

Załącznik do obwieszczenia nr 7
Prezesa Urzędu Lotnictwa Cywilnego
z dnia 7 kwietnia 2021 r.

**Międzynarodowe normy
i zalecane metody postępowania**



Załącznik 16
do Konwencji
o międzynarodowym lotnictwie cywilnym

Ochrona środowiska

Tom II
Emisje z silników statków powietrznych

Niniejsze wydanie zawiera wszystkie poprawki
przyjęte przez Radę przed 21 lipca 2017 r.
i zastępuje od 20 listopada 2017 r. wszystkie
poprzednie wydania tomu II Załącznika 16.

Informacje na temat zakresu stosowania norm
i zalecanych metod postępowania znajdują się w przedmowie.

Wydanie czwarte
Lipiec 2017 r.

Organizacja Międzynarodowego Lotnictwa Cywilnego

Opublikowane w oddzielnych wydaniach w języku angielskim, francuskim, rosyjskim i hiszpańskim
przez ORGANIZACJĘ MIĘDZYNARODOWEGO LOTNICTWA CYWILNEGO
999 University Street, Montréal, Quebec, Canada H3C 5H7

Informacja na temat zamówień oraz kompletna lista agencji sprzedaży
i księgarzy znajduje się na stronie internetowej ICAO www.icao.int

Pierwsze wydanie 1981 r.

Drugie wydanie 1993 r.

Trzecie wydanie 2008 r.

Czwarte wydanie 2017 r.

Załącznik 16 – Ochrona środowiska

Tom II – Emisje z silników statków powietrznych

Numer zamówienia: AN16-2

ISBN 978-92-9231-123-0

© ICAO 2017

Wszystkie prawa zastrzeżone. Żaden fragment niniejszej publikacji nie może być powielany,
przechowywany w systemie wyszukiwania danych ani przekazywany w dowolnej formie lub poprzez
dowolny środek bez wcześniejszej pisemnej zgody Organizacji Międzynarodowego Lotnictwa
Cywilnego.

POPRAWKI

Wydanie poprawek jest ogłaszane w suplementach do *Catalogue of ICAO Publications*. Katalog i suplementy do niego są dostępne na stronie internetowej ICAO www.icao.int. Miejsce poniżej jest przeznaczone dla prowadzenia rejestru tych poprawek.

REJESTR POPRAWEK I BŁĘDÓW DRUKARSKICH

POPRAWKI			
Nr	Data stosowania	Data wprowadzenia	Wprowadzona przez
1-9	Włączone do tego wydania		
10	20/07/20	1/07/21	ICAO

BŁĘDY DRUKARSKIE			
Nr	Data wydania	Data wprowadzenia	Wprowadzona przez

SPIS TREŚCI

	<i>Strona</i>
Przedmowa	(ix)
Część I. DEFINICJE I SYMBOLE	I-1-1
ROZDZIAŁ 1. Definicje	I-1-1
ROZDZIAŁ 2. Symbole	I-2-1
Część II. UPUST PALIWA	II-1-1
ROZDZIAŁ 1. Postanowienia administracyjne	II-1-1
ROZDZIAŁ 2. Zapobieganie skutkom zamierzonego upustu paliwa	II-2-1
Część III. CERTYFIKACJA EMISJI	III-1-1
ROZDZIAŁ 1. Postanowienia administracyjne	III-1-1
ROZDZIAŁ 2. Silniki turbodoładowane i turbowentylatorowe, przeznaczone jako napęd tylko dla prędkości poddźwiękowych	III-2-1
2.1 Postanowienia ogólne	III-2-1
2.2 Dym	III-2-3
2.3 Emisje gazowe	III-2-3
2.4 Wymagane informacje	III-2-6
ROZDZIAŁ 3. Silniki turbodoładowane i turbowentylatorowe, przeznaczone jako napęd dla prędkości nadźwiękowych	III-3-1
3.1 Postanowienia ogólne	III-3-1
3.2 Dym	III-3-3
3.3 Emisje gazowe	III-3-3
3.4 Wymagane informacje	III-3-3
ROZDZIAŁ 4. Emisja części stałych.....	IV-4-1
4.1 Postanowienia ogólne	IV-4-1
4.2 Emisja niepalnych części stałych.....	IV-4-3
4.3 Wymagane informacje	IV-4-4
Część IV. OCENA NIEPALNYCH CZĘŚCI STAŁYCH DO CELÓW INWENTARYZACJI I MODELOWANIA.....	IV-1-1

DODATKI

DODATEK 1. Pomiar sprężu nominalnego	APP 1-1
1. Postanowienia ogólne	APP 1-1
2. Pomiar	APP 1-1
DODATEK 2. Ocena emisji dymu	APP 2-1
1. Wprowadzenie i definicje	APP 2-1
2. Pomiar emisji dymu	APP 2-1
3. Obliczanie zadymienia na podstawie zmierzonych danych	APP 2-6
4. Przedstawianie danych władzom certyfikującym	APP 2-6
DODATEK 3. Oprzyrządowanie i techniki pomiarowe do pomiaru emisji gazowych	APP 3-1
1. Wprowadzenie	APP 3-1
2. Definicje	APP 3-1
3. Wymagane dane	APP 3-2
4. Ogólna konfiguracja układu	APP 3-3
5. Opis części składowych	APP 3-3
6. Ogólne procedury prób	APP 3-5
7. Obliczenia	APP 3-7
Uzupełnienie A do dodatku 3. Wymagania dla analizatora HC	APP 3-13
Uzupełnienie B do dodatku 3. Wymagania dla analizatorów CO i CO ₂	APP 3-15
Uzupełnienie C do dodatku 3. Wymagania dla analizatora NO _x	APP 3-17
Uzupełnienie D do dodatku 3. Gazy wzorcowe i gazy odniesienia	APP 3-19
Uzupełnienie E do dodatku 3. Obliczanie parametrów emisji – podstawa, poprawki pomiarów i alternatywna metoda numeryczna	APP 3-21
Uzupełnienie F do dodatku 3. Wymagania dla dodatkowych danych	APP 3-27
DODATEK 4. Wymagania w zakresie paliwa używanego w badaniach emisji turbinowych silników statków powietrznych	APP 4-1
DODATEK 5. Oprzyrządowanie i techniki pomiarowe do pomiaru emisji gazowych z silników turbinowych z dopalaniem	APP 5-1
1. Wprowadzenie	APP 5-1
2. Definicje	APP 5-1
3. Wymagane dane	APP 5-2
4. Ogólna konfiguracja układu	APP 5-3
5. Opis części składowych	APP 5-3
6. Ogólne procedury prób	APP 5-6
7. Obliczenia	APP 5-8
Uzupełnienie A do dodatku 5. Wymagania dla analizatora HC	APP 5-15

Uzupełnienie B do dodatku 5. Wymagania dla analizatorów CO i CO ₂	APP 5-17
Uzupełnienie C do dodatku 5. Wymagania dla analizatora NO _x	APP 5-19
Uzupełnienie D do dodatku 5. Gazy wzorcowe i odniesienia	APP 5-21
Uzupełnienie E do dodatku 5. Obliczanie parametrów emisji – podstawa, poprawki pomiarów i alternatywna metoda numeryczna	APP 5-23
Uzupełnienie F do dodatku 5. Wymagania dla dodatkowych danych	APP 5-29
 DODATEK 6. Procedura zgodności w zakresie emisji gazów, dymu i cząstek stałych.....	APP 6-1
1. Postanowienia ogólne	APP 6-1
2. Procedury zgodności	APP 6-1
3. Procedura w przypadku braku zgodności	APP 6-3
 DODATEK 7. Oprzyrządowanie i techniki pomiarowe dla emisje nielotnych cząstek stałych.....	APP 7-1
1. Wprowadzenie....	APP 7-1
2. Definicje, skróty i symbole.....	APP 7-1
3. Wymagane dane.....	APP 7-5
4. Ogólny układ systemu pobierania próbek i pomiaru NVPM.....	APP 7-5
5. Ogólna procedura testu.....	APP 7-9
6. Obliczenia.....	APP 7-13
 Uzupełnienie A do dodatku 7. Wymagania i zalecenia dotyczące systemu pobierania próbek NVPM.....	APP 7-17
Uzupełnienie B do dodatku 7. Specyfikacja przyrządu do pomiaru masy NVPM i kalibracji.....	APP 7-23
Uzupełnienie C do dodatku 7. Specyfikacje i kalibracja przyrządu do usuwania cząstek lotnych i pomiaru liczby nvPM.....	APP 7-33
Uzupełnienie D do dodatku 7. Specyfikacje dla dodatkowych danych.....	APP 7-37
Uzupełnienie E do dodatku 7. Procedury działania systemu.....	APP 7-39
 DODATEK 8. Oprzyrządowanie i techniki pomiarowe dla emisje nielotnych cząstek stałych.....	APP 8-1
1. Postanowienia ogólne	APP 8-1
2. Definicje, skróty i symbole.....	APP 8-1
3. Wymagane dane	APP 8-4
4. Metodyka i procedura obliczeniowa korygująca straty w systemie nvPM	APP 8-5
5. Raportowanie i ograniczenia	APP 8-10
6. Procedura wyznaczania frakcji przenikania poszczególnych elementów układu poboru i pomiaru nvPM.....	APP 8-11

PRZEDMOWA

Tło historyczne

W 1972 r. odbyła się w Sztokholmie konferencja Narodów Zjednoczonych na temat środowiska życia człowieka. Na tej konferencji stanowisko ICAO rozwinęto w rezolucji Rady A18-11, która zawiera między innymi następujący punkt:

- „2. wypełniając tę rolę ICAO jest świadome niekorzystnego wpływu na środowisko, jaki może być związany z eksploatacją statków powietrznych, oraz odpowiedzialności swojej i Państw Członkowskich za osiągnięcie maksymalnej zgodności pomiędzy bezpieczeństwem i systematycznym rozwojem lotnictwa cywilnego a jakością środowiska życia człowieka;”

18 Zgromadzenie także przyjęło rezolucję A18-12 odnoszącą się do środowiska, stwierdzającą:

„ZGROMADZENIE:

1. Uprasza Radę, przy wsparciu i współpracy innych ciał Organizacji i innych organizacji międzynarodowych, do kontynuacji energicznych działań w zakresie rozwoju norm, zalecanych metod postępowania i procedur oraz/lub materiału przewodniego, dotyczącego jakości środowiska życia człowieka;”

Następstwem tej rezolucji było ustanowienie przez ICAO Programu działań wobec środowiska. Częścią tego programu działań było powołanie Grupy studyjnej, wspierającej Sekretariat w szeregu zadań związanych z emisjami z silników statków powietrznych. Rezultatem prac Grupy Studyjnej było wydanie w 1977 r. okólnika ICAO, zatytułowanego *Sprawdzanie emisji z silników statków powietrznych* (Circular 134). Okólnik ten zawierał materiał przewodni w formie procedur certyfikacyjnych, w celu sprawdzania upustu paliwa, zadymienia i emisji gazowych nowych silników turboodrzutowych i turbowentylatorowych, przeznaczonych jako napęd dla prędkości poddźwiękowych.

Rada ustaliła, że zagadnienie emisji z silników statków powietrznych nie będzie ograniczone jedynie do spraw ściśle technicznych, ale wymaga rozważenia przez specjalistów z wielu dziedzin i włączenia bezpośrednich ocen Państw Członkowskich. Komitet Rady, znany jako Komitet do spraw emisji z silników lotniczych (CAEE), został założony w 1977 r. w celu śledzenia licznych aspektów tego zagadnienia.

Na drugim posiedzeniu Komitetu do spraw emisji z silników lotniczych, które odbyło się w maju 1980 r., opracowano propozycje materiału, który można włączyć do Załącznika (Aneksu) ICAO. Po poprawkach, wynikających z konsultacji z Państwami Członkowskimi, proponowany materiał został przyjęty przez Radę w formie tekstu niniejszego dokumentu. Rada uzgodniła, że celowym jest zawarcie wszystkich postanowień, dotyczących lotniczych aspektów środowiska, w jednym Załączniku. W tym celu zmieniono tytuł Załącznika 16 na „Ochrona środowiska”, istniejący tekst Załącznika zawarto w „Tomie I - Hałas statków powietrznych”, a materiał zawarty w niniejszym dokumencie został wydany jako „Tom II - Emisje z silników statków powietrznych”.

Zakres stosowania

Część I tomu II Załącznika 16 zawiera definicje i symbole, a część II stanowią normy, odnoszące się do upustu paliwa. Część III zawiera normy dla certyfikacji emisji, stosowane do różnych klas silników statków powietrznych, określonych w poszczególnych rozdziałach tej części, zabudowanych na statkach powietrznych, użytkowanych w międzynarodowej żegludze powietrznej. Część IV zawiera normy i zalecane metody postępowania dotyczące oceny nielotnych cząstek stałych do celów inwentaryzacji i modelowania.

Działania Umawiających się Państw

Zgłaszanie różnic. Zwraca się uwagę Umawiających się Państw na obowiązek, nałożony przez artykuł 38 Konwencji, zgłaszania do Organizacji wszelkich różnic pomiędzy ich narodowymi przepisami i praktyką a międzynarodowymi normami, zawartymi w niniejszym Załączniku, i poprawkami do nich. Umawiające się Państwa są proszone o umieszczanie w tych zgłoszeniach wszelkich różnic w stosunku do zalecanych metod postępowania, zawartych w niniejszym Załączniku i poprawkach do niego, jeśli są one ważne dla bezpieczeństwa żeglugi powietrznej. Umawiające się Państwa są także proszone o bieżące informowanie Organizacji o różnicach, które mogą później wystąpić lub też o zlikwidowaniu poprzednio zgłoszonych różnic. Osobne wystąpienie o zgłaszanie różnic będzie przesyłane do Umawiających się Państw niezwłocznie po przyjęciu każdej poprawki do niniejszego Załącznika.

Zwraca się także uwagę Państw na postanowienia Załącznika 15, odnoszące się do publikowania przez służbę informacji lotniczej różnic pomiędzy ich narodowymi przepisami i praktyką a stosownymi normami i zalecanymi metodami postępowania, jako uzupełnienia do obowiązku nakładanego na Państwa postanowieniami artykułu 38 Konwencji.

Użycie tekstu Załącznika w przepisach narodowych. 13 kwietnia 1948 r. Rada przyjęła rezolucję zwracającą uwagę Umawiających się Państw na celowość użycia w ich własnych narodowych przepisach, tak daleko, jak to jest możliwe, ścisłych określeń zawartych w tych normach ICAO, które mają charakter nakazowy oraz wykazywania odstępstw od norm, włączając tu wszelkie dodatkowe przepisy narodowe, które są ważne dla bezpieczeństwa lub regularności międzynarodowej żeglugi powietrznej. Tam, gdzie to tylko możliwe, postanowienia niniejszego Załącznika muszą być wpisywane, dla ułatwienia ich wcielenia, do narodowych przepisów bez większych zmian tekstu.

Status części składowych Załącznika

Załącznik zawiera następujące części składowe, spośród których nie wszystkie muszą występować w każdym Załączniku, ich status opisano poniżej:

1.— Materiał stanowiący właściwy Załącznik:

- a) *Normy i zalecane metody postępowania* przyjęte przez Radę na mocy Konwencji. Są one zdefiniowane następująco:

Norma: wszelka specyfikacja dotycząca charakterystyk fizycznych, konfiguracji, materiału, osiągow, personelu lub procedur, której ujednolicone stosowanie jest uznane za niezbędne dla bezpieczeństwa lub regularności międzynarodowej żeglugi powietrznej oraz której Umawiające się Państwa będą przestrzegać zgodnie z Konwencją; w przypadku gdyby zachowanie zgodności nie było możliwe, obowiązkowe jest zawiadomienie Rady, zgodnie z artykułem 38.

Zalecana metoda postępowania: Wszelka specyfikacja dotycząca charakterystyk fizycznych, konfiguracji, materiału, osiągow, personelu lub procedur, której ujednolicone stosowanie jest uznane za pożądane dla bezpieczeństwa, regularności lub efektywności międzynarodowej żeglugi powietrznej oraz której Umawiające się Państwa będą przestrzegać zgodnie z Konwencją.

- b) *Dodatki* zawierające materiał zgrupowany osobno ze względu na wygodę posługiwania się, ale wchodzący w skład norm i zalecanych metod postępowania, przyjętych przez Radę.
- c) *Zastrzeżenia* rozstrzygające o zakresie stosowania norm i zalecanych metod postępowania.
- d) *Definicje* terminów użytych w normach i zalecanych metodach postępowania, które nie mają przyjętego znaczenia słownikowego. Definicja nie ma statusu niezależnego, lecz stanowi część składową każdej normy i zalecanych metod postępowania, w których dany termin jest użyty, gdyż zmiana znaczenia terminu może wpływać na wymagania.

- e) *Tablice i rysunki*, które dodane są do normy lub zalecanej praktyki lub je ilustrują, odnoszą się one lub stanowią część odpowiedniej normy lub zalecanej praktyki i posiadają ten sam status.

2.— Materiał zatwierdzony przez Radę do publikacji wraz z normami i zalecanymi metodami postępowania:

- a) *Wstępy* zawierają materiał historyczny i wyjaśniający, oparty na działaniu Rady i obejmujący objaśnienie zobowiązań Państw w zakresie stosowania norm i zalecanych metod postępowania, wynikających z Konwencji i Postanowienia o przyjęciu.
- b) *Wprowadzenia* zawierają materiał wyjaśniający, zamieszczany na początku poszczególnych części, rozdziałów lub działów Załącznika, pomagający w zrozumieniu zakresu stosowania tekstu.
- c) *Uwagi* zawarte w tekście, gdzie jest to stosowne, w celu podania informacji rzeczowej lub odniesień kierujących do odpowiednich norm i zalecanych metod postępowania, ale nie stanowiących ich części.
- d) *Uzupełnienia* zawierają materiał, stanowiący uzupełnienie norm i zalecanych metod postępowania lub włączony jako wytyczne na temat ich stosowania.

Zrzekanie się patentów

Zwraca się uwagę, że jest możliwe, że pewne części Norm i zalecanych metod postępowania w tym Załączniku mogą być przedmiotem patentów lub innych praw własności intelektualnej. ICAO nie jest odpowiedzialna za nieustalenie jakiegoś lub wszystkich takich praw. ICAO nie zabiera stanowiska odnośnie istnienia, ważności, zakresu lub stosowania jakichś zgłaszanych patentów lub innych praw własności intelektualnej oraz nie przyjmuje odpowiedzialności, w tym za szkody, ich dotyczące.

Wybór języka

Niniejszy Załącznik został przyjęty w czterech językach: angielskim, francuskim, rosyjskim i hiszpańskim. Każde z Umawiających się Państw jest proszone o dokonanie wyboru jednego z tych języków w celu wprowadzenia tekstu do użytku krajowego oraz w celu innych działań, wymaganych przez Konwencję, czy to przez bezpośrednie stosowanie, czy też przez dokonanie przekładu na własny język, oraz o przekazanie stosownego zawiadomienia do Organizacji.

Praktyka wydawnicza

Przyjęto następującą praktykę podawania informacji o statusie każdego postanowienia: *normy* są drukowane zwykłą czcionką; *zalecane metody postępowania* są drukowane kursywą, ich treść następuje po słowie *Zalecenie*; *uwagi* są drukowane kursywą, ich treść następuje po słowie *Uwaga*.

Należy zwrócić uwagę, że w tekście angielskim przyjęto następującą praktykę przy pisaniu poszczególnych postanowień: w normach stosuje się czasownik „musi”, podczas gdy w zalecanych metodach postępowania stosuje się czasownik „powinien”.

Jednostki pomiarów używane w niniejszym dokumencie są zgodne z Międzynarodowym Układem Jednostek Miar (SI), zgodnie z Załącznikiem 5 do Konwencji o międzynarodowym lotnictwie cywilnym. Tam, gdzie Załącznik 5 dopuszcza użycie jednostek spoza układu SI, są one podane w nawiasach po jednostkach podstawowych. Gdy są podane obie grupy jednostek, nie można przyjmować, że pary wartości są sobie równe i zamienne. Jednak można tu przyjąć, że równoważny poziom bezpieczeństwa jest osiągnięty, gdy wyłącznie jeden zestaw jednostek jest użyty.

Każde odwołanie do części składowej niniejszego dokumentu, oznaczonej numerem, odnosi się do wszystkich podpunktów danej części.

Koordinacja z działalnością ISO

W przepisach dotyczących procedur certyfikacyjnych wykorzystuje się odpowiednie specyfikacje opracowane przez Międzynarodową Organizację Normalizacyjną (ISO). W większości przypadków te specyfikacje zostały włączone przez bezpośrednie odniesienie. Jednak w niektórych przypadkach uznano za konieczne zmodyfikowanie specyfikacji w celu dostosowania ich do wymagań ICAO i w takich przypadkach zmodyfikowany materiał jest w całości uwzględniony w tym dokumencie. Doceniana jest pomoc udzielona przez ISO w opracowaniu szczegółowych specyfikacji.

Tablica A. Poprawki do Załącznika 16

<i>Poprawka</i>	<i>Źródło</i>	<i>Temat</i>	<i>Przyjęta Weszła w życie Do stosowania od</i>
Wydanie 1	Specjalne posiedzenie na temat hałasu lotniczego w pobliżu lotnisk (1969)		2 kwietnia 1971 2 sierpnia 1971 6 stycznia 1972
1	Pierwsze posiedzenie Komitetu ds. hałasu lotniczego	Certyfikacja w zakresie hałasu produkowanych w przyszłości poddźwiękowych samolotów odrzutowych i ich wersji pochodnych oraz aktualizacja terminologii stosowanej do określania masy statków powietrznych.	6 grudnia 1972 6 kwietnia 1973 16 sierpnia 1973
2	Trzecie posiedzenie Komitetu ds. hałasu lotniczego	Certyfikacja w zakresie hałasu lekkich samolotów z napędem śmigłowym i poddźwiękowych samolotów odrzutowych o maksymalnej certyfikowanej masie startowej 5700 kg lub mniejszej oraz przewodnik na temat wykonywania funkcji przez Państwa w przypadkach dzierżawy, czarteru i wymiany statków powietrznych.	3 kwietnia 1974 3 sierpnia 1974 27 lutego 1975
3 (wydanie 2)	Czwarte posiedzenie Komitetu ds. hałasu lotniczego	Normy certyfikacji w zakresie hałasu dla przyszłych poddźwiękowych samolotów odrzutowych i samolotów z napędem śmigłowym, innych niż samoloty STOL oraz przewodnik dla certyfikacji w zakresie hałasu przyszłych samolotów naddźwiękowych, samolotów STOL z napędem śmigłowym oraz zabudowanych APU i podłączonych do nich układów podczas operacji naziemnych.	21 czerwca 1976 21 października 1976 6 października 1977
4 (wydanie 3)	Piąte posiedzenie Komitetu ds. hałasu lotniczego	Wprowadzenie nowego parametru, tj. liczby silników, do norm certyfikacji hałasowej dla poddźwiękowych samolotów odrzutowych; poprawki w szczegółach procedur prób dla upewnienia się, że taki sam poziom techniki jest stosowany do wszystkich typów statków powietrznych; oraz zmiany edytorskie w celu uproszczenia języka i zlikwidowania niezgodności.	6 marca 1978 6 lipca 1978 10 sierpnia 1978
5 (Załącznik 16, tom I – wydanie 1)	Szóste posiedzenie Komitetu ds. hałasu lotniczego	1. Zmiana tytułu Załącznika na <i>Ochrona środowiska</i> , wydanie go w dwóch tomach jak następuje: tom I – <i>Hałas statków powietrznych</i> (włączając postanowienia trzeciego wydania Załącznika 16, zmienionego poprawką 5) i tom II – <i>Emisje z silników statków powietrznych</i> . 2. Wprowadzenie do tomu I norm certyfikacji hałasowej dla śmigłowców i dla produkowanych w przyszłości istniejących samolotów naddźwiękowych, uaktualnienie przewodników dla certyfikacji hałasowej zabudowanych APU i podłączonych do nich układów statków powietrznych; poprawki edytorskie, zawierające zmiany jednostek pomiarowych w celu ujednolicenia niniejszego Załącznika z postanowieniami Załącznika 5.	11 maja 1981 1 września 1981 26 listopada 1981
6 (Załącznik 16, tom II – wydanie 1)	Drugie posiedzenie Komitetu ds. emisji z silników lotniczych	Wprowadzenie tomu II zawierającego normy dotyczące kontrolowania upustu paliwa, dymu i emisji gazowych z niedawno wyprodukowanych silników turbodrzutowych i turbowentylatorowych, przeznaczonych jako napęd poddźwiękowy i naddźwiękowy.	30 czerwca 1981 30 października 1981 18 lutego 1982

<i>Poprawka</i>	<i>Źródło</i>	<i>Temat</i>	<i>Przyjęta Weszła w życie Do stosowania od</i>
1	Pierwsze posiedzenie Komitetu lotniczej ochrony środowiska	Zmiany w tekście wymagań odnośnie paliwa do prób, dodatek 4.	4 marca 1988 31 lipca 1988 17 listopada 1988
2 (wydanie 2)	Drugie posiedzenie Komitetu lotniczej ochrony środowiska	a) zaostrzenie dopuszczalnych wartości emisji NO _x ; b) ulepszenia w procedurze certyfikacji dymu i emisji gazowych.	24 marca 1993 26 lipca 1993 11 listopada 1993
3	Trzecie posiedzenie Komitetu lotniczej ochrony środowiska	Poprawka w kryterium kalibracji i gazów wzorcowych w dodatkach 3 i 5.	20 marca 1997 20 marca 1997 —
4	Czwarte posiedzenie Komitetu lotniczej ochrony środowiska	Zaostrzenie dopuszczalnych wartości emisji NO _x .	26 lutego 1999 19 lipca 1999 4 listopada 1999
5	Szóste posiedzenie Komitetu lotniczej ochrony środowiska	Zaostrzenie norm emisji NO _x .	23 lutego 2005 11 lipca 2005 24 listopada 2005
6 (wydanie 3)	Siódme posiedzenie Komitetu lotniczej ochrony środowiska	a) wyjaśnienie stosownych poprawek do wzorcowego dnia, wzorcowych warunków silnika oraz użytej terminologii dla wilgotności; b) poprawki pozwalające na użycie do prób paliwa innego niż określone przy zatwierdzeniu przez władze certyfikujące; c) znormalizowanie terminologii odnoszącej się do ustawienia ciągu; d) wyjaśnienie odpowiedniej wartości przepływu paliwa stosowanej w każdym punkcie LTO; oraz e) poprawki w wymaganiach określających materiały, które mogą być użyte do pobierania próbek.	7 marca 2008 20 lipca 2008 20 listopada 2008
7	Ósme posiedzenie Komitetu lotniczej ochrony środowiska (CAEP/8)	a) zaostrzenie wymagań norm na emisje NO _x ; b) uaktualnienie odniesień do II tomu Środowiskowego Podręcznika Technicznego (Doc 9501) — Procedury dla certyfikacji emisji z silników statków powietrznych; c) uaktualnienie tekstu poprzez zamianę „odmiany procedur” na „procedury równoważne” w celu poprawienia zgodności i harmonizacji pomiędzy II tomem Załącznika 16 i II tomem Środowiskowego Podręcznika Technicznego (Doc 9501) — Procedury dla certyfikacji emisji z silników statków powietrznych; d) sformatowanie stosownych danych w p. 2.3.2 zgodnie z konwencją przyjętą w Załączniku 6 i w I tomie Załącznika 16; e) poprawienie czytelności poprzez wstawienie niektórych punktów w bardziej odpowiednie miejsca; oraz f) drobne zmiany edytorskie.	4 marca 2011 18 lipca 2011 17 listopada 2011

<i>Poprawka</i>	<i>Źródło</i>	<i>Temat</i>	<i>Przyjęta Weszła w życie Do stosowania od</i>
8	Dziewiąte posiedzenie Komitetu lotniczej ochrony środowiska (CAEP/9)	a) poprawki do uzupełnienia A do dodatku 3 uaktualniające zakres temperatury analizatora węglowodorów (HC); b) poprawki pozwalające na użycie nowoczesnych przyrządów mierzących wilgotność i uaktualnienie ich umiejscowienia podczas prób certyfikacyjnych emisji; oraz c) drobne zmiany edytorskie związane z terminologią, numeracją dokumentu i zmianami drukarskimi	3 marca 2014 14 lipca 2014 1 stycznia 2015
9 (wydanie 4)	Dziesiąte posiedzenie Komitetu lotniczej ochrony środowiska (CAEP/10)	a) dodanie definicji „certyfikatu typu” w załączniku 16, tom II, Część I, rozdział 1; b) wyjaśnienie wymagań dotyczących temperatury przewodów do pobierania próbek; c) zmiany w gazie kalibracyjnym dla analizatora NO _x ; d) zmiany zawartości naftalenu w specyfikacji paliwa do badania emisji; e) norma emisji nietlotnych cząstek stałych (nvPM) z silnika dla silników turbowentylatorowych i turbodrzutowych o ciągu nominalnym powyżej 26,7 kN, produkowanych od dnia 1 stycznia 2020 r. ; f) Załącznik 16, Tom II, spójność z nowym standardem emisji nvPM z silników; g) korekta drobnych błędów lub dla zachowania spójności.	3 marca 2017 21 lipca 2017 1 stycznia 2018
10	Jedenaste posiedzenie Komitetu lotniczej ochrony środowiska (CAEP/11)	a) aktualizacje przepisów dotyczących daty obowiązywania dla nowych typów silników; b) poprawki do specyfikacji i warunków natężenia przepływu; c) wprowadzenie rodzajowego języka dla zwolnienia silników emitujących NO _x , HC i CO, masy i liczby emisji nvPM po datach obowiązywania norm dotyczących zadymienia;; d) nowy tekst w sprawie norm CAEP / 11 nvPM dotyczących masy i liczby emisji z silników dla silników nowego typu i w produkcji, mający zastosowanie 1 stycznia 2023 r. ; e) wynikające z tego zmiany w Załączniku 16, tom II, w celu zapewnienia zgodności z nową normą dotyczącą masy i liczby nvPM, wraz z wprowadzeniem 1 stycznia 2023 r. końcowej daty obowiązywania normy zadymienia (SN) dla silników o ciągu nominalnym większym niż 26,7 kN; i f) poprawki do ogólnych kwestii technicznych, nazewniczych i typograficznych.;	11 marca 2020 20 lipca 2020 1 stycznia 2021

MIĘDZYNARODOWE NORMY I ZALECANE METODY POSTĘPOWANIA

CZĘŚĆ I. DEFINICJE I SYMBOLE

ROZDZIAŁ 1. DEFINICJE

Poniższe wyrażenia, użyte w tomie II niniejszego Załącznika, mają następujące znaczenie:

Dopalanie. Zakres pracy silnika, gdy układ spalania jest zasilany (w całości lub częściowo) dodatkowym paliwem, dodawanym do spalin.

Faza podejścia. Faza operacji, określona przez czas, w którym silnik pracuje w zakresie do lądowania.

Faza wznoszenia. Faza operacji, określona przez czas, w którym silnik pracuje w zakresie do wznoszenia.

Data produkcji. Data wydania dokumentu potwierdzającego, że dany statek powietrzny lub silnik spełnia wymagania odpowiednio dla typu lub daty analogicznego dokumentu.

Wersja pochodząca. Lotniczy gazowy silnik turbinowy z tej samej rodziny rodzajowej, co typ silnika pierwotnie certyfikowany, zachowujący zasadnicze właściwości projektu podstawowego rdzenia silnika i komory spalania oryginalnego modelu oraz którego inne czynniki, jak uznały władze certyfikujące, pozostały nie zmienione.

Uwaga. – Należy zwrócić uwagę na różnicę pomiędzy definicją „wersji pochodnej statku powietrznego” w tomie I Załącznika 16 i definicją „wersji pochodzącej” w tym tomie.

Dysza wylotowa. Przy pobieraniu próbek spalin z silników turbinowych, gdzie strumień wylotowy nie jest mieszany (jak np. w silnikach turbowentylatorowych), za dyszę uważa się tylko wylot przepływu (rdzenia) z wytwornicy gazu. Gdy strumień wylotowy jest mieszany, za dyszę uważa się wylot całkowitego strumienia.

Nielotne cząstki stałe (nvPM). Emitowane cząsteczki, które występują na płaszczyźnie wylotowej dyszy wydechowej silnika turbogazowego, które nie ulatniają się po podgrzaniu do temperatury 350°C.

Tlenki azotu. Suma ilości tlenu azotu i dwutlenku azotu zawartych w próbce gazu, obliczona tak, jakby tlenek azotu był w formie dwutlenku azotu.

Ciąg nominalny. Dla celów emisji lotniczych, zatwierdzony przez władze certyfikujące maksymalny ciąg rozporządzalny przy starcie w normalnych warunkach użytkowania dla statycznych warunków ISA na poziomie morza, bez użycia wtrysku wody. Ciąg jest określany w kN.

Spręż odniesienia. Stosunek średniego całkowitego ciśnienia za sprężarką do średniego całkowitego ciśnienia przed sprężarką, gdy silnik rozwija ciąg startowy w warunkach statycznych ISA na poziomie morza.

Uwaga. – Metody pomiaru sprężu odniesienia podano w dodatku 1.

Dym. Zwęglone cząstki substancji w emitowanych gazach spalinowych, które rozpraszają promieniowanie świetlne.

Zadymienie. Bezwymiarowe wyrażenie ilościowo określające emisję dymu (*patrz* punkt 3 w dodatku 2).

Państwo projektu. Państwo mające jurysdykcję nad organizacją odpowiedzialną za projekt typu.

Faza startu. Faza operacji, określona przez czas, w którym silnik pracuje w zakresie ciągu nominalnego.

Kołowanie/bieg jałowy na ziemi. Faza operacji, obejmująca kołowanie i pracę jałową pomiędzy początkowym rozruchem silnika(-ów) napędowego(-ych) a początkiem rozbiegu przy starcie oraz pomiędzy chwilą skołowania z drogi startowej i końcowym wyłączeniem wszystkich silników napędowych.

Certyfikat typu. Dokument wydany przez Umawiające się Państwo w celu określenia projektu statku powietrznego, typu silnika lub śmigła oraz poświadczenia, że projekt ten spełnia odpowiednie wymagania tego państwa dotyczące zdolności do lotu.

Uwaga. – W niektórych Umawiających się Państwach dokument równoważny z certyfikatem typu może zostać wydany dla typu silnika lub śmigła.

Niespalone węglowodory. Całkowita ilość składników węglowodorów wszystkich rodzajów i mas cząsteczkowych, zawartych w próbce gazu, obliczona tak, jakby były one w formie metanu.

ROZDZIAŁ 2. SYMBOLE

Poniższe symbole użyte w tomie II niniejszego Załącznika mają następujące znaczenie:

CO	Tlenek węgla
D_p	Masa danego zanieczyszczenia gazowego, wyemitowana podczas cyklu odniesienia lądowania i startu
F_n	Ciąg w warunkach Międzynarodowej Atmosfery Wzorcowej (ISA) na poziomie morza, dla danego zakresu pracy silnika
F_{oo}	Ciąg nominalny (<i>patrz</i> definicja)
F^*_{oo}	Ciąg nominalny z dopalaniem
HC	Niespalone węglowodory (<i>patrz</i> definicja)
NO	Tlenek azotu
NO ₂	Dwutlenek azotu
NO _x	Tlenki azotu (<i>patrz</i> definicja)
nvPM	Nielotne cząstki stałe (<i>patrz</i> definicja)
SN	Zadymienie (<i>patrz</i> definicja)
π_{oo}	Spręż odniesienia (<i>patrz</i> definicja)

CZEŚĆ II. UPUST PALIWA

ROZDZIAŁ 1. POSTANOWIENIA ADMINISTRACYJNE

1.1 Postanowienie tej części musi być stosowane do wszystkich silników turbinowych napędzających statki powietrzne, przeznaczone do użytkowania w międzynarodowej żegludze powietrznej po 18 lutego 1982 r.

1.2 Certyfikacja związana z zapobieganiem zamierzonemu upustowi paliwa musi być uznana przez władze certyfikujące na podstawie zadowalających dowodów, że zarówno statek powietrzny, jak i jego silniki spełniają wymagania rozdziału 2.

Uwaga. – Dokument potwierdzający certyfikację w zakresie upustu paliwa może mieć formę oddzielnego certyfikatu w tym zakresie lub stosownego oświadczenia w innym dokumencie, zatwierdzonym przez władze certyfikujące.

1.3 Umawiające się Państwa muszą uważać za ważną certyfikację w zakresie upustu paliwa, uznaną przez władze certyfikujące innego Umawiającego się Państwa pod warunkiem, że ta certyfikacja została przeprowadzona według wymagań nie mniej rygorystycznych niż postanowienia tomu II niniejszego Załącznika.

ROZDZIAŁ 2. ZAPOBIEGANIE SKUTKOM ZAMIERZONEGO UPUSTU PALIWA

Statek powietrzny musi być tak zaprojektowany i zbudowany, aby zapobiec celowemu upuszczaniu do atmosfery płynnego paliwa z kolektora wtrysku paliwa w wyniku zatrzymania silnika po wykonaniu normalnego lotu lub operacji naziemnych.

CZĘŚĆ III. CERTYFIKACJA EMISJI

ROZDZIAŁ 1. POSTANOWIENIA ADMINISTRACYJNE

1.1 Postanowienia od p. 1.2 do p. 1.5 muszą być stosowane do wszystkich silników objętych klasyfikacją określoną dla celów certyfikacji emisji w rozdziałach 2 i 3, gdy takie silniki są zabudowane na statkach powietrznych, wykorzystywanych w międzynarodowej żegludze powietrznej.

1.2 Certyfikacja w zakresie emisji musi być uznana przez władze certyfikujące na podstawie wystarczających dowodów, że silnik spełnia wymagania, które są co najmniej tak samo rygorystyczne, co postanowienia tomu II niniejszego Załącznika. Spełnienie wymagań względem poziomów emisji, podanych w rozdziałach 2 i 3 musi być wykazane poprzez użycie procedury opisanej w dodatku 6.

Uwaga. – Dokument zaświadczaający certyfikację w zakresie emisji może mieć formę oddzielnego certyfikatu emisji lub stosownego oświadczenia w innym dokumencie, zatwierdzonym przez władze certyfikujące.

1.3 Dokument zaświadczaający certyfikację w zakresie emisji dla każdego poszczególnego silnika musi zawierać co najmniej następujące informacje, odnoszące się do typu silnika:

- a) nazwa władz certyfikujących;
- b) oznaczenie typu i modelu, nadane przez producenta;
- c) oświadczenie o każdej dodatkowej modyfikacji wprowadzonej w celu spełnienia stosownych wymagań certyfikacji w zakresie emisji;
- d) ciąg nominalny;
- e) spręż nominalny;
- f) oświadczenie o spełnieniu wymagań odnośnie zadymienia;
- g) oświadczenie o spełnieniu wymagań odnośnie zanieczyszczeń gazowych.
- h) oświadczenie wskazujące na zgodność z wymogami dotyczącymi cząstek stałych.

1.4 Umawiające się Państwa muszą uznawać za ważną certyfikację w zakresie emisji, uznaną przez władze certyfikujące innego Umawiającego się Państwa pod warunkiem, że ta certyfikacja została przeprowadzona według wymagań nie mniej rygorystycznych niż postanowienia tomu II niniejszego Załącznika.

1.5 Umawiające się Państwa uznają za ważne zwolnienia dotyczące silników udzielone przez właściwy organ innego Umawiającego się Państwa, którego jurysdykcji podlega organizacja odpowiedzialna za produkcję silnika, pod warunkiem, że zastosowano akceptowalny proces.

Uwaga. – Wytyczne dotyczące akceptowalnych procesów i kryteriów przyznawania zwolnień znajdują się w Środowiskowym Podręczniku Technicznym (Doc 9501), tom II – Procedury certyfikacji silników statków powietrznych w zakresie emisji.

1.6 O ile nie określono inaczej w niniejszym tomie Załącznika, datą, która ma być używana przez Umawiające się Państwa przy określaniu zastosowania norm zawartych w niniejszym Załączniku, jest data złożenia wniosku o certyfikat typu dla silników określonego typu lub modelu do państwa projektu lub data złożenia wniosku zgodnie z równoważną procedurą składania wniosków określoną przez władze certyfikujące państwa projektu.

1.7 Wniosek o certyfikat typu dla silników określonego typu lub modelu będzie obowiązywać przez okres określony we wskazanych przepisach zdatności do lotu właściwych dla danego typu lub modelu silnika, z wyjątkiem szczególnych przypadków, w których władza certyfikująca akceptuje przedłużenie tego okresu. Jeżeli okres obowiązywania zostaje przekroczony i zatwierdzone jest przedłużenie, datą którą należy zastosować dla określenia stosowalności norm niniejszego załącznika jest data wydania certyfikatu typu lub zatwierdzenia zmiany w projekcie typu lub data wydania zatwierdzenia zgodnie z równoważną procedurą określoną przez państwo projektu, a czas ważności przedłużenia skrócić o okres obowiązywania.

ROZDZIAŁ 2. SILNIKI TURBOODRZUTOWE I TURBOWENTYLATOROWE, PRZEZNACZONE JAKO NAPĘD TYLKO DLA PRĘDKOŚCI PODDŹWIĘKOWYCH

2.1 Postanowienia ogólne

2.1.1 Zakres stosowania

2.1.1.1 Postanowienia niniejszego rozdziału muszą być stosowane do wszystkich silników turboodrzutowych i turbowentylatorowych, jak dalej określono w p. 2.2 i 2.3, przeznaczonych jako napęd tylko dla prędkości poddźwiękowych, z wyjątkiem, gdy władze certyfikujące lub właściwy organ, w której jurysdykcji znajduje się organizacja odpowiedzialna za produkcję silnika, udzieli zwolnienia dla:

- a) określonych typów silników i wersji pochodzących tych silników, dla których certyfikat typu na pierwszy podstawowy typ był wydany lub inna równoważna określona procedura została przeprowadzona przed 1 stycznia 1965 r.; oraz
- b) ograniczonej liczby silników w ciągu określonego przedziału czasu po datach obowiązywania, podanych w p. 2.2 i 2.3, dla produkcji poszczególnych silników.

2.1.1.2 W takim przypadku dokument zwalniający musi być wydany przez władze certyfikujące lub właściwy organ, w której jurysdykcji znajduje się organizacja odpowiedzialna za produkcję silników, tabliczki identyfikujące na silnikach muszą posiadać oznaczenie „ZWOLNIONY”, a fakt zwolnienia musi być odnotowany w ciągłej dokumentacji silnika. Władze certyfikujące lub właściwy organ, w której jurysdykcji znajduje się organizacja odpowiedzialna za produkcję silników weźmie pod uwagę liczbę zwolnionych silników, które będą wyprodukowane i ich wpływ na środowisko. Zgłaszane zwolnienia muszą podawać numery fabryczne silników oraz muszą być dostępne poprzez oficjalny rejestr publiczny.

Zalecenie. – *W przypadku przyznania takiego zwolnienia władze certyfikujące lub właściwy organ, w której jurysdykcji znajduje się organizacja odpowiedzialna za produkcję silników powinien rozważyć nałożenie ograniczenia czasowego na produkcję takich silników.*

Uwaga. – *Dalsze wytyczne dotyczące przyznawania zwolnień znajdują się w Środowiskowym Podręczniku Technicznym (Doc 9501), tom II – Procedury certyfikacji silników statków powietrznych w zakresie emisji.*

2.1.1.3 Postanowienia niniejszego rozdziału mają również zastosowanie do silników zaprojektowanych do zastosowań, które w innym przypadku byłyby spełnione przez silniki turboodrzutowe i turbowentylatorowe, a które są zaprojektowane jako zintegrowana jednostka napędowa i posiadają certyfikowany ciąg nominalny.

Uwaga. – *Dalsze wytyczne są zawarte w Środowiskowym Podręczniku Technicznym (Doc 9501), tom II – Procedury dla certyfikacji emisji z silników statków powietrznych.*

2.1.2 Emisje objęte pomiarami

Następujące emisje muszą być sprawdzane podczas certyfikacji silników statków powietrznych:

- Dym
- Emisje gazowe
 - Niespalone węglowodory (HC)
 - Tlenek węgla (CO); oraz
 - Tlenki azotu (NO_x).

2.1.3 Jednostki pomiarowe

2.1.3.1 Emisja dymu musi być mierzona i podana w sprawozdaniu z pomiaru w jednostkach zadymienia (SN).

2.1.3.2 Masa (D_p) gazowych polutantów HC, CO lub NO_x , emitowanych podczas wzorcowego cyklu lądowania i startu (LTO) określonego w p. 2.1.4.2 i 2.1.4.3, musi być mierzona i podana w sprawozdaniu z pomiarów w gramach.

2.1.4 Warunki wzorcowe

2.1.4.1 Warunki atmosferyczne

Wzorcowe warunki atmosferyczne dla działania silnika muszą być w ISA na poziomie morza, z wyjątkiem wzorcowej wilgotności bezwzględnej, wynoszącej 0,00634 kg wody/kg suchego powietrza.

2.1.4.2 Ustawienia ciągu

Silnik musi być badany przy ustawieniu ciągu wystarczającym do określenia emisji gazowych i dymu z silnika tak, aby wielkości masowe emisji i zadymienia mogły być określone przy następujących charakterystycznych procentach ciągu nominalnego, jak uzgodniono z władzami certyfikującymi:

<i>Zakres pracy LTO</i>	<i>Ustawienie ciągu</i>
Start	100% F_{oo}
Wznoszenie	85% F_{oo}
Podejście	30% F_{oo}
Kołowanie/bieg jałowy	7% F_{oo}

2.1.4.3 Wzorcowy w zakresie emisji cykl lądowania i startu (LTO)

Wzorcowy cykl LTO w zakresie emisji do obliczeń i podawanych w sprawozdaniu emisji gazowych, musi składać się z następujących okresów dla każdego zakresu pracy silnika:

<i>Zakres pracy LTO</i>	<i>Czas zakresu pracy, minuty</i>
Start	0,7
Wznoszenie	2,2
Podejście	4,0
Kołowanie/bieg jałowy	26,0

2.1.4.4 Wymagania odnośnie paliwa

Paliwo używane podczas prób musi spełniać wymagania podane w dodatku 4.

2.1.5 Warunki prób

2.1.5.1 W czasie prób silnik musi znajdować się na swoim łożu do prób.

2.1.5.2 Silnik musi być zgodny z certyfikowaną konfiguracją (*patrz* dodatek 6); nie muszą być symulowane inne niż startowe upusty powietrza i obciążenia wyposażeniem poza niezbędnym do podstawowego użytkowania silnika.

2.1.5.3 Gdy warunki prób różnią się od wzorcowych warunków atmosferycznych, podanych w p. 2.1.4.1, wówczas wyniki prób emisji gazowych muszą być korygowane do tych warunków metodami podanymi w dodatku 3.

2.2 Dym

2.2.1 Zakres stosowania

Postanowienia p. 2.2.2 muszą być stosowane do silników, których datą produkcji jest 1 stycznia 1983 r. lub data późniejsza.

- a) do silników, których data produkcji przypada 1 stycznia 1983 r. lub później, a przed 1 stycznia 2023 r. ;
i
- b) do silników o maksymalnym ciągu nominalnym mniejszym lub równym 26,7 kN, których data produkcji przypada 1 stycznia 2023 r. lub później.

2.2.2 Wymagane zadymienie

Zadymienie przy każdym ustawieniu ciągu w 4 zakresach pracy LTO, mierzone i obliczane zgodnie z procedurą dodatku 2 lub równoważną procedurą, uzgodnioną z władzami certyfikującymi, i przekształcone do poziomu charakterystycznego według procedury dodatku 6 nie może przekroczyć poziomu określonego według poniższej formuły:

$$\text{Wymagane zadymienie} = 83,6 (F_{\text{oo}})^{-0,274}$$

lub wartość 50, zależnie, co jest mniejsze.

Uwaga. – Wytyczne na temat definicji i użycia procedur równoważnych zawarte są w II tomie Środowiskowego Podręcznika Technicznego (Doc 9501) – Procedury dla certyfikacji emisji z silników statków powietrznych.

2.3 Emisje gazowe

2.3.1 Zakres stosowania

Postanowienia p. 2.3.2 muszą być stosowane do silników, których ciąg nominalny jest większy niż 26,7 kN, wyprodukowanych 1 stycznia 1986 r. lub później i jak dalej określono w wymaganiach odnośnie tlenków azotu.

2.3.2 Wymagane poziomy

Poziom emisji gazowych, mierzonych i obliczanych według procedur dodatku 3 i przekształconych do poziomów charakterystycznych zgodnie z procedurami dodatku 6 lub z równoważną procedurą, uzgodnioną z władzami certyfikującymi, nie może przekroczyć wymaganych poziomów, określonych według następujących formuł:

Węglowodory (HC): $D_p/F_{oo} = 19,6$

Tlenek węgla (CO): $D_p/F_{oo} = 118$

Tlenki azotu (NO_x):

- a) dla typu lub modelu silników, dla których data wyprodukowania pierwszego poszczególnego modelu produkcyjnego była przed 1 stycznia 1996 r. oraz dla których data wyprodukowania poszczególnego silnika była przed 1 stycznia 2000 r.

$$D_p/F_{oo} = 40 + 2\pi_{oo}$$

- b) dla typu lub modelu silników, dla których data wyprodukowania pierwszego poszczególnego modelu produkcyjnego była 1 stycznia 1996 r. lub później oraz dla których data wyprodukowania poszczególnego silnika była 1 stycznia 2000 r. lub później.

$$D_p/F_{oo} = 32 + 1,6\pi_{oo}$$

- c) dla typu lub modelu silników, dla których data wyprodukowania pierwszego poszczególnego modelu produkcyjnego była 1 stycznia 2004 r. lub później:

- 1) dla silników ze sprężem 30 lub mniejszym:

- i) dla silników z maksymalnym ciągiem nominalnym większym niż 89,0 kN:

$$D_p/F_{oo} = 19 + 1,6\pi_{oo}$$

- ii) dla silników z maksymalnym ciągiem nominalnym większym niż 26,7 kN, ale nie większym niż 89,0 kN:

$$D_p/F_{oo} = 37,572 + 1,6\pi_{oo} - 0,2087 F_{oo}$$

- 2) dla silników ze sprężem większym niż 30, ale mniejszym niż 62,5:

- i) dla silników z maksymalnym ciągiem nominalnym większym niż 89,0 kN:

$$D_p/F_{oo} = 7 + 2,0 \pi_{oo}$$

- ii) dla silników z maksymalnym ciągiem nominalnym większym niż 26,7 kN, ale nie większym niż 89,0 kN:

$$D_p/F_{oo} = 42,71 + 1,4286\pi_{oo} - 0,4013 F_{oo} + 0,00642\pi_{oo} \times F_{oo}$$

- 3) dla silników ze sprężem 62,5 lub większym:

$$D_p/F_{oo} = 32 + 1,6\pi_{oo}$$

- d) dla typu lub modelu silników, dla których data wyprodukowania pierwszego poszczególnego modelu produkcyjnego była 1 stycznia 2008 r. lub później oraz dla których data wyprodukowania poszczególnego silnika była 1 stycznia 2013 r. lub później:

- 1) dla silników ze sprężem 30 lub mniejszym:

- i) dla silników z maksymalnym ciągiem nominalnym większym niż 89,0 kN:

$$D_p/F_{oo} = 16,72 + 1,4080\pi_{oo}$$

- ii) dla silników z maksymalnym ciągiem nominalnym większym niż 26,7 kN, ale nie większym niż 89,0 kN:

$$D_p / F_{00} = 38,5486 + 1,6823\pi_{00} - 0,2453F_{00} - 0,00308\pi_{00}F_{00}$$

- 2) dla silników ze sprężem większym niż 30, ale mniejszym niż 82,6:

- i) dla silników z maksymalnym ciągiem nominalnym większym niż 89,0 kN:

$$D_p / F_{00} = -1,04 + 2,0\pi_{00}$$

- ii) dla silników z maksymalnym ciągiem nominalnym większym niż 26,7 kN, ale nie większym niż 89,0 kN:

$$D_p / F_{00} = 46,1600 + 1,4286\pi_{00} - 0,5303F_{00} + 0,00642\pi_{00}F_{00}$$

- 3) dla silników ze sprężem 82,6 lub większym:

$$D_p / F_{00} = 32 + 1,6\pi_{00}$$

- e) dla typu lub modelu silników, dla których data wyprodukowania pierwszego poszczególnego modelu produkcyjnego była 1 stycznia 2014 r. lub późniejsza, a dla którego złożono wniosek o Certyfikat Typu przed 1 stycznia 2023 r.:

- 1) dla silników ze sprężem 30 lub mniejszym:

- i) dla silników z maksymalnym ciągiem nominalnym większym niż 89,0 kN:

$$D_p / F_{00} = 7,88 + 1,4080\pi_{00}$$

- ii) dla silników z maksymalnym ciągiem nominalnym większym niż 26,7 kN, ale nie większym niż 89,0 kN:

$$D_p / F_{00} = 40,052 + 1,5681\pi_{00} - 0,3615F_{00} - 0,0018\pi_{00}F_{00}$$

- 2) dla silników ze sprężem większym niż 30, ale mniejszym niż 104,7:

- i) dla silników z maksymalnym ciągiem nominalnym większym niż 89,0 kN:

$$D_p / F_{00} = -9,88 + 2,0\pi_{00}$$

- ii) dla silników z maksymalnym ciągiem nominalnym większym niż 26,7 kN, ale nie większym niż 89,0 kN:

$$D_p / F_{00} = 41,9435 + 1,505\pi_{00} - 0,5823F_{00} + 0,005562\pi_{00}F_{00}$$

- 3) dla silników ze sprężem 104,7 lub większym:

$$D_p / F_{00} = 32 + 1,6\pi_{00}$$

- f) dla typu lub modelu silników, dla którego złożono wniosek o Certyfikat Typu 1 stycznia 2023 r. lub później:

- 1) dla silników ze sprężem 30 lub mniejszym:

- i) dla silników z maksymalnym ciągiem nominalnym większym niż 89,0 kN:

$$D_p / F_{00} = 7,88 + 1,4080\pi_{00}$$

- ii) dla silników z maksymalnym ciągiem nominalnym większym niż 26,7 kN, ale nie większym niż 89,0 kN:

$$D_p / F_{oo} = 40,052 + 1,5681\pi_{oo} - 0,3615F_{oo} - 0,0018\pi_{oo}F_{oo}$$

- 2) dla silników ze sprężem większym niż 30, ale mniejszym niż 104,7:

- i) dla silników z maksymalnym ciągiem nominalnym większym niż 89,0 kN:

$$D_p / F_{oo} = -9,88 + 2,0\pi_{oo}$$

- ii) dla silników z maksymalnym ciągiem nominalnym większym niż 26,7 kN, ale nie większym niż 89,0 kN:

$$D_p / F_{oo} = 41,9435 + 1,505\pi_{oo} - 0,5823F_{oo} + 0,005562\pi_{oo}F_{oo}$$

- 3) dla silników ze sprężem 104,7 lub większym:

$$D_p / F_{oo} = 32 + 1,6\pi_{oo}$$

Uwaga. – Wytyczne na temat definicji i użycia procedur równoważnych zawarte są w II tomie Środowiskowego Podręcznika Technicznego (Doc 9501) – Procedury w certyfikacji emisji z silników statków powietrznych.

2.4 Wymagane informacje

Uwaga. – Wymagane informacje są podzielone na trzy grupy: 1) ogólne informacje do zidentyfikowania właściwości silników, użytego paliwa i metod analizy danych; 2) dane uzyskane z prób silnika(-ów); 3) wyniki otrzymane na podstawie zmierzonych danych.

2.4.1 Informacje ogólne

Następujące informacje muszą być podane dla każdego typu silnika, dla którego jest wymagana certyfikacja emisji:

- a) identyfikacja silnika;
- b) ciąg nominalny (w kN);
- c) spręż nominalny;
- d) specyfikacja paliwa;
- e) stosunek wodoru do węgla w paliwie;
- f) metody pozyskiwania danych;
- g) metoda wykonywania poprawek na warunki otoczenia;
- h) metoda analizy danych.

2.4.2 Informacje o próbach

Następujące informacje muszą być podane dla każdego silnika, badanego w celu certyfikacji, dla każdego ustawienia ciągu, jak określono w p. 2.1.4.2. Informacje muszą być podane po poprawkach do wzorcowych warunków otoczenia, gdy jest to stosowne:

- a) przepływ paliwa (kilogramy/sekundę);
- b) indeks emisji (gramy/kilogram) dla każdego polutanta gazowego;
- c) zmierzone zadymienie.

2.4.3 Informacje pochodne

2.4.3.1 Następujące informacje pochodne muszą być podane dla każdego silnika badanego w celu certyfikacji:

- a) stopień emisji, tj. indeks emisji $\times$ przepływ paliwa (gramy/sekundę) dla każdego polutanta gazowego;
- b) całkowitą emisję każdego polutanta gazowego, mierzonego przez cały cykl LTO (gramy);
- c) wartości D_p/F_{∞} dla każdego polutanta gazowego (gramy/kiloniutony);
- d) maksymalne zadymienie.

2.4.3.2 Charakterystyczne poziomy emisji zadymienia i polutantów gazowych muszą być podane dla każdego typu silnika, dla którego jest wymagana certyfikacja emisji.

ROZDZIAŁ 3. SILNIKI TURBOODRZUTOWE I TURBOWENTYLATOROWE, PRZEZNACZONE JAKO NAPĘD DLA PRĘDKOŚCI NADDŹWIĘKOWYCH

3.1 Postanowienia ogólne

3.1.1 Zakres stosowania

Postanowienia niniejszego rozdziału muszą być stosowane do wszystkich silników turboodrzutowych i turbowentylatorowych, przeznaczonych jako napęd dla prędkości naddźwiękowych, których datą produkcji jest 18 lutego 1982 r. lub data późniejsza.

3.1.2 Emisje objęte pomiarami

Następujące emisje muszą być sprawdzane podczas certyfikacji silników statków powietrznych:

Dym

Emisje gazowe

Nie spalone węglowodory (HC)

Tlenek węgla (CO); oraz

Tlenki azotu (NO_x).

3.1.3 Jednostki pomiarowe

3.1.3.1 Emisja dymu musi być mierzona i podana w sprawozdaniu z pomiaru w jednostkach zadymienia (SN).

3.1.3.2 Masa (D_p) gazowych polutantów HC, CO lub NO_x, emitowanych podczas wzorcowego cyklu lądowania i startu (LTO) określonego w p. 3.1.5.2 i 3.1.5.3, musi być mierzona i podana w sprawozdaniu z pomiarów w gramach.

3.1.4 Nazewnictwo

W całym rozdziale wyrażenie F_{∞}^* musi być zastąpione przez F_{∞} dla silników, w których nie stosuje się dopalania. Przy ustawieniu ciągu do kołowania/biegu jałowego, F_{∞} musi być użyte we wszystkich przypadkach.

3.1.5 Warunki wzorcowe

3.1.5.1 Warunki atmosferyczne

Wzorcowe warunki atmosferyczne muszą być w ISA na poziomie morza, z wyjątkiem wzorcowej wilgotności bezwzględnej, wynoszącej 0,00634 kg wody/kg suchego powietrza.

3.1.5.2 Ustawienia ciągu

Silnik musi być badany przy ustawieniu ciągu wystarczającym do określenia emisji gazowych i dymu z silnika tak, aby wielkości masowe emisji i zadymienia, skorygowane do wzorcowych warunków otoczenia, mogły być określone przy następujących charakterystycznych procentach mocy nominalnej, jak uzgodniono z władzami certyfikującymi.

<i>Zakres pracy</i>	<i>Ustawienie ciągu</i>
Start	100% F^*_{oo}
Wznoszenie	65% F^*_{oo}
Zniżanie	15% F^*_{oo}
Podejście	34% F^*_{oo}
Kołowanie/bieg jałowy	5,8% F_{oo}

3.1.5.3 Wzorcowy w zakresie emisji cyklu lądowania i startu (LTO)

Wzorcowy cykl LTO w zakresie emisji do obliczeń i podawanych w sprawozdaniu emisji gazowych musi składać się z następujących okresów dla każdego zakresu pracy silnika:

<i>Tryb pracy LTO</i>	<i>Czas zakresu pracy, minuty</i>
Start	1,2
Wznoszenie	2,0
Zniżanie	1,2
Podejście	2,3
Kołowanie/bieg jałowy	26,0

3.1.5.4 Wymagania odnośnie paliwa

Paliwo używane podczas prób musi spełniać wymagania podane w dodatku 4. Dodatki używane w celu zmniejszenia dymu (takie jak składniki organiczno-metaliczne) nie mogą w nim się znajdować.

3.1.6 Warunki prób

3.1.6.1 W czasie prób silnik musi znajdować się na swoim łożu do prób.

3.1.6.2 Silnik musi być zgodny z certyfikowaną konfiguracją (*patrz* dodatek 6); nie muszą być symulowane inne niż startowe upusty powietrza i obciążenia wyposażeniem poza niezbędnym do podstawowego użytkowania silnika.

3.1.6.3 Pomiary w celu wyznaczenia poziomów emisji przy ciągu określonym w p. 3.1.5.2, muszą być wykonywane z dopalaczem, pracującym w zakresie normalnego użytkowania, jeśli to stosowne.

3.1.7 Gdy warunki prób różnią się od warunków wzorcowych, podanych w p. 3.1.5, wówczas wyniki prób muszą być korygowane do warunków wzorcowych metodami podanymi w dodatku 5.

3.2 Dym

3.2.1 Wymagane zadymienie

Zadymienie przy danym ustawieniu ciągu, mierzone i obliczane zgodnie z procedurą dodatku 2 i przekształcone do poziomu charakterystycznego według procedury dodatku 6, nie może przekroczyć wymaganego poziomu, określonego według poniższej formuły:

$$\text{Wymagane zadymienie} = 83,6 (F^*_{\text{oo}})^{-0,274}$$

lub wartość 50, zależnie, co jest mniejsze.

Uwaga. – Władze certyfikujące mogą alternatywnie zaakceptować wartości określone przy użyciu dopalania pod warunkiem, że ważność tych danych będzie odpowiednio wykazana.

3.3 Emisje gazowe

3.3.1 Wymagane poziomy

Poziom emisji gazowych, mierzonych i obliczanych według procedur dodatku 3 lub dodatku 5, co stosowne, i przekształconych do poziomów charakterystycznych zgodnie z procedurami dodatku 6, nie może przekroczyć wymaganych poziomów, określonych według następujących formuł:

$$\text{Węglowodory (HC): } D_p/F^*_{\text{oo}} = 140(0,92)^{\pi_{\text{oo}}}$$

$$\text{Tlenek węgla (CO): } D_p/F^*_{\text{oo}} = 4\,550(\pi_{\text{oo}})^{-1,03}$$

$$\text{Tlenki azotu (NO}_x\text{): } D_p/F^*_{\text{oo}} = 36 + 2,42\pi_{\text{oo}}$$

Uwaga. – Charakterystyczny poziom zadymienia lub emisji polutantów gazowych jest średnią z wartości wszystkich badanych silników, zmierzonych i skorygowanych do wzorcowego silnika i wzorcowych warunków otoczenia, podzielonych przez współczynnik odpowiadający liczbie przebadanych silników, jak opisano w dodatku 6.

3.4 Wymagane informacje

Uwaga. – Wymagane informacje są podzielone na trzy grupy: 1) ogólne informacje do zidentyfikowania właściwości silników, użytego paliwa i metod analizy danych; 2) dane uzyskane z prób silnika(-ów); 3) wyniki otrzymane na podstawie zmierzonych danych.

3.4.1 Następujące informacje muszą być podane dla każdego typu silnika, dla którego jest potrzebna certyfikacja emisji:

- a) identyfikacja silnika;
- b) moc nominalna (w kiloniutonach);
- c) moc nominalna z dopalaniem, jeśli jest stosowane (w kiloniutonach);

- d) spręż nominalny;
- e) specyfikacja paliwa;
- f) stosunek wodoru do węgla w paliwie;
- g) metody pozyskiwania danych;
- h) metoda wykonywania poprawek na warunki otoczenia;
- i) metoda analizy danych.

3.4.2 Informacje o próbach

Następujące informacje muszą być podane dla każdego silnika badanego w celu certyfikacji, dla każdego ustawienia ciągu, jak określono w p. 3.1.5.2. Informacje muszą być podane po poprawkach do wzorcowych warunków otoczenia, gdy jest to stosowne:

- a) przepływ paliwa (kilogramy/sekundę);
- b) indeks emisji (gramy/kilogram) dla każdego polutanta gazowego;
- c) procent ciągu, wytwarzany przez dopalanie; oraz
- d) zmierzone zadymienie.

3.4.3 Informacje pochodne

3.4.3.1 Poniższe pochodne informacje muszą być podane dla każdego silnika badanego w celu certyfikacji:

- a) stopień emisji, tj. indeks emisji $\times$ przepływ paliwa, (gramy/sekundę) dla każdego polutanta gazowego;
- b) całkowitą emisję każdego polutanta gazowego, mierzonego przez cały cykl LTO (gramy);
- c) wartości D_p/F^*_{∞} dla każdego polutanta gazowego (gramy/kiloniutony); oraz
- d) maksymalne zadymienie.

3.4.3.2 Charakterystyczne poziomy emisji zadymienia i polutantów gazowych muszą być podane dla każdego typu silnika, dla którego jest potrzebna certyfikacja emisji.

Uwaga. – Charakterystyczny poziom zadymienia lub emisji polutantów gazowych jest średnią z wartości wszystkich badanych silników, zmierzonych i skorygowanych do wzorcowego silnika i wzorcowych warunków otoczenia, podzielonych przez współczynnik odpowiadający liczbie przebadanych silników, jak opisano w dodatku 6.

ROZDZIAŁ 4. EMISJE CZĄSTEK STAŁYCH

4.1 Postanowienia ogólne

4.1.1 Zakres stosowania

4.1.1.1 Postanowienia niniejszego rozdziału mają zastosowanie do wszystkich silników statków powietrznych, określonych bardziej szczegółowo w 4.2, przeznaczonych do napędu tylko przy prędkościach poddźwiękowych.

4.1.1.2 Szczegółowe przepisy dotyczące odpowiednich kategorii silników mają zastosowanie, jak opisano w sekcji 4.2 m z wyjątkiem przypadków, gdy władza certyfikująca lub właściwy, w której jurysdykcji znajduje się organizacja odpowiedzialna za produkcję silników udziela zwolnień dla ograniczonej liczby silników w określonym okresie dłuższym niż daty obowiązywania określone w 4.2 dla produkcji pojedynczego silnika.

4.1.1.3 W takim przypadku dokument zwalniający musi być wydany przez władze certyfikujące lub właściwy organ, w której jurysdykcji znajduje się organizacja odpowiedzialna za produkcję silników, tabliczki identyfikujące na silnikach muszą posiadać oznaczenie „ZWOLNIONY”, a fakt zwolnienia musi być odnotowany w ciągłej dokumentacji silnika. Władze certyfikujące lub właściwy organ, w której jurysdykcji znajduje się organizacja odpowiedzialna za produkcję silników weźmie pod uwagę liczbę zwolnionych silników, które będą wyprodukowane i ich wpływ na środowisko. Zgłaszane zwolnienia muszą podawać numery fabryczne silników oraz muszą być dostępne poprzez oficjalny rejestr publiczny.

Zalecenie. – *W przypadku przyznania takiego zwolnienia władze certyfikujące lub właściwy organ, w której jurysdykcji znajduje się organizacja odpowiedzialna za produkcję silników powinien rozważyć nałożenie ograniczenia czasowego na produkcję takich silników.*

Uwaga. – *Dalsze wytyczne dotyczące przyznawania zwolnień znajdują się w Środowiskowym Podręczniku Technicznym (Doc 9501), tom II - Procedury certyfikacji silników statków powietrznych w zakresie emisji.*

4.1.2 Emisje których to dotyczy

Celem tej sekcji jest kontrola emisji masy nielotnych cząstek stałych (nvPM).

4.1.3 Jednostki pomiarowe

4.1.3.1 Koncentracja masy nvPM musi być mierzona i podana w sprawozdaniu w mikrogramach/m³.

4.1.3.2 Masa nvPM emitowana podczas wzorcowego cyklu lądowania (LTO), określona w 4.1.4.2 (masa LTO) musi być mierzona i podana w sprawozdaniu w mikrogramach.

4.1.3.3 Masa nvPM emitowana podczas wzorcowego cyklu lądowania (LTO), określona w 4.1.4.2 (masa LTO_{nm}) musi być mierzona i podana w sprawozdaniu w liczbie cząstek.

4.1.4 Warunki wzorcowe

4.1.4.1 Warunki atmosferyczne

Wzorcowe warunki atmosferyczne dla standardowego silnika referencyjnego muszą być w ISA na poziomie morza, z wyjątkiem wzorcowej wilgotności bezwzględnej, wynoszącej 0,00634 kg wody/kg suchego powietrza.

4.1.4.2 Wzorcowy w zakresie emisji cyklu lądowania i startu (LTO)

Silnik należy badać przy ustawieniach ciągu wystarczających dla określenia emisji nvPM silnika, tak aby wskaźniki emisji masy nvP (El_{mass}) i wskaźniki emisji liczby nvPM (El_{num}) można wyznaczyć przy referencyjnych ustawieniach cykli ciągu emisji LTO i przy ciągach wytwarzających maksymalne stężenie, maksymalna El_{mass} i El_{num} , zgodnie z ustaleniami władz certyfikujących.

Dla obliczania i zgłaszania emisji nvPM, wzorcowy cykl LTO w zakresie emisji musi składać się z następującego ustawienia ciągu i czasu dla każdego zakresu pracy silnika:

<i>Ustawienie ciągu</i>		<i>Czas zakresu</i>
<i>Tryb pracy LTO</i>	<i>procent F_{00}</i>	<i>pracy, minuty</i>
Start	100	0,7
Wznoszenie	85	2,2
Podejście	30	4,0
Kołowanie/bieg jałowy	7	26,0

4.1.4.3 Wymagania odnośnie paliwa

Paliwo używane podczas prób musi spełniać wymagania podane w dodatku 4.

4.1.5 Warunki prób

4.1.5.1 W czasie prób silnik musi znajdować się na swoim łożu do prób.

4.1.5.2 Silnik musi być zgodny z certyfikowaną konfiguracją (*patrz* dodatek 6); nie muszą być symulowane inne niż startowe upusty powietrza i obciążenia wyposażeniem poza niezbędnym do podstawowego użytkowania silnika.

4.1.5.3 Jeżeli warunki próby różnią się od wzorcowych warunków atmosferycznych podanych w 4.1.4.2, El_{mass} i El_{num} należy skorygować do temperatury na wlocie komory spalania silnika we wzorcowych warunkach atmosferycznych zgodnie z procedurami podanymi w dodatku 7.

4.1.5.4 Maksymalne stężenie mas nvPM należy skorygować pod kątem strat roztworu i termoforycznych w części odbiorczej systemu próbkowania zgodnie z procedurami zawartymi w dodatku 7. El_{mass} i El_{num} należy skorygować pod kątem strat termoforycznych w części odbiorczej systemu próbkowania i składu paliwa, zgodnie z procedurami w dodatku 7.

4.2 Emisja nielotnych części stałych

4.2.1 Zakres stosowania

3.1.1 Postanowienia wymienione dalej w 4.2.2 i 4.2.3 muszą być stosowane do wszystkich typów i modeli silników turbodrzutowych i turbowentylatorowych o ciągu nominalnym większym niż 26,7 kN.

3.1.2 Postanowienia niniejszego rozdziału mają również zastosowanie do silników zaprojektowanych do zastosowań, które w innym przypadku byłyby spełnione przez silniki turbodrzutowe i turbowentylatorowe, a które są zaprojektowane jako zintegrowany zespół napędowy i są certyfikowane z ciągiem nominalnym.

4.2.2 Poziomy regulacyjny

4.2.2.1 Maksymalna koncentracja masy nvPM

Dla silnika, którego datą produkcji pojedynczego silnika jest 1 stycznia 2020 lub później, maksymalna koncentracja masy nvPM, uzyskana podczas pomiaru przy wystarczającym ustawieniu ciągu, w taki sposób, że maksymalny poziom emisji można określić i obliczyć zgodnie z procedurą podaną w dodatku 7 i przekształcić do charakterystycznych poziomów z zastosowaniem procedur zawartych w dodatku 6, lub równoważnych procedur uzgodnionych z władzą certyfikującą, nie przekroczy poziomu regulacyjnego określonego z następującego wzoru:

$$\text{Regulacyjny poziom koncentracji masy nvPM} = 10^{(3+2.9F_{oo} - 0.274)}$$

Uwaga. – Ponieważ pomiędzy koncentracją masy nvPM a jednostką zadymienia występuje korelacja, poziom regulacyjny podany w 4.2.2.1 został pozyskany z poziomu regulacyjnego dla jednostek zadymienia. Dalsze wytyczne dotyczące przyznawania zwolnień znajdują się w Środowiskowym Podręczniku Technicznym (Doc 9501), tom II – Procedury certyfikacji silników statków powietrznych w zakresie emisji.

4.2.2.2 Masa i liczba nvPM wyemitowana podczas wzorcowego cyklu LTO

Poziomy emisji masy i liczby nvPM, gdy mierzone i obliczone zgodnie z procedurami zawartymi w dodatku 7 i przekształcone do charakterystycznych poziomów z zastosowaniem procedur zawartych w dodatku 6, lub równoważnych procedur uzgodnionych z władzą certyfikującą, nie przekroczą poziomów regulacyjnych określonych z następujących wzorów:

a) LTO_{mass} :

- 1) dla typów i modeli silników, dla których datą produkcji pojedynczego silnika jest 1 stycznia 2023 lub później:

- i. dla silników z maksymalnym ciągiem nominalnym większym niż 200kN:

$$LTO_{mass}/F_{oo}=347,5$$

- ii. dla silników z maksymalnym ciągiem nominalnym większym niż 26,7kN, ale nie większym niż 200kN:

$$LTO_{mass}/F_{oo}=4646,9 - 21.497F_{oo}$$

- 2) dla typów i modeli silników, dla których wnioski o Certyfikat Typu złożono w dniu 1 stycznia 2023 lub później:

- i) dla silników z maksymalnym ciągiem nominalnym większym niż 150kN:

$$LTO_{mass}/F_{oo}=214,0$$

- ii) dla silników z maksymalnym ciągiem nominalnym większym niż 26,7kN, ale nie większym niż 150kN:

$$LTO_{mass}/F_{oo}=1251,1 - 6914F_{oo}$$

b) LTO_{num} :

- 1) dla typów i modeli silników, dla których datą produkcji pojedynczego silnika jest 1 stycznia 2023 lub później:

- i) dla silników z maksymalnym ciągiem nominalnym większym niż 200kN:

$$LTO_{num}/F_{oo}=4170 \times 10^{15}$$

- ii) dla silników z maksymalnym ciągiem nominalnym większym niż 26,7kN, ale nie większym niż 200kN:

$$LTO_{num}/F_{oo}=2669 \times 10^{16} - 1126 \times 10^{14}F_{oo}$$

- 2) dla typów i modeli silników, dla których wnioski o Certyfikat Typu złożono w dniu 1 stycznia 2023 lub później:

- i) dla silników z maksymalnym ciągiem nominalnym większym niż 150kN:

$$LTO_{num}/F_{oo}=2780 \times 10^{15}$$

- ii) dla silników z maksymalnym ciągiem nominalnym większym niż 26,7kN, ale nie większym niż 150kN:

$$LTO_{num}/F_{oo}=1490 \times 10^{16} - 8080 \times 10^{13}F_{oo}$$

4.2.3 Wymagania dotyczące sprawozdawczości

Producent będzie raportował następujące wartości emisji nvPM mierzone i obliczone z zastosowaniem procedur zawartych w dodatku 7, lub równoważnych procedur uzgodnionych z władzą certyfikującą:

- a) maksymalną EL_{mass} (miligramy/kg paliwa); i
b) maksymalną EL_{num} (cząsteczki/kg paliwa).

4.3 Wymagane informacje

Uwaga. – Wymagane informacje są podzielone na trzy grupy: 1) ogólne informacje do zidentyfikowania właściwości silników, użytego paliwa i metod analizy danych; 2) dane uzyskane z prób silnika(-ów); 3) wyniki otrzymane na podstawie zmierzonych danych.

4.3.1 Informacje ogólne

Należy przedłożyć następujące informacje dla każdego typu silnika, dla którego jest potrzebna certyfikacja emisji:

- a) identyfikacja silnika;
- b) moc nominalna (w kiloniutonach);
- c) wzorcowy współczynnik ciśnienia;
- d) specyfikacja paliwa;
- e) stosunek wodoru do węgla w paliwie;
- f) metody pozyskiwania danych;
- g) metoda analizy danych.

4.3.2 Informacje o próbach

4.3.2.1 Następujące informacje muszą być podane dla każdego silnika badanego w celu certyfikacji:

- a) ciepło spalania netto paliwa (MJ/kg);
- b) zawartość wodoru w paliwie (% masy);
- c) całkowita zawartość związków aromatycznych w paliwie (% objętości);
- d) zawartość naftalenów paliwowych (% objętości); i
- e) zawartość siarki w paliwie (ppm wagowo).

4.3.2.2 Następujące informacje zmierzone i obliczone z zastosowaniem procedur zawartych w dodatku 7, lub równoważnych procedur uzgodnionych z władzą certyfikującą muszą być podane dla każdego silnika badanego w celu certyfikacji:

- a) Przepływ paliwa (kg/s) przy każdym ustawieniu ciągu w cyklu LTO;
- b) El_{mass} (miligram/kg paliwa) przy każdym ustawieniu ciągu w cyklu LTO;
- c) El_{num} (cząstki/kg paliwa) przy każdym ustawieniu ciągu w cyklu LTO.

4.3.3 Informacje pochodne

4.3.3.1 Następujące informacje pochodne muszą być podane dla każdego silnika badanego w celu certyfikacji:

- a) stopień emisji, tj. $El_{mass} \times$ przepływ paliwa, (miligramy/sekundę) dla masy nvPM;
- b) stopień emisji, tj. $El_{num} \times$ przepływ paliwa, (cząsteczki/sekundę) dla liczby nvPM;

- c) całkowitą emisję masy nvPM, mierzonej przez cały cykl LTO (miligramy);
- d) całkowitą emisję liczby nvPM, mierzonej przez cały cykl LTO (cząsteczki)
- e) wartości LTO_{num}/F_{oo} (miligramy/kN);
- f) wartości LTO_{num}/F_{oo} (cząsteczki/kN); i
- g) maksymalna koncentracja masy nvPN (mikrogramy/m³).

4.3.3.2 Należy podać charakterystyczne poziomy maksymalnej koncentracji masy nvPN, LTO_{num}/F_{oo} i LTO_{num}/F_{oo} dla każdego typu silnika, dla którego jest potrzebna certyfikacja emisji.

CZĘŚĆ IV. OCENA NIELOTNYCH CZĘŚCI STAŁYCH DO CELÓW INWENTARYZACJI I MODELOWANIA

Uwaga 1.– Celem tej części jest przedstawienie Standardowych i Zalecanych Metod Postępowania dotyczących sposobu obliczania współczynników korygujących masę i liczbę nvPM dla strat w systemie nvPM innych niż straty termoforyczne części odbiorczej. System pobierania próbek i pomiaru nvPM, część odbiorcza i obliczanie strat termoforycznych opisano w dodatku 7.

Uwaga 2.– Masowe i liczbowe współczynniki korygujące straty w masie liczbie nvPM w układzie umożliwiają oszacowanie stężenia masy i liczby nvPM na wylocie silnika statku powietrznego na podstawie masy nvPM i stężenie liczbowego uzyskanych zgodnie z procedurami zawartymi w dodatku 7.

W przypadku silników typu i modelu podlegających przepisom części III rozdział 4, dla których data produkcji indywidualnego silnika przypadała 1 stycznia 2023 r. lub później, współczynniki korygujące straty masy nvPM i liczby nvPM (k_{SL_mass} i k_{SL_num}) w systemie i EL_{mass} i EL_{num} skorygowane o straty systemowe powinny być zgłoszone władzy certyfikującej lub właściwemu organowi wyznaczonemu przez Państwo zgodnie z procedurami dodatku 8 lub równoważnymi procedurami uzgodnionymi przez władze certyfikujące.

Zalecenie.– Dla celów inwentaryzacji i modelowania, emisje masy nvPM i liczby nvPM uzyskane zgodnie z procedurami zawartymi w dodatku 7 należy skorygować o straty systemowe z zastosowaniem metodologii opisanej w dodatku 8.

DODATEK 1. POMIAR SPRĘŻU NOMINALNEGO

1. POSTANOWIENIA OGÓLNE

- 1.1 Spręż silnika musi być określony przy użyciu reprezentatywnego silnika.
- 1.2 Spręż nominalny musi pochodzić z współzależnie mierzonych sprężu i ciągu silnika, skorygowanych do ciśnienia otoczenia w warunkach atmosfery wzorcowej i wprowadzających tę współzależność do startowego ciągu nominalnego.

2. POMIAR

- 2.1 Ciśnienie całkowite musi być mierzone za ostatnią płaszczyzną wylotu sprężarki oraz na wlocie sprężarki poprzez umieszczenie co najmniej czterech sond tak, aby podzielić powierzchnię przepływu powietrza na cztery równe sektory w celu wyznaczenia średniej wartości z czterech wartości zmierzonych.

Uwaga.– Ciśnienie całkowite za sprężarką może być uzyskane z całkowitego lub statycznego ciśnienia, zmierzonego w płaszczyźnie możliwie najbliższej na wylocie ze sprężarki. Jednak władze certyfikujące mogą zaakceptować alternatywne środki w celu określenia całkowitego ciśnienia na wylocie ze sprężarki, jeśli silnik jest tak zaprojektowany, że spełnienie powyższego wymagania odnośnie sond jest niepraktyczne dla pomiarów emisji.

- 2.2 Niezbędne, współzależne czynniki muszą być określone podczas prób certyfikacji typu przy użyciu co najmniej jednego silnika i związanych z tym składowych prób silnika i analiz.

- 2.3 Procedury muszą być zaakceptowane przez władze certyfikujące.
-

DODATEK 2. OCENA EMISJI DYMU

1. WPROWADZENIE I DEFINICJE

Uwaga. – Podane tu procedury dotyczą pobierania reprezentatywnych próbek oraz ich przesyłania i analizowania przez układ pomiaru emisji.

1.1 Wszystkie procedury równoważne do procedur podanych w niniejszym dodatku mogą być dozwolone wyłącznie po uprzednim zgłoszeniu ich władzom certyfikującym i uzyskaniu ich zatwierdzenia.

1.2 Poniższe wyrażenia, użyte w niniejszym dodatku mają następujące znaczenie:

Wielkość wzorcowa próbki. Masa próbki równa $16,2 \text{ kg/m}^2$ barwionej powierzchni filtra, która po przejściu przez materiał filtracyjny spowoduje zmianę współczynnika odbicia, będącą wartością parametru SN.

Wielkość próbki. Wybrana próbka spalin, której masa (wyrażona w kilogramach na metr kwadratowy barwionej powierzchni filtra) znajduje się w zakresie podanym w p. 2.5.3h) niniejszego dodatku, a która po przejściu przez materiał filtracyjny spowoduje zmianę współczynnika odbicia, będącą wartością parametru SN.

Objętość próbki. Wybrana objętość próbki (wyrażona w metrach sześciennych), której masa równoważna, obliczona tak, jak wskazano w punkcie 3 niniejszego dodatku, odpowiada powyższej definicji wielkości próbki.

SN. Zadymienie, bezwymiarowa wielkość określająca ilościowo poziom emisji dymu, bazując na zabarwieniu filtra przez wzorcową masę próbki spalin, oznaczana według skali od 0 do 100 (*patrz* punkt 3 niniejszego dodatku).

SN'. Zadymienie, uzyskane z danej próbki dymu, niekoniecznie o wzorcowej wielkości, jak określono w punkcie 3 niniejszego dodatku.

W. Masa danej próbki spalin, w kilogramach, obliczona na podstawie pomiarów objętości próbki, ciśnienia i temperatury (*patrz* punkt 3 niniejszego dodatku).

2. POMIAR EMISJI DYMU

2.1 Sonda do pobierania próbek dymu

Sonda musi spełniać następujące wymagania:

- a) Sonda, będąca w kontakcie z próbkami spalin, musi być wykonana ze stali nierdzewnej lub innego, niereagującego materiału.
- b) Jeśli jest użyta sonda z wieloma otworami do pobierania próbek:
 - 1) wszystkie otwory muszą posiadać jednakową średnicę; i
 - 2) konstrukcja sondy musi być taka, aby co najmniej 80% ciśnienia działającego na zespół sondy było pobierane przez otwory.

- c) Ilość miejsc pobierania próbek nie może być mniejsza niż 12.
- d) Płaszczyzna pobierania próbek musi być tak blisko płaszczyzny dyszy wylotowej silnika, jak to dozwolone ze względu na osiągi silnika, jednak w każdym przypadku musi znajdować się w odległości mniejszej niż 0,5 średnicy płaszczyzny dyszy wylotowej.
- e) Wnioskujący musi dostarczyć władzom certyfikującym dowody w postaci szczegółowej analizy, że proponowana konstrukcja sondy i jej umieszczenie zapewni uzyskanie reprezentatywnej próbki dla każdego określonego ustawienia ciągu.

2.2 Ciąg pobierania próbek emisji dymu

2.2.1 Próbka musi być przekazywana z sondy do układu zbierania próbek przewodem o średnicy wewnętrznej od 4,0 do 8,5 mm możliwie najkrótszą drogą, która w żadnym przypadku nie może być dłuższa niż 25 m. Temperatura ciągu musi być utrzymywana w zakresie od 60°C do 175°C ze stabilnością $\pm 15^{\circ}\text{C}$, z wyjątkiem odległości wymaganej do schłodzenia spalin od temperatury wylotu z silnika do temperatury podanej powyżej.

2.2.2 Ciąg pobierania próbek musi zapewniać możliwie prostoliniowy przepływ. Wszystkie niezbędne zagięcia muszą mieć promienie większe niż 10 wewnętrznych średnic ciągu. Materiał, z którego wykonany jest ciąg nie może pozwalać na osadzanie się cząstek stałych lub tworzenie się elektryczności statycznej.

Uwaga. – Stal nierdzewna lub wypełniony węglem polichloroetylen (PTFE) spełniają te wymagania.

2.3 Układ analizy dymu

Uwaga. – Metoda tu opisana bazuje na pomiarze zmniejszenia współczynnika odbicia filtru zabarwionego przez próbkę spalin o danym masowym natężeniu przepływu.

Rozmieszczenie różnych części składowych układu do pobierania próbek barwiących filtr musi być takie, jak pokazano schematycznie na rys. A2-1. Dodatkowy bocznik do miernika objętości może być zabudowany w celu ułatwienia odczytów miernika. Główne elementy układu muszą spełniać następujące wymagania:

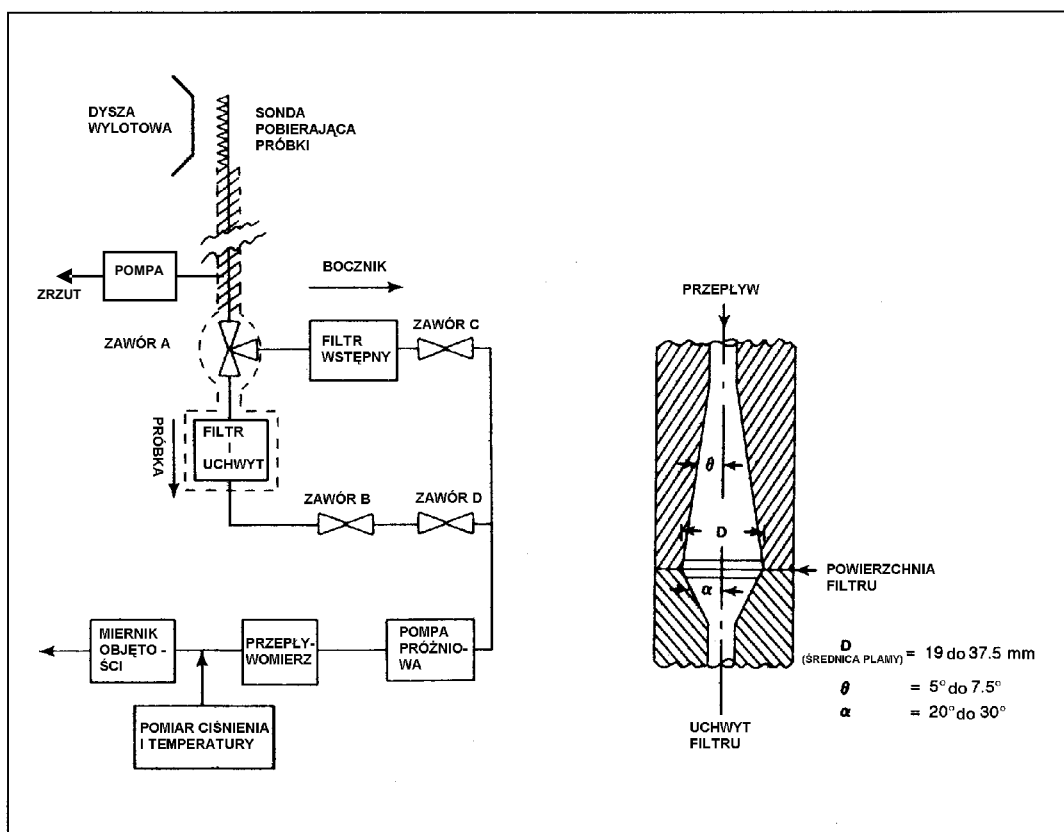
- a) *miar wielkości próbki:* miernik objętości wyporowej wilgotnej lub suchej, musi być użyty do mierzenia objętości próbki z dokładnością $\pm 2\%$. Ciśnienie i temperatura na wejściu do tego miernika muszą także być mierzone z dokładnością, odpowiednio, $0,2\%$ i $\pm 2^{\circ}\text{C}$;
- b) *miar natężenia przepływu próbki:* natężenie przepływu próbki musi mieć wartość $14 \pm 0,5$ L/min; przepływomierz do tego celu musi umożliwiać pomiar z dokładnością $\pm 5\%$;
- c) *filtr i uchwyt:* uchwyt filtru musi być wykonany z materiału odpornego na korozję i mieć kanał przepływowy, jak pokazano na rys. A2-1. Materiałem filtracyjnym musi być „whatman” nr 4 lub jego równoważnik, zatwierdzony przez władze certyfikujące;
- d) *zawory:* cztery zawory muszą być zastosowane, jak pokazano na rys. A2-1:
 - 1) zawór A musi być zaworem szybko działającym, o pełnym przepływie, z przepływem bocznikującym, umożliwiającym kierowanie wchodzącej próbki do filtru pomiarowego lub do obwodu bocznikującego, lub jej odcięcie;

Uwaga. – Zawór A może, jeśli to konieczne, składać się z dwóch zblokowanych zaworów spełniających wymagania funkcję.

- 2) zawory B i C muszą być zaworami dławiącymi, stosowanymi do ustalania natężenia przepływu w układzie;

- 3) zawór D musi być zaworem odcinającym, zdolnym do odseparowania uchwytu filtra;
wszystkie zawory muszą być wykonane z materiału odpornego na korozję;
- e) *pompa próżniowa*: musi mieć zdolność próżniową bez przepływu -75 kPa w stosunku do ciśnienia atmosferycznego; jej całkowite natężenie przepływu nie może być mniejsze niż 26 L/min przy normalnej temperaturze i ciśnieniu;
- f) *kontrolowanie temperatury*: wewnętrzny ciąg analizatora próbek na długości do uchwytu filtra musi być utrzymywana w temperaturze pomiędzy 60°C i 175°C ze stabilnością $\pm 15^{\circ}\text{C}$;

Uwaga. – Celem tego jest zapobieganie kondensacji pary wodnej przed dojściem do uchwytu filtra i wewnątrz niego.



Rys. A2-1. Układ analizy dymu

- g) Jeśli jest wskazane osiągnięcie większego natężenia przepływu próbki przez sondę niż przez uchwyt filtru, można zabudować dodatkowy dzielnik przepływu pomiędzy sondą a zaworem A (rys. A2-1) w celu rozładowania nadmiaru przepływu. Ciąg rozładowujący musi być możliwie najbliżej odprowadzenia sondy i nie może wpływać na zdolność układu pobierania próbek do utrzymywania wymaganego 80% pobierania ciśnienia przez układ sondy. Przepływ rozładowujący może także być skierowany do analizatora CO₂ lub do skompletowanego układu analizy emisji.
- h) Jeśli jest użyty dzielnik przepływu, musi być przeprowadzona próba w celu wykazania, że dzielnik przepływu nie zmienia poziomu dymu przechodzącego przez uchwyt filtru. Może być to spełnione przez odwrócenie przewodów wylotowych z dzielnika przepływu i wykazanie, z dokładnością metody, że poziom dymu nie zmienia się.
- i) *zdolność do przecieku*: podukład musi spełnić wymagania następujących prób:
- 1) założyć czysty materiał filtrujący do uchwytu filtru,
 - 2) zamknąć zawór A, w pełni otworzyć zawory B, C i D,
 - 3) uruchomić na 1 minutę pompę próżniową do osiągnięcia stanu równowagi;
 - 4) kontynuować pompowanie i mierzyć objętość przepływu przez miernik, przez okres 5 minut. Objętość przepływu nie może przekroczyć 1 L (odniesionych do normalnej temperatury i ciśnienia), a układ nie może być używany, dopóki nie osiągnie tego standardu.
- j) *reflektometr*: pomiary zaczernienia odbicia rozproszonego materiału filtracyjnego muszą być wykonywane przyrządami zgodnymi z normą nr ISO 5-4¹ Międzynarodowej Organizacji Normalizacyjnej. Średnica wiązki światła reflektometru na papierze filtrującym nie może przekroczyć D/2 i nie może być mniejsza niż D/10, gdzie D jest średnicą zabarwionej plamy na filtrze, jak określono na rys. A2-1.

2.4 Wymagania odnośnie paliwa

Paliwo musi spełniać wymagania podane w dodatku 4.

2.5 Procedury pomiaru dymu

2.5.1 Operowanie silnikiem

2.5.1.1 Silnik musi pracować na urządzeniu do prób statycznych, które jest odpowiednio wyposażone w celu wykonania prób osiągow o dużej dokładności.

2.5.1.2 Pomiary muszą być wykonywane z ustawieniami ciągu, zatwierdzonymi przez władze certyfikujące. Silnik musi być ustabilizowany dla każdego ustawienia.

¹ Międzynarodowa Organizacja Normalizacyjna, norma nr ISO 5-4: 1995 zatytułowana: „Photography – Density measurements – Part 4: Geometric conditions for reflection density”.

2.5.2 Sprawdzanie przecieku i zanieczyszczeń

Pomiary nie mogą być wykonywane, dopóki wszystkie przewody do przesyłu próbek i zawory nie będą nagrzane i stabilne. Przed seriami prób układ musi być sprawdzony pod względem przecieków i zanieczyszczeń, jak następuje:

- a) *sprawdzanie przecieku*: oddzielić sondę i zamknąć koniec ciągu próbek, wykonać próby przecieku, jak określono w p. 2.3 h) z następującym wyjątkiem: zawór A jest otwarty i ustawiony w położeniu „bocznik”, zawór D jest zamknięty, dopuszczalny przeciek wynosi 0,4L/min przy standardowej temperaturze i ciśnieniu. Przywrócić wzajemne połączenie sondy i ciągu;
- b) *sprawdzenie zanieczyszczeń*:
 - 1) otworzyć zawory B, C i D;
 - 2) uruchomić na 5 minut pompę próżniową i alternatywnie ustawić zawór A w położeniu „bocznik” i „próbka” dla przedmuchania całego układu czystym powietrzem;
 - 3) ustawić zawór A w położeniu „bocznik”;
 - 4) zamknąć zawór D i zamocować czysty materiał filtracyjny do uchwytu; otworzyć zawór D;
 - 5) ustawić zawór A na „próbka” i ponownie ustawić na „bocznik” po przejściu 50 kg powietrza na m² filtru przez materiał filtracyjny;
 - 6) zmierzyć powstałą płamę na filtrze SN', jak opisano w p. 3 niniejszego dodatku;
 - 7) jeśli SN' przekracza 3, układ musi być oczyszczony (lub inaczej poprawiony), aż zostanie osiągnięta wartość mniejsza niż 3.

Układ nie może być używany, dopóki nie zostanie sprawdzony względem niniejszych wymagań w zakresie przecieków i zanieczyszczeń.

2.5.3 Pomiar dymu

Pomiar dymu musi być wykonany niezależnie od innych pomiarów, chyba że wartości dymu tak zmierzone są znacząco poniżej wartości dopuszczalnych lub może być wykazane, że wartości dymu z jednoczesnych pomiarów dymu i emisji gazowych są ważne, w takim przypadku pomiary dymu mogą być wykonywane równocześnie z pomiarami emisji gazowych. We wszystkich przypadkach wymagania odnośnie promienia krzywizny skrzyżowanego ciągu próbek, określone w p. 2.2.2, muszą być ściśle przestrzegane. Podukład analizy dymu musi być ustawiony zgodnie z wymaganiami p. 2.3 i spełniać je. Odnośnie rys. A2-1, główne czynności prowadzące do uzyskania próbek zaplamionych filtrów są następujące:

- a) podczas operowania silnikiem z sondą będącą w miejscu pomiaru, zawór A nie może być w położeniu bez przepływu, gdyż grozi to gromadzeniem się cząstek w przewodzie;
- b) przełączyć zawór A w położenie „bocznik”, zamknąć zawór D i włożyć czysty filtr do uchwytu. Przez co najmniej 5 minut kontynuować pobieranie próbek spalin w ustawieniu bocznika, podczas gdy silnik jest w wymaganym zakresie pracy lub blisko niego, zaworem C ustawić natężenie przepływu 14 ±0,5 L/min;
- c) otworzyć zawór D i ustawić zawór A w położenie „próbka”, używając zaworu B ustawić natężenie przepływu jak w podpunkcie b);
- d) ustawić zawór A w położenie „bocznik” i zamknąć zawór D, włożyć czysty materiał filtracyjny do uchwytu;
- e) jeśli silnik pracuje w ustabilizowany sposób, pozwolić na przepływ próbki przez 1 minutę przy ustawieniach jak w podpunkcie d);

- f) otworzyć zawór D, ustawić zawór A w położeniu „próbka”, ponownie wyregulować natężenie przepływu, jeśli to konieczne, i zezwolić wybranej próbce objętościowej (*patrz h*) na przepływ przed ponownym ustawieniem zaworu A w położeniu „bocznik” i zamknięciem zaworu D;
- g) wyjąć zaplamiony filtr do analizy, włożyć czysty filtr do uchwytu;
- h) wybrana wielkość próbki musi mieścić się w zakresie od 12 kg do 21 kg spalin/m² filtru i musi zawierać próbki o wielkości 16,2 kg spalin/m² filtru lub ponad i poniżej tej wartości. Liczba próbek dla każdego warunków pracy silnika nie może być mniejsza niż 3, a czynności opisane w podpunktach od e) do g) muszą być powtórzone, jeśli jest to konieczne.

3. OBLICZANIE ZADYMIENIA NA PODSTAWIE ZMIERZONYCH DANYCH

3.1 Zaplamione próbki filtru, uzyskane jak opisano w p. 2.5.3, muszą być analizowane przy użyciu reflektometru, jak określono w p. 2.3. Materiał podstawy musi być czarny z bezwzględnym współczynnikiem odbicia mniejszym niż 3%. Odczyty współczynnika odbicia R_S z każdego zaplamionego filtru muszą być użyte do obliczenia zmniejszenia odbicia ze wzoru:

$$SN' = 100 (1 - R_S/R_W)$$

gdzie R_W jest bezwzględnym współczynnikiem odbicia czystego materiału filtracyjnego.

3.2 Masy różnych próbek muszą być obliczane jako

$$W = 0,348 PV/T \times 10^{-2} \text{ (kg)}$$

gdzie P i T są, odpowiednio, ciśnieniem próbki w paskalach i temperaturą w kelwinach, mierzonymi bezpośrednio przed miernikiem objętości. V jest zmierzoną objętością próbki w m³.

3.3 Dla każdego warunków pracy silnika, w przypadku, gdy wielkości próbek są powyżej i poniżej wartości wzorcowej, muszą być sporządzone wykresy wartości SN' jako zależność w funkcji $\log W/A$, gdzie A jest zaplamioną powierzchnią filtru (m²). Używając prostej najmniejszych kwadratów, należy określić wartość SN' dla $W/A = 16,2 \text{ kg/m}^2$, którą podaje się w sprawozdaniu jako zadymienie (SN) dla tego zakresu pracy silnika. Gdy wielkość próbek jest równa wartości wzorcowej, wówczas należy podać SN jako średnią arytmetyczną z poszczególnych wartości SN' .

4. PRZEDSTAWIANIE DANYCH WŁADZOM CERTYFIKUJĄCYM

Zmierzone dane muszą być przedstawione władzom certyfikującym. Ponadto należy podać następujące dane dla każdej próby:

- a) temperatura próbki;
- b) ciśnienie próbki;
- c) rzeczywista objętość próbki w warunkach próbkowania;
- d) rzeczywiste natężenie przepływu próbki w warunkach próbkowania; oraz
- e) udowodnienie sprawdzenia przecieku i zanieczyszczeń (*patrz p. 2.5.2*).

DODATEK 3. OPRZYRZĄDOWANIE I TECHNIKI POMIAROWE DO POMIARU EMISJI GAZOWYCH

1. WPROWADZENIE

Uwaga. – Procedury określone w niniejszym dodatku dotyczą pobierania reprezentatywnych próbek spalin oraz ich przesyłania i analizowania przez układ pomiarowy emisji. Procedur tych nie stosuje się do silników z dopalaniem. Przedstawione metody reprezentują najłatwiej dostępną i powszechnie uznaną praktykę.

Wszystkie procedury równoważne do procedury zawartej w niniejszym dodatku mogą być dozwolone jedynie po uprzednim wystąpieniu do władz certyfikujących i uzyskaniu ich zgody.

2. DEFINICJE

Następujące wyrażenia użyte w niniejszym dodatku mają znaczenie opisane poniżej:

Dokładność. Bliskość, z jaką pomiar zbliża się do prawdziwej wartości, ustalonej niezależnie.

Współczynnik nadmiaru powietrza. Masowe natężenie powietrza przepływającego przez gorącą część silnika, podzielone przez masowe natężenie paliwa doprowadzanego do silnika.

Gaz wzorcowy. Gaz z dokładnie określonymi składnikami, używany do zestrzajania, regulowania i okresowego sprawdzania przyrządów.

Stężenie gazu. Stężenie objętościowe danego składnika w mieszaninie gazów, wyrażone jako procent objętości lub liczba części na milion.

Czujnik jonizacji płomieniowej. Czujnik płomieniowy dyfuzji węglowodorów-powietrze, wytwarzający sygnał nominalnie proporcjonalny do masowego natężenia węglowodorów wchodzących do płomienia w jednostce czasu; ogólnie ujmując, czujnik reagujący na liczbę atomów węgla wprowadzanych do płomienia.

Zakłócenie. Reakcja przyrządu na obecność składników innych niż mierzony gaz (lub para).

Szum. Przypadkowe wahania na wyjściu z przyrządu, niezwiązane z właściwościami badanej próbki, dostrzegalne wskutek jego charakterystyk pełzania.

Bezdypersyjny analizator podczerwieni. Przyrząd mierzący wybiórczo poszczególne składniki poprzez pochłanianie energii podczerwieni.

Części na milion (ppm). Jednostka stężenia objętościowego gazu na milion jednostek objętości mieszaniny gazów, której jest on częścią.

Części węgla na milion (ppmC). Część mola węglowodoru pomnożona przez 10^{-6} , zmierzonego na podstawie równoważnika metanu. 1 ppm metanu jest wykazywany jako 1 ppmC. W celu przeliczenia stężenia ppm danego węglowodoru na równoważną wartość ppmC, należy przemnożyć stężenie ppm przez liczbę atomów węgla w cząsteczce gazu, np. 1 ppm propanu przelicza się na 3 ppmC węglowodoru; 1 ppm heksanu na 6 ppmC węglowodoru.

Gaz odniesienia. Mieszanina gazów o określonym, znanym składzie, używana jako baza do interpretacji odpowiedzi przyrządu na stężenie badanego gazu, na który reaguje przyrząd.

Powtarzalność. Dokładność, z jaką pomiary danej, niezmienniej próbki będą odtwarzane w krótkookresowych, powtarzalnych pomiarach bez konieczności regulowania przyrządu.

Rozdzielczość. Najmniejsza zmiana mierzonej wielkości, która może być wykryta.

Odpowiedź. Zmiana sygnału wyjściowego przyrządu wywołana zmianą stężenia próbki gazu.

Stabilność. Dokładność, z jaką wyniki powtarzalnych pomiarów danej niezmienniej próbki będą utrzymywane przez dany czas.

Pelzanie zera. Związany z czasem błąd wyjścia przyrządu od ustawienia punktu zerowego przy pracy z gazem bez mierzonego składnika.

Gaz zerowy. Gaz używany do ustalenia zera lub braku odpowiedzi przyrządu.

3. WYMAGANE DANE

3.1 Emisje gazowe

Należy określić stężenie gazu dla następujących emisji:

- a) Węglowodory (HC): ocena łączna wszystkich składowych węglowodorów, obecnych w spalinach.
- b) Tlenek węgla (CO).
- c) Dwutlenek węgla (CO₂).

Uwaga. – CO₂ nie jest regulowaną emisją silnika, ale jego stężenie jest wymagane do obliczeń i w celu sprawdzenia.

- d) Tlenki azotu (NO_x): oszacowana suma dwóch tlenków: tlenku azotu (NO) i dwutlenku azotu (NO₂).
- e) Tlenek azotu (NO).

3.2 Inne informacje

W celu ujednolicenia danych pomiarów emisji i określenia ilościowego osiągnięcia silników, muszą być podane następujące dodatkowe informacje:

- a) temperatura na wlocie;
- b) wilgotność na wlocie;
- c) ciśnienie atmosferyczne;
- d) stosunek wodoru/węgiel w paliwie;

- e) inne wymagane parametry silnika (np. ciąg, prędkości wirnika, temperatury turbiny i natężenie przepływu powietrza w wytwornicy gazu).

Dane te muszą być uzyskane z bezpośrednich pomiarów lub na podstawie obliczeń, jak podano w uzupełnieniu F do niniejszego dodatku.

4. OGÓLNA KONFIGURACJA UKŁADU

Próbki spalin przesyłane do analizatorów tlenków azotu i węglowodorów nie mogą przechodzić przez suszarki, wodne studzienki kontrolne lub podobne wyposażenie. Wymagania odnośnie różnych składowych podukładów zawarte są w punkcie 5, ale poniższy spis podaje kilka warunków i odstępstw:

- a) Zakłada się, że każdy z poszczególnych, różnych podukładów zawiera niezbędne urządzenia sterowania przepływem, kondycjonujące i pomiarowe;
- b) Konieczność zrzutu i/lub użycia pompy do gorącej próbki będzie zależeć od zdolności osiągnięcia wymagań dla czasu przesyłu próbki i tempa przepływu próbek przez podukład analizujący. Zależy to od ciśnienia kierującego próbkę spalin i strat na długości ciągu. Uważa się, że te pompy zazwyczaj będą niezbędne w pewnych zakresach pracy silnika;
- c) Umieszczenie gorącej pompy w stosunku do podukładu analizy gazu może być różne, zależnie od potrzeb. (Np. niektóre analizatory HC zawierają gorące pompy, więc mogą być uznane że nadają się do przed układem gorącej pompy).

Uwaga. – Rys. A3-1 schematycznie pokazuje układ pobierania próbek spalin i ich analizy oraz stwarza wzorzec podstawowych wymagań w zakresie prób emisji.

5. OPIS CZĘŚCI SKŁADOWYCH

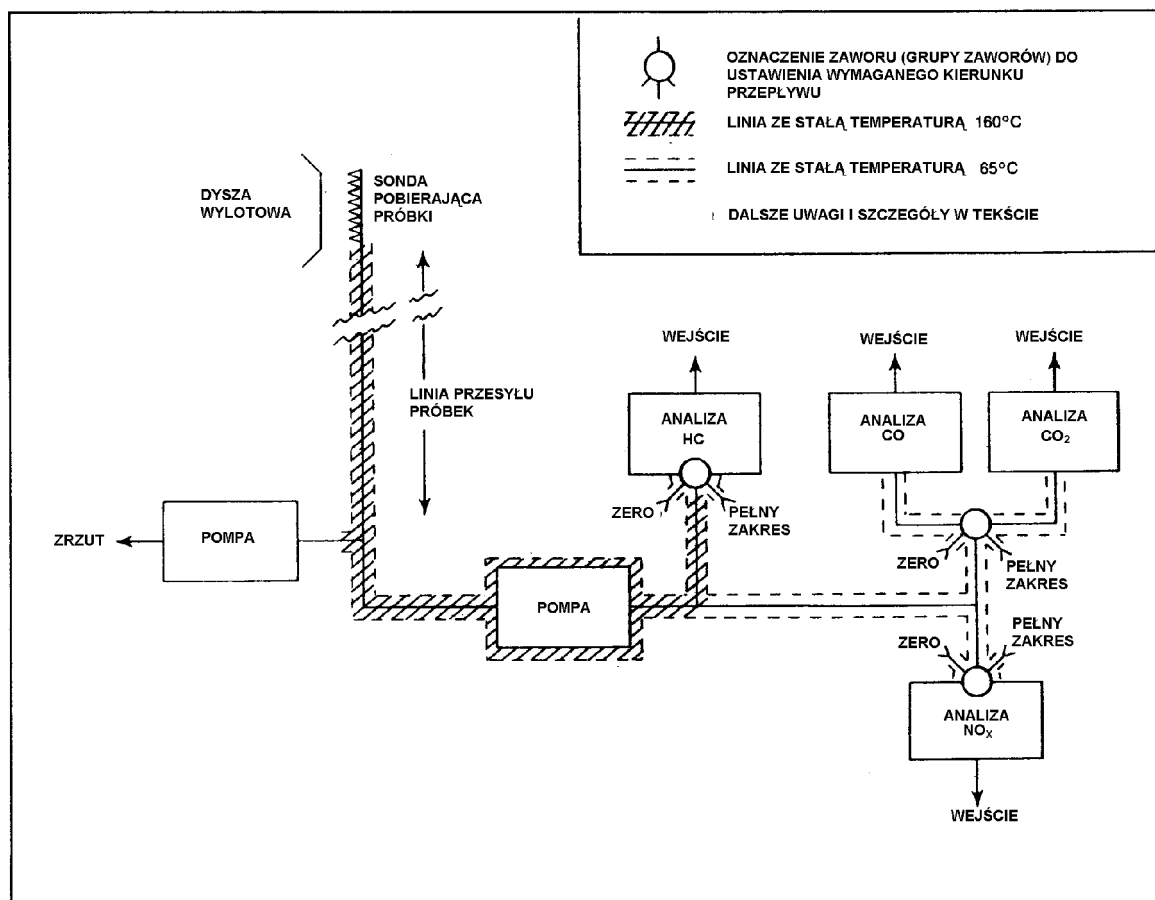
Uwaga. – Ogólny opis i wymagania odnośnie podstawowych elementów układu pomiaru emisji spalin z silnika zawarto poniżej. Dalsze szczegóły, gdzie to niezbędne, można znaleźć w uzupełnieniach A, B i C do niniejszego dodatku.

5.1 Układ pobierania próbek

5.1.1 Sonda pobierająca próbki

Sonda musi spełniać następujące wymagania:

- a) Sonda, będąca w kontakcie z próbkami spalin, musi być wykonana ze stali nierdzewnej lub innego, niereagującego materiału.
- b) Jeśli jest użyta sonda z wieloma otworami do pobierania próbek:
 - 1) wszystkie otwory muszą być o jednakowej średnicy.
 - 2) Konstrukcja sondy musi być taka, aby co najmniej 80% ciśnienia działającego na zespół sondy było pobierane przez otwory;
- c) ilość miejsc pobierania próbek nie może być mniejsza niż 12.
- d) płaszczyzna pobierania próbek musi być położona tak blisko płaszczyzny wylotowej silnika, jak pozwalają na to osiągi silnika, jednak w każdym przypadku musi znajdować się w odległości mniejszej niż 0,5 średnicy dyszy wylotowej.
- e) Wnioskujący musi szczegółowo rozpatrzyć i udowodnić władzom certyfikującym, że proponowana konstrukcja sondy i jej umieszczenie zapewni uzyskanie próbki reprezentatywnej dla każdego określonego ustawienia ciągu.



Rys. A3-1. Schemat układu pobierania i analizy próbek spalin.

5.1.2 Ciąg pobierania próbek

Próbka musi być przekazywana z sondy do analizatorów przewodem o średnicy wewnętrznej od 4,0 do 8,5 mm, możliwie najkrótszą drogą, przy użyciu takiego natężenia przepływu, aby czas przesyłu był krótszy niż 10 sekund. Ciąg musi być utrzymywany w temperaturze $160^{\circ}\text{C} \pm 15^{\circ}\text{C}$, z wyjątkiem:

- odcinka wymaganego do schłodzenia gazu od temperatury wylotu z silnika do kontrolowanej temperatury ciągu, oraz
- odgałęzienia dostarczającego próbki do analizatorów CO, CO₂ i NO_x. Ciąg odgałęzienia musi być utrzymywany w temperaturze $65^{\circ}\text{C} \pm 15^{\circ}\text{C}$. Ciąg pobierania próbek do mierzenia stężenia HC, CO, CO₂ i NO_x musi być wykonany ze stali nierdzewnej lub wypełnionego węglem uziemionego PTFE.

5.2 Analizator HC

Pomiar całkowitej zawartości węglowodorów w próbce musi być wykonany przy użyciu analizatora wyposażonego w czujnik płomieniowo-jonizacyjny (FID), pomiędzy elektrodami którego przechodzi prąd jonowy, proporcjonalny do masy węglowodoru, wprowadzonej do płomienia wodorowego. Analizator musi zawierać podzespoły kontrolujące temperaturę i natężenie przepływu próbek, próbek bocznikowanych, paliwa i gazów rozpuszczających oraz musi mieć właściwy zakres pomiarowy i sprawdzenie kalibracji zera.

Uwaga. – Ogólne wymagania są podane w uzupełnieniu A do niniejszego dodatku.

5.3 Analizatory CO i CO₂

Do pomiarów tych składników muszą być użyte bezdyspersyjne analizatory podczerwieni o konstrukcji wykorzystującej różnicę w pochłanianiu energii promieniowania w równoległych ogniach: odniesienia i zawierającym próbkę gazu; ogniwo lub grupa ogniów dla każdego z tych gazów składowych ma odpowiednią czułość. Podukłady analizujące muszą zawierać wszelkie niezbędne funkcje do sprawdzania i obsługi próbek, zerowania i oceny przepływu gazów. Kontrolowanie temperatury musi być odpowiednie dla wybranej bazy pomiaru, wilgotnej lub suchej.

Uwaga.– *Ogólne wymagania są podane w uzupełnieniu B do niniejszego dodatku.*

5.4 Analizator NO_x

Pomiar stężenia NO musi być wykonywany metodą chemiluminescencyjną, w której mierzy się natężenie promieniowania, emitowanego podczas reakcji NO w próbce po dodaniu O₃, jest ono miarą stężenia NO. Składnik NO₂ musi być przed pomiarem przekształcony w NO w konwertorze o żądanej sprawności. Tak powstały układ pomiarowy NO_x musi zawierać wszystkie niezbędne urządzenia sterujące przepływem, temperaturą i innymi parametrami oraz musi mieć możliwość kalibracji zera i zakresu pomiaru, jak również sprawdzania sprawności konwertora.

Uwaga.– *Ogólne wymagania są podane w uzupełnieniu C do niniejszego dodatku.*

6. OGÓLNE PROCEDURY PRÓB

6.1 Praca silnika

6.1.1 Silnik musi pracować w urządzeniu do prób statycznych, które jest odpowiednio wyposażone w celu prowadzenia prób osiągow o dużej dokładności.

6.1.2 Pomiary muszą być wykonywane z ustawieniami ciągu, nakazanymi przez władze certyfikujące. Silnik musi być ustabilizowany dla każdego ustawienia.

6.2 Ogólna kalibracja układu

Uwaga.– *Głównym zadaniem tej kalibracji jest zapewnienie stabilności i liniowości.*

6.2.1 Wnioskujący musi wykazać władzom certyfikującym, że kalibracja układu analizującego była ważna w czasie prób.

6.2.2 Dla analizatora węglowodoru kalibracja musi obejmować sprawdzenie, czy odpowiedzi: czujnika tlenu i różnicowa węglowodoru mieszczą się w określonych granicach, ustanowionych w uzupełnieniu A do niniejszego dodatku. Sprawność konwertora musi także być sprawdzona i weryfikowana pod względem spełnienia wymagań podanych w uzupełnieniu C do niniejszego dodatku.

6.2.3 Procedura sprawdzania osiągow każdego analizatora musi być następująca (przy użyciu gazów wzorcowych i gazów odniesienia, jak określono w uzupełnieniu D do tego dodatku):

- a) wprowadź gaz zerowy i nastaw przyrząd na zero, zapisując ustawienie jako właściwe;
- b) dla każdego używanego zakresu roboczego wprowadź gaz wzorcowy o stężeniu równym (nominalnemu) 90-procentowemu odchyleniu pełnego zakresu (FSD); nastaw odpowiednie wzmocnienie przyrządu i zapisz to ustawienie;

- c) wprowadź stężenia w przybliżeniu 30, 60 i 90% zakresu FSD i zapisz odczyty analizatora;
- d) wpasuj linię prostą najmniejszych kwadratów w punkty stężenia 0, 30, 60 i 90%. Dla analizatorów CO i/lub CO₂, użytych w ich podstawowej formie bez linearyzacji wyjścia, może okazać się konieczne zastosowanie krzywej najmniejszych kwadratów właściwego sformułowania matematycznego z użyciem dodatkowych punktów kalibracyjnych. Jeśli jakiś punkt wykazuje odchyłkę większą niż 2% wartości pełnego zakresu (lub ± 1 ppm* zależnie, która wartość jest większa), wówczas należy sporządzić krzywą kalibracji do użycia roboczego.

6.3 Prowadzenie prób

6.3.1 Pomiary nie mogą być wykonywane, dopóki wszystkie instrumenty i ciąg przesyłu próbek nie będą nagrzane i stabilne oraz nie były przeprowadzone poniższe sprawdzenia:

- a) sprawdzenie przecieku: przed serią prób układ musi być sprawdzony pod względem przecieku przez odłączenie sondy i analizatora, podłączenie pompy próżniowej i jej pracę z osiąganymi równoważnymi do tych, które były użyte z układem pomiaru dymu, w celu sprawdzenia, że przepływ przecieku układu jest mniejszy niż 0,4 L/min w odniesieniu do normalnej temperatury i ciśnienia. Pompa próżniowa powinna charakteryzować się próżnią bez przepływu wynoszącą -75kPa w odniesieniu do ciśnienia atmosferycznego; jego pełne natężenie przepływu nie może być mniejsze niż 26l/min przy standardowej temperaturze i ciśnieniu;
- b) sprawdzenie zanieczyszczeń: odłączyć układ próbkowania gazu od sondy i podłączyć koniec ciągu do próbkowania do źródła gazu zerowego. Ogrzać układ do temperatury pracy niezbędnej przy pomiarach węglowodorów. Uruchomić pompę zasysającą próbki i ustawić przepływ stosowany podczas pomiarów emisji silnika. Zapisać odczyt analizatora węglowodoru. Odczyt nie może przekroczyć 1% poziomu emisji biegu jałowego silnika lub 1 ppm* (w obu przypadkach wyrażonego jako metan), zależnie, która wartość jest większa.

Uwaga 1. – Jest dobrą praktyką wsteczne oczyszczanie ciągu próbek podczas pracy silnika, chociaż sonda jest w wylocie silnika, ale emisje nie są mierzone, w celu upewnienia się, że brak jest znaczącego zanieczyszczenia.

Uwaga 2. – Dobrą praktyką jest także kontrolowanie jakości powietrza wlotowego na początku i końcu prób oraz co najmniej raz na godzinę podczas prób. Jeśli poziomy są uznane za znaczące, wówczas muszą być brane pod uwagę.

6.3.2 Następująca procedura musi być przyjęta dla pomiarów roboczych:

- a) zastosować odpowiedni gaz zerowy i wykonać niezbędne regulacje przyrządu;
- b) zastosować odpowiedni gaz wzorcowy o nominalnym stężeniu 90% FSD dla używanego zakresu, odpowiednio wyregulować i zapisać ustawienie wzmocnienia;
- c) gdy silnik ustabilizuje się na wymaganym zakresie ciągu, utrzymywać jego bieg i obserwować stężenie polutanta aż do ustalenia się odczytu, który należy zapisać;
- d) ponownie sprawdzić punkt zerowy i punkty kalibracyjne na końcu prób, a także w odstępach czasu nie większych niż 1 godzina podczas prób. Jeśli któryś z nich zmienił się o więcej niż $\pm 2\%$ zakresu FSD, próba musi być powtórzona po przywróceniu przyrządu do wymaganych ustawień.

6.4 Sprawdzenie bilansu węgla

Każda próba musi obejmować sprawdzenie, że współczynnik powietrze/paliwo, oszacowany na podstawie zintegrowanego stężenia całkowitego węgla próbki, wyłączwszy dym, jest zgodny z oszacowaniem, bazującym na współczynniku powietrze/paliwo silnika w granicach $\pm 15\%$ dla zakresu kołowanie/bieg jałowy oraz w granicach 10% dla wszystkich innych zakresów (patrz p. 7.1.2).

* Z wyjątkiem analizatora CO₂, dla którego ta wartość musi wynosić ± 100 ppm.

7. OBLICZENIA

7.1. Emisje gazowe

7.1.1 Postanowienia ogólne

Muszą być wykonane pomiary analityczne stężeń różnych emisji gazowych, wykrytych w poszczególnych analizatorach dla zakresu temperatur na wlocie komory spalania (T_B), obejmujących 4 zakresy pracy silnika LTO. Stosując równania z p. 7.1.2 lub inne alternatywne metody określone w uzupełnieniu E do niniejszego dodatku, należy określić zmierzone indeksy emisji (EI) dla każdej emisji gazowej. Dla uwzględnienia różnic od wzorcowych warunków atmosferycznych, muszą być wykonane poprawki podane w p. 7.1.3. Należy wziąć pod uwagę, że te poprawki mogą także uwzględniać odchyłki badanego silnika od silnika odniesienia (patrz dodatek 6, punkt 1 f)). Stosując procedurę z p. 7.2 oraz temperaturę wlotu do komory spalania (θ) jako parametr korelacyjny, muszą być określone indeksy emisji oraz przepływ paliwa dla operacji w czterech zakresach pracy LTO znormalizowanego silnika odniesienia w warunkach wzorcowego dnia.

7.1.2 Podstawowe parametry

$$EI_p \text{ (indeks emisji dla składnika } p) = \frac{\text{masa wytworzonego } p \text{ w g}}{\text{masa użytego paliwa w kg}}$$

$$EI(\text{CO}) = \left(\frac{[\text{CO}]}{[\text{CO}_2] + [\text{CO}] + [\text{HC}]} \right) \left(\frac{10^3 M_{\text{CO}}}{M_{\text{C}} + (n/m)M_{\text{H}}} \right) (1 + T(P_o/m))$$

$$EI(\text{HC}) = \left(\frac{[\text{HC}]}{[\text{CO}_2] + [\text{CO}] + [\text{HC}]} \right) \left(\frac{10^3 M_{\text{HC}}}{M_{\text{C}} + (n/m)M_{\text{H}}} \right) (1 + T(P_o/m))$$

$$EI(\text{NO}_x) \text{ (jako NO}_2) = \left(\frac{[\text{NO}_x]}{[\text{CO}_2] + [\text{CO}] + [\text{HC}]} \right) \left(\frac{10^3 M_{\text{NO}_2}}{M_{\text{C}} + (n/m)M_{\text{H}}} \right) (1 + T(P_o/m))$$

$$\text{Współczynnik nadmiaru powietrza} = (P_o/m) \left(\frac{M_{\text{AIR}}}{M_{\text{C}} + (n/m)M_{\text{H}}} \right)$$

gdzie:

$$P_o/m = \frac{2Z - n/m}{4(1 + h_{\text{vol}} - |TZ/2|)}$$

oraz

$$Z = \frac{2 - [\text{CO}] - ([2/x] - [y/2x]) [\text{HC}] + [\text{NO}_2]}{[\text{CO}_2] + [\text{CO}] + [\text{HC}]}$$

M_{AIR} masa cząsteczkowa suchego powietrza = 28,966 g
lub, gdzie to właściwe, = (32 R + 28,1564 S + 44,011 T) g

M_{CO} masa cząsteczkowa CO = 28,011 g

M_{HC} masa cząsteczkowa węglowodorów w spalinach, liczonych jako CH₄ = 16,043 g

M_{NO_2}	masa cząsteczkowa $\text{NO}_2 = 46,008 \text{ g}$
M_{C}	masa atomowa węgla $= 12,011 \text{ g}$
M_{H}	masa atomowa wodoru $= 1,008 \text{ g}$
$[\text{O}_2]_{\text{b}}$	stężenie O_2 w suchym powietrzu, objętościowo $= 0,2095$ normalnie
$[\text{N}_2]_{\text{b}}$	stężenie N_2 + gazy szlachetne w suchym powietrzu, objętościowo $= 0,7092$ normalnie
$[\text{CO}_2]_{\text{b}}$	stężenie CO_2 w suchym powietrzu, objętościowo $= 0,0003$ normalnie
$[\text{HC}]$	średnie stężenie węglowodorów w spalinach, vol/vol, wyrażonych jako węgiel
$[\text{CO}]$	średnie stężenie wilgotnego CO , vol/vol
$[\text{CO}_2]$	średnie stężenie wilgotnego CO_2 , vol/vol
$[\text{NO}_x]$	średnie stężenie wilgotnego NO_x , vol/vol $= [\text{NO} + \text{NO}_2]$
$[\text{NO}]$	średnie stężenie wilgotnego NO w próbce spalin, vol/vol
$[\text{NO}_2]$	średnie stężenie wilgotnego NO_2 w próbce spalin, vol/vol

$$= \frac{([\text{NO}_x]_{\text{c}} - [\text{NO}])}{\eta}$$

$[\text{NO}_x]_{\text{c}}$ średnie stężenie wilgotnego NO w próbce spalin po przejściu przez konwertor NO_2/NO , vol/vol

η sprawność konwertora NO_2/NO

h_{vol} wilgotność powietrza otoczenia, vol wody/vol suchego powietrza

m liczba atomów C w charakterystycznej cząsteczce paliwa

n liczba atomów H w charakterystycznej cząsteczce paliwa

x liczba atomów C w charakterystycznej cząsteczce węglowodoru w spalinach

y liczba atomów H w charakterystycznej cząsteczce węglowodoru w spalinach

Wartość n/m , stosunek liczby atomów wodoru do liczby atomów węgla w użytym paliwie, jest oceniana przez analizę typu paliwa. Wilgotność powietrza otoczenia h musi być mierzona w każdych warunkach ustawienia. Przy braku przeciwnych dowodów dotyczących cech (x , y) węglowodorów w spalinach, należy użyć wartości $x = 1$, $y = 4$. Jeśli do pomiarów używa się suchych lub półsuchych CO i CQ , wówczas muszą one być przekształcone do równoważnego wilgotnego stężenia, jak określono w uzupełnieniu E do tego dodatku, zawierającym także wzory wymaganej poprawki zakłóceń.

7.1.3 Korekta indeksów emisji do warunków odniesienia

7.1.3.1 Do zmierzonych indeksów emisji z silnika, dla wszystkich polutantów we wszystkich stosownych zakresach pracy silnika, muszą być wykