do poprawnej pracy przy różnych obciążeniach opisanych w UR M3.2.

2.4.8 Silniki napędu prądnic wałowych (PTO)

- .1 100% mocy silnika (moc znamionowa MCR) przy właściwej prędkości obrotowej n_o , – co najmniej 4 godziny;
- .2 100% mocy pędnika przy prędkości obrotowej silnika n_o : 2 godziny (jeśli nie zostało to już objęte próbami w .1);
- .3 100 % mocy PTO prądnicy wałowej przy prędkości obrotowej n_o : co najmniej jedna godzina.

2.4.9 Silniki napędu urządzeń pomocniczych

- .1 100% mocy silnika (moc znamionowa MCR) przy właściwej prędkości obrotowej n_0 , – co najmniej 30 minut;
- .2 przy zatwierdzonym przeciążeniu przerywanym: czas trwania: zgodnie z zatwierdzeniem.

2.4.10 Drgania skrętne

2.4.10.1 W przypadku wymaganego zakresu obrotów zabronionych (barred speed range (bsr)), należy zademonstrować przejścia przez ten zakres zarówno przyspieszające jak i opóźniające. Uzyskane czasy należy zanotować i powinny one być równe lub mniejsze od tych czasów, które podano w zatwierdzonej dokumentacji, jeśli istnieją. Obejmuje to także przypadek przechodzenia przez zakres obrotów zabronionych w odwrotnym kierunku obrotów, szczególnie podczas próby zatrzymywania.

Uwaga: Dotyczy to zarówno ręcznych jak i automatycznych systemów przechodzenia przez ten zakres obrotów.

2.4.10.2 Należy odnotować zanurzenie i prędkość statku podczas wszystkich tych demonstracji. W przypadku śrub ze zmiennym skokiem, należy także odnotować skok śruby.

Silnik należy sprawdzić ze względu na stabilną pracę (stały wskaźnik paliwa) zarówno w górnej jak i dolnej granicy zakresu obrotów zabronionych. Stały wskaźnik paliwa oznacza zakres wahań poniżej 5% skutecznego skoku (w zakresie od biegu jałowego to pełnej mocy).

3 SILNIKI DWUPALIWOWE ORAZ SILNIKI GAZOWE

3.1 Postanowienia ogólne

Zastosowanie mają następujące definicje:

Silnik dwupaliwowy (silnik DF) – silnik, który może spalać gaz ziemny jako paliwo równocześnie z paliwem ciekłym, jako paliwo pilotowe lub większą ilość paliwa ciekłego (w trybie gazowym) i ma także zdolność pracy przy zasilaniu jedynie ciekłym paliwem dieslowskim (tryb dieslowski).

Silnik gazowy (silnik GF) – silnik zdolny do pracy jedynie przy zasilaniu paliwem gazowym i który nie może być przełączany na zasilanie paliwem olejowym.

Dolna wartość opałowa (Lower Heating Value (LHV)) – ilość ciepła wytworzona z całkowitego spalania określonej ilości paliwa, z wyłączeniem utajonego ciepła parowania wody.

Liczba metanowa – miara odporności paliwa gazowego na spalanie stukowe, wyznaczona dla paliwa testowego w oparciu o działanie w zespole prób stukowych, przy tej samej standardowej intensywności stukania.

3.2 Próby typu

3.2.1 Postanowienia ogólne

Próby typu silników DF oraz GF powinny być przeprowadzane z uwzględnieniem dodatkowych poniższych wymagań.

3.2.2 Typ silnika

Typ silnika definiowany jest poprzez kryteria podane w 1.1.3 oraz dodatkowo przez:

- .1 metodę dopływu gazu (bezpośredni wtrysk do cylindra, przestrzeń powietrza doładowującego lub wstępne zmieszanie)
- .2 działanie zaworu dopływu gazu (sterowanie mechaniczne lub elektroniczne)

- .3 system zapłonu (wtrysk pilotowy, zapłon iskrowy, świeca żarowa lub samozapłon gazu)
- .4 system zapłonu (sterowanie mechaniczne lub elektroniczne)

3.2.3 Środki bezpieczeństwa

Oprócz zapewnienia środków bezpieczeństwa podanych w 1.1.6, przed rozruchem silnika należy wykonać czynności potwierdzające gazoszczelność rurociągu paliwa gazowego.

3.2.4 Program prób

Próby typu silnika powinny być przeprowadzone zgodnie z 1.1.7.

W przypadku silników DF, należy przeprowadzić próby obciążenia podane w 1.1.7 w trybie zasilania gazowego, przy różnych wartościach procentowych maksymalnej mocy uzyskiwanej w tym trybie*

Uwaga: * Maksymalna moc stała, którą silnik DF może uzyskać w trybie zasilania gazowego może być niższa niż jego zatwierdzona moc znamionowa MCR (tj. w trybie zasilania paliwem olejowym), szczególnie w zależności od jakości gazu.

Moc maksymalna osiągnięta w trybie zasilania gazowego oraz odpowiadające warunki powinny być podane przez producenta silnika i wykazane podczas próby typu.

Podczas prób typu Etapu B nie jest wymagana weryfikacja wpływu liczby metanowej oraz wartości LHV paliwa gazowego. Powinien on być jednak uzasadniony przez projektanta silnika poprzez próby lub obliczenia wewnętrzne oraz udokumentowany w sprawozdaniu z prób **zatwierdzenia** typu.

3.2.5 Pomiary i zapisy

Należy wykonać pomiary i zapisy wymagane w 1.2, a dodatkowo pomiary i zapisy poniższych danych dotyczących silników.

- .1 każdy indeks paliwowy dla gazu i paliwa dieslowego, jeśli ma to zastosowanie (lub odczyt równoważny),
- .2 ciśnienie i temperatura gazu na wejściu kolektora gazowego,
- .3 stężenie gazu w skrzyni korbowej.

Wymagane mogą być dodatkowe pomiary w związku z oceną projektu.

3.2.6 Etap A – próby wewnętrzne

Należy wykonać próby wymagane w 1.3, oraz dodatkowo następujące próby:

- .1 silniki DF powinny pracować z obciążeniami określonymi w 1.3, zarówno w trybie zasilania gazowego jak i zasilania dieslowego (z wtryskiem pilotowym w eksploatacji oraz bez niego), na ile ma to zastosowanie dla danego typu silnika.
- .2 w przypadku silników DF ze zmiennym stosunkiem paliwo ciekłe/gazowe, próby pod obciążeniem należy przeprowadzać przy różnych proporcjach mieszczących się pomiędzy dopuszczalnymi wartościami minimalną i maksymalną.
- .3 w przypadku silników DF, przełączenie pomiędzy trybami zasilania gazem i paliwem dieslowskim należy poddać próbom przy różnych obciążeniach.

3.2.7 Etap B – próby pod nadzorem inspektora

3.2.7.1 Postanowienia ogólne

Silniki gazowe powinny być poddawane różnym próbom wymaganym w 1.4.

W przypadku silników DF, należy przeprowadzić próby dla wszystkich obciążeń w trybie zasilania gazowego i dieslowskiego, które mają zastosowanie do tego typu silnika, określonych przez projektanta silnika (patrz 3.1.4). Ma to także zastosowanie do próby nadobrotów.

W przypadku silników DF ze zmiennym stosunkiem paliwo ciekłe/gazowe, próby pod obciążeniem należy przeprowadzać przy różnych proporcjach mieszczących się pomiędzy dopuszczalnymi wartościami minimalną i maksymalną.

3.2.7.2 Próby funkcjonalne

Należy wykonać próby funkcjonalne wymagane w 1.4.2 oraz dodatkowo poniższe próby:

- w przypadku silników DF, należy zweryfikować najniższą określoną prędkość w trybie zasilania dieslowskiego oraz zasilania gazowego,
- w przypadku silników DF, należy poddać próbom przełączanie pomiędzy oboma trybami zasilania przy różnych obciążeniach.
- należy zweryfikować skuteczność urządzeń wentylacyjnych systemu rurociągów gazowych o podwójnych ścianach,
- przeprowadzić symulację wycieku gazu w rejonie zaworu dopływu gazu do cylindra

Silniki przeznaczone do wytwarzania energii elektrycznej należy poddać następującym próbom:

- zdolność do przejścia nagłego obciążenia oraz utraty obciążenia, zgodnie z postanowieniami UR M3.2.3
- w przypadku silników GF oraz ze wstępnym zmieszaniem, należy w sposób teoretyczny określić i podać w sprawozdaniu z prób wpływ wartości LHV, liczbę metanową oraz warunki środowiskowe dotyczące wyników prób związanych z odpowiedzią na obciążenia dynamiczne. W nawiązaniu do ograniczeń podanych w UR M78 2.1.2, należy określić margines akceptowalnej odpowiedzi na obciążenia dynamiczne.

Uwaga:

1. W przypadku silników DF, podczas próby akceptowalne jest przełączenie na paliwo olejowe,
2. Zastosowanie obciążenia elektrycznego w ponad 2 etapach obciążeń jest dopuszczalne w warunkach podanych w UR M3.2.3.

3.2.7.3 Próby zintegrowania

Silniki GF oraz DF powinny być poddane próbom zintegrowania, w celu potwierdzenia, że reakcja kompletnego systemu mechanicznego, hydraulicznego i elektronicznego jest taka jaką założono dla wszystkich przewidywanych trybów pracy. Zakres tych prób należy uzgodnić z PRS dla wybranych przypadków, w oparciu o analizę ryzyka i powinien on obejmować co najmniej następujące przypadki:

- .1 awaria zapłonu (system zapłonu iskrowego lub wtrysku pilotowego), zarówno w przypadku awarii zespołu jednego cylindra, jak i całego systemu
- .2 awaria zaworu dopływu gazu do cylindra
- .3 awaria spalania (wykrywane przez np. brak zapłonu, stukanie, odchylenia temperatury gazów wylotowych, itp.)
- .4 ciśnienie gazu odbiegające od normalnego
- .5 temperatura gazu odbiegająca od normalnej¹⁾

Uwaga: ¹⁾ Próba ta może być przeprowadzona przy użyciu sygnału symulacyjnego temperatury

3.2.8 Etap 3 – Oględziny części silnika

Oględziny należy przeprowadzać zgodnie z postanowieniami 1.5.

Części poddawane oględzinom po próbie działania powinny obejmować także:

- .1 zawór dopływu gazu, włącznie z komorą wstępną, na ile ma to zastosowanie,
- .2 moduł zapłonu iskrowego (silniki GF),
- .3 zawór pilotowego wtrysku paliwa ciekłego (silniki DF).

3.3 Odbiory fabryczne

3.3.1 Postanowienia ogólne

Próby na stanowisku u producenta silników DF oraz GF powinny być przeprowadzane z uwzględnieniem dodatkowych poniższych wymagań.

W przypadku silników DF, próby pod obciążeniem określone w 2.3 należy przeprowadzać w trybie zasilania gazowego przy różnych wartościach procentowych mocy maksymalnej występującej w tym trybie.

3.3.2 Środki bezpieczeństwa

Przed rozruchem silnika należy przewidzieć środki bezpieczeństwa wspomniane w 1.1.6.1 oraz czynności w celu potwierdzenia, że rurociąg gazowy silnika jest gazoszczelny.

3.3.3 Zapisy

Należy prowadzić zapisy wymagane w 2.2 oraz następujące zapisy dotyczące danych silnika:

- .1 indeks paliwowy, zarówno dla zasilania gazowego jak i dieslowego, na ile ma to zastosowanie (lub odczyty równoważne),
- .2 ciśnienie i temperatura gazu.

3.3.4 Obciążenia próbne

Obciążenia próbne dla różnych zastosowań silnika podano w 2.3. Silniki DF należy poddać próbom w obu trybach (zasilania dieslowego i gazowego), na ile ma to zastosowanie. Zakres prób może być rozszerzony ze względu na zastosowanie silnika, doświadczenia z eksploatacji lub z innych względów.

3.3.5 Próby zintegrowania

Silniki GF oraz DF powinny być poddane próbom zintegrowania, w celu potwierdzenia, że reakcja kompletnego systemu mechanicznego, hydraulicznego i elektronicznego jest taka jaką założono dla wszystkich przewidywanych trybów pracy.

Zakres tych prób należy uzgodnić z PRS dla wybranych przypadków, w oparciu o analizę ryzyka i powinien on obejmować co najmniej następujące przypadki:

- .1 awaria zapłonu (system zapłonu iskrowego lub wtrysku pilotowego), w przypadku awarii zespołu **jednego cylindra**,
- .2 awaria zaworu dopływu gazu do cylindra
- .3 awaria spalania (wykrywane przez np. brak zapłonu, stukanie, odchylenia temperatury gazów wylotowych, itp),
- .4 ciśnienie gazu odbiegające od normalnego,
- .5 temperatura gazu odbiegająca od normalnej.

Powyższe próby mogą być przeprowadzone przy zastosowaniu metod symulacyjnych lub innych metod alternatywnych, po specjalnym rozpatrzeniu przez PRS.

3.4 Próby na statku

Próby na statku powinny być wykonywane zgodnie z postanowieniami 2.4.

W przypadku silników DF, próby pod obciążeniem wymagane w 2.4.4 należy przeprowadzać we wszystkich trybach operacyjnych (tryb zasilania gazowego, tryb zasilania dieslowego, itp.).

W przypadku silników dwupaliwowych, próby obciążenia wymienione w 2.4.4 powinny być przeprowadzone w trybie zasilania gazem przy różnej procentowej wartości mocy maksymalnej dostępnej w tym trybie. Próby obciążenia 110% nie są wymagane w trybie zasilania gazowego silników dwupaliwowych.

4 PROCEDURA PRÓB TYPU URZĄDZEŃ PRZECIWWYBUCHOWYCH KOLEKTORÓW WLOTU POWIETRZA DO SPALANIA ORAZ SPALIN SILNIKÓW SPALINOWYCH WYKORZYSTUJĄCYCH GAZ JAKO PALIWO TYPE

4.1 Postanowienia ogólne

W rozdziale tym przedstawiono procedurę prób urządzeń przeciwwybuchowych instalowanych w kolektorach wlotu powietrza do spalania oraz wylotu spalin silników spalinowych wykorzystujących gaz jako paliwo.

4.2 Definicje

Definicje związane z paliwem gazowym podano w rozdziale 3.

Urządzenie przeciwwybuchowe (Explosion relief device (ERD)) oznacza urządzenie zabezpieczające element przed nadciśnieniem występującym w przypadku wybuchu gazu. Urządzenie wyposażone jest w łapacz płomieni i może występować jako zawór, płytką bezpieczeństwa lub w innej stosowanej postaci.

4.3 Dokumentacja

Przed rozpoczęciem prób, należy przedstawić następującą dokumentację dotyczącą urządzenia przeciwwybuchowego do zatwierdzenia:

- .1 rysunki (przekroje, szczegóły, rysunek zestawieniowy, itp.)
- .2 kartę danych technicznych, z uwzględnieniem warunków eksploatacyjnych oraz ograniczeń projektowych, takich jak:
 - maksymalne dopuszczalne ciśnienie robocze, wynikające z maksymalnego ciśnienia powietrza doładowującego lub ciśnienia wstecznego spalin
 - maksymalna dopuszczalna temperatura robocza, wynikająca z maksymalnej temperatury powietrza doładowującego lub temperatury spalin
 - statyczne ciśnienie otwierające, wynikające z maksymalnego ciśnienia powietrza doładowującego lub ciśnienia wstecznego spalin
 - maksymalne ciśnienie eksplozyjne, tj. maksymalne ciśnienie, które może wytrzymać urządzenie
 - geometryczna powierzchnia przelotu,
- .3 oznaczenie wyrobu;
- .4 podręcznik instalacji i obsługi;
- .5 program prób;
- .6 specyfikacja zbiornika testowego.

4.4 Próby

4.4.1 Obiekty do prób

Urządzenie przeciwwybuchowe (ERD) wykorzystywane w czasie prób wybuchowości powinno być wybrane z linii produkcyjnej wytwórcy przez przedstawiciela PRS:

- jako gotowy certyfikowany komponent, lub
- jako próbka pobrana na wcześniejszych etapach produkcji komponentu, tam gdzie ma to zastosowanie.

Jeśli jest to niezbędne, może być potrzebne pobranie dodatkowego urządzenia do wykazania ciśnienia otwierającego. Wybrane urządzenie powinno być jednoznacznie oznaczone.

Jeśli ma to zastosowanie, wybrane urządzenie przeciwwybuchowe powinno być reprezentatywne dla danego typoszeregu oraz warunków eksploatacyjnych, z uwzględnieniem na przykład:

- rodzaju urządzenia (zawór, płytko bezpieczeństwa, itp.),
- orientacji montażu (pionowa, pozioma)
- konstrukcji urządzenia (np. konstrukcja sprężynowa, uszczelnienie)
- konstrukcji łapacza płomieni
- urządzenia ERD, które ma być zainstalowane w kolektorze wlotu powietrza lub kolektorze spalin silnika posiadającego turbosprężarkę, o właściwościach według warunków prób opisanych w 4.4.3.2.

Dobór reprezentatywnego urządzenia przeciwwybuchowego podlega zatwierdzeniu przez PRS.

4.4.2 Wykazanie ciśnienia otwierającego

Wybrane do prób urządzenie powinno być poddane próbie ciśnieniowej w zakładzie producenta, w celu wykazania, że statyczne ciśnienie otwierające utrzymywane jest w przedziale podanym w specyfikacji producenta oraz że urządzenie pozostaje szczelne przy maksymalnym dopuszczalnym ciśnieniu eksploatacyjnym przez co najmniej 30 sekund.

4.4.3 Próba wybuchowości

4.4.3.1 Stanowisko do prób

Stanowisko do prób powinno być poddane akredytacji zgodnie z krajową lub międzynarodową normą, np. ISO/IEC 17025:2017 i powinno być akceptowalne dla PRS.

Stanowisko do prób powinno być wyposażone tak, aby umożliwiało wykonanie oraz rejestrowanie prób wybuchowości zgodnie z tą procedurą.

Stanowisko do prób powinno posiadać wyposażenie do kontroli oraz pomiaru stężenia gazu metanowego w zbiorniku testowym, z dokładnością $\pm 0.1\%$.

Stanowisko do prób powinno umożliwiać skuteczny punktowy zapłon mieszanki metanu z powietrzem.

Urządzenia stanowiska do prób powinny umożliwiać pomiar oraz rejestrację zmian ciśnienia w czasie trwania próby wybuchowości z częstotliwością, która pozwala rozpoznać szybkość zdarzeń podczas wybuchu (co najmniej 10 kHz).

Próba wybuchowości (patrz 4.4.3.5) powinna być dokumentowana poprzez wideozapis o dużej szybkości (co najmniej 250 klatek/s). Zapis wideo powinien być zaopatrzony w stempel potwierdzający czas zapisu.

4.4.3.2 Zbiornik testowy

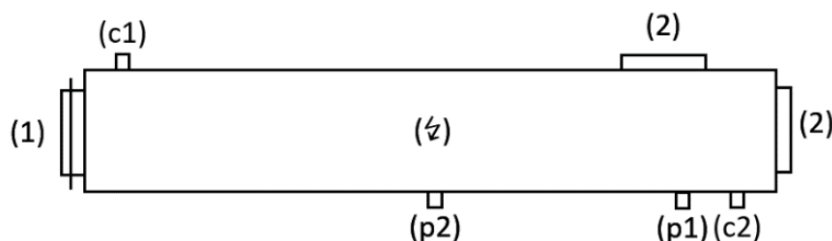
Zbiornik testowy jest uproszczonym modelem kolektora wlotu powietrza lub wylotu spalin. Należy uwzględnić swobodną powierzchnię podłączonej turbosprężarki (sprężarki lub koła turbinowego).

Zbiornik testowy powinien spełniać poniższe wymagania:

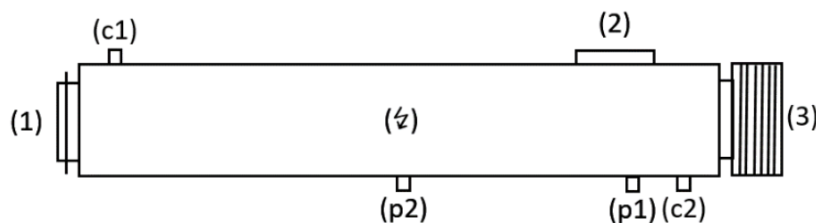
- kształt zbiornika powinien wyobrażać rurę o proporcjach wymiarowych $L/D \geq 10$.
- zbiornik powinien posiadać na jednym z końców płytkę bezpieczeństwa symulującą turbosprężarkę. Powierzchnia przelotu płytki bezpieczeństwa powinna być zależna od średnicy zbiornika testowego zgodnie z danymi producenta turboładowarki dotyczącymi równoważnej powierzchni przepływu sprężarki lub koła turbinowego. Ciśnienie otwierające może różnić się do $\pm 10\%$ od statycznego ciśnienia otwierającego urządzenia wybuchowego.
- objętość zbiornika testowego powinna odpowiadać specyficznej powierzchni przelotu urządzenia wybuchowego $700 \text{ cm}^2/\text{m}^3 \pm 15\%$.
- zbiornik testowy powinien posiadać wszystkie niezbędne kołnierze oraz przyłącza do zamontowania urządzenia przeciwybuchowego w potrzebnej pozycji, do zamontowania płytki bezpieczeństwa symulującej turbosprężarkę, do przyłączenia zasilania mieszanki metanu z powietrzem oraz zainstalowania aparatury pomiarowej.
- zapłon powinien być inicjowany w środku zbiornika testowego.
- konstrukcja zbiornika powinna pozwalać na zweryfikowanie jednorodnej mieszanki metanu z powietrzem wewnątrz zbiornika testowego.
- zbiornik testowy powinien posiadać przyłączenia do aparatury pomiaru ciśnienia w zbiorniku w co najmniej dwu miejscach, jednym przy urządzeniu i drugim w centralnym miejscu zbiornika.
- ciśnienie projektowe zbiornika testowego powinno być nie mniejsze niż maksymalne ciśnienie eksplozyjne stechiometrycznej mieszanki powietrza i metanu w warunkach testowych w p. 4.4.3.6.
- konfiguracja zbiornika testowego podlega zatwierdzeniu przez PRS.

Typowa konfiguracja zbiornika testowego:

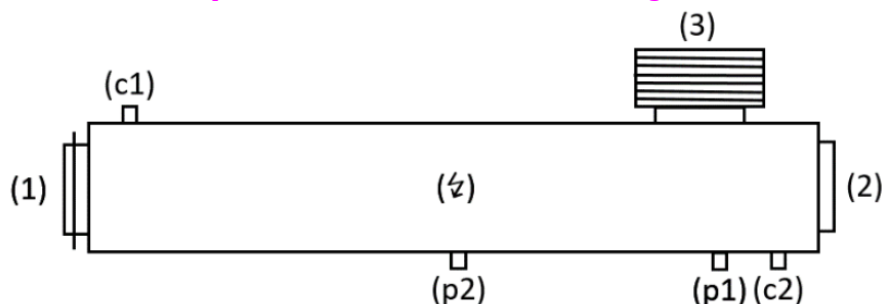
We wszystkich konfiguracjach zbiorniki testowe powinny posiadać na jednym z końców płytkę bezpieczeństwa (1) (symulacja turbosprężarki). Zapłon ma miejsce w centralnym punkcie zbiornika (z). Czujniki ciśnienia zamontowane są przy kołnierzach zaworów (p1) oraz na środku zbiornika (p2). Pomiar stężenia metanu w celu zweryfikowania jednorodnej mieszanki metanu z powietrzem może być przeprowadzony na obu końcach zbiornika testowego, np. (c1) oraz (c2).



Rysunek 2 Konfiguracja bez urządzenia przeciwybuchowego (ERD) (kołnierze ERD są zablokowane (2))



Rysunek 3 Konfiguracja z urządzeniem przeciwwybuchowym (ERD) (3) zamontowanym na przednim końcu zbiornika testowego



Rysunek 4 Konfiguracja z urządzeniem przeciwwybuchowym (ERD) (3) zamontowanym na górnej powierzchni zbiornika testowego

4.4.3.3 Proces próby wybuchowości

Próba wybuchowości powinna być wykonana w dwu etapach, zgodnie z 4.4.3.4 oraz 4.4.3.5 dla każdego urządzenia przeciwwybuchowego (ERD), dla którego wymagana jest do zatwierdzenia próba typu.

Próba wybuchowości powinna odbywać się z udziałem inspektora PRS.

Nadzorujący inspektor powinien otrzymać i poddać przeglądowi zapisy kalibracyjne przyrządów służących do zbierania danych.

4.4.3.4 Test referencyjny – próba wybuchowości bez użycia urządzenia ERD

Należy wykonać dwie próby wybuchowości w zbiorniku testowym bez użycie urządzenia ERD. Konfiguracja zbiornika została pokazana na rysunku 2.

Celem tego testu jest ustalenie referencyjnego poziomu ciśnienia w zbiorniku testowym, który może być wykorzystany do określenia zdolności zaworu przelewowego do upustu ciśnienia.

4.4.3.5 Próba wybuchowości z użyciem urządzenia ERD (Próba ERD)

Należy wykonać dwie próby wybuchowości w zbiorniku testowym z użyciem tego samego urządzenia ERD w wymaganym położeniu. Jeśli urządzenie ERD jest płytką bezpieczeństwa z łapaczem płomieni, płytka bezpieczeństwa powinna być wymieniona między próbami.

Jeśli na urządzeniu ERD zainstalowane mają być urządzenia osłonowe w celu odchylenia emisji produktów spalania wybuchu, urządzenie ERD powinno być poddane próbom z zamontowanymi urządzeniami osłonowymi.

Odpowiednia konfiguracja zbiornika testowego została pokazana na rysunku 3 lub 4.

4.4.3.6 Metodyka próby wybuchowości

Warunki prób powinny być zgodne z warunkami zamierzonego użycia urządzenia ERD, dotyczącymi:

- średnicy rury
- ciśnienia roboczego
- temperatury roboczej
- orientacji montażu.

Wszystkie próby wybuchowości powinny być przeprowadzone z użyciem mieszanki metanu i powietrza o stężeniu objętościowym metanu wynoszącym $9.5\% \pm 0.5\%$. Należy zweryfikować jednorodność mieszanki metanu z powietrzem wewnątrz zbiornika testowego. Stężenie metanu nie powinno różnić się o więcej niż 0.5%.

Ciśnienie wstępne w zbiorniku testowym powinno być równe określonymu maksymalnemu ciśnieniu roboczemu urządzenia ERD.

Temperatura wstępna w zbiorniku testowym powinna być równa określonej maksymalnej temperaturze roboczej urządzenia ERD.

Jeśli wstępne ciśnienie i/lub wstępna temperatura różnią się od wartości projektowych, wówczas producent urządzenia ERD powinien potwierdzić akceptację takich różnic przy zastosowaniu norm lub ogólnie stosowanych metod obliczeniowych.

Zapłon powinien być wykonany z zastosowaniem ładunku wybuchowego o wartości 50 - 100 Joule.

Kolejna próba wybuchowości potwierdzająca funkcjonalność urządzenia ERD powinna być przeprowadzona jak najszybciej przy stabilnych warunkach pogodowych.

Wzrosty lub spadki ciśnienia w czasie wszystkich prób wybuchowości powinny być rejestrowane.

Skutek działania urządzenia ERD w zakresie upustu ciśnienia po wybuchu można stwierdzić badając maksymalne ciśnienie zarejestrowane w centralnym punkcie zbiornika testowego w dwu etapach. Upust ciśnienia w obrębie zbiornika testowego ze względu na zainstalowanie urządzenia ERD stanowi różnica pomiędzy wartością przeciętną ciśnienia dwu wybuchów w teście referencyjnym (4.4.3.4) oraz wartością przeciętną dwu wybuchów z urządzeniem ERD (4.4.3.5).

Funkcjonowanie łapacza płomieni może być zaakceptowane gdy nie odnotowuje się płomienia lub spalania poza urządzeniem ERD w czasie jego prób (4.4.3.5). Wymaga to monitorowania za pomocą szybko działającej kamery wideo (4.4.3.1), której potencjał wykrywania płomienia/spalania zależy także od warunków oświetlenia pomieszczenia. Zalecane jest stosowanie przy tym ciemnego, idealnie matowego tła oraz unikanie bezpośredniego oświetlenia rejonu monitorowanego przez kamerę wideo.

Po zakończeniu każdej próby urządzenia ERD (4.4.3.5), należy zbadać zewnętrzny stan łapacza płomieni ze względu na oznaki uszkodzeń i/lub odkształceń, które mogą mieć wpływ na działanie urządzenia.

4.4.3.7 Sprawdzenie komponentów ERD

Po zakończeniu prób wybuchowości, urządzenie ERD powinno być zdemontowane i należy potwierdzić i udokumentować stan wszystkich jego komponentów.

4.5 Sprawozdanie z prób

Do PRS należy przekazać kompletne sprawozdanie z prób, zawierające

- parametry ciśnienia uruchamiającego (4.4.2) oraz
- próbę wybuchowości (4.4.3).

Sprawozdania powinny zawierać odpowiednie informacje zgodnie z wymaganiami 4.4, na ile ma to zastosowanie, na temat:

- obiektów próbnych;
- stanowiska testowego, włącznie z wyposażeniem pomiarowym oraz zbiornikiem testowym;
- wyników pomiarów (ciśnienia, temperatury, szybkości płomienia, objętościowych stężeń metanu, warunków otoczenia, itp.);
- dokumentacji wideo prób wybuchowości;
- dokumentacji fotograficznej komponentów urządzenia ERD.

4.6 Ocena

W celu zweryfikowania zgodności z powyższymi wymaganiami, ocena próby powinna dotyczyć:

Funkcjonowania oraz integralności mechanicznej urządzenia ERD.

- Po zdemontowaniu urządzenia ERD, łapacz płomieni nie powinien wykazywać oznak uszkodzenia lub innych odkształceń, które mogą mieć wpływ na działanie urządzenia.
- Jeśli korzystano z zaworu, należy uwzględnić każde wskazanie jego zacięcia się lub nierównego otwierania podczas wybuchu, które mogą mieć wpływ na późniejsze działanie zaworu.
- Mechaniczna integralność urządzenia ERD potwierdzana jest do maksymalnego ciśnienia wybuchowości (wartość przeciętna z dwu wybuchów) z prób urządzenia ERD w 4.4.3.5.
- Działanie łapaczy płomieni uznawane jest za zadowalające, jeśli nie ma oznak płomienia lub spalania poza urządzeniem w czasie prób wybuchowości.

4.7 Zatwierdzenie

Zatwierdzenie urządzenia ERD dokonywane jest na podstawie oceny planów oraz szczegółowych wyników prób oraz przeglądu sprawozdania z prób wybuchowości.

Zatwierdzenie ważne jest tylko dla urządzenia ERD zainstalowanego przy kolektorach wlotu powietrza lub wylotu spalin silnika z turbosprężarką posiadającą parametry sprężarki lub koła turbinowego odpowiadające wymaganym w 4.4.3.2 dla płytki bezpieczeństwa zbiornika testowego w zakresie powierzchni przepływu.

Wykaz zmian obowiązujących od 1 lipca 2024 roku

Pozycja	Tytuł/Temat	Źródło
Rozdział 4	Dodano nowy rozdział dotyczący procedury prób urządzeń przeciw-wybuchowych instalowanych w kolektorach wlotu powietrza do spalania oraz wylotu spalin silników spalinowych wykorzystujących gaz jako paliwo	UR M82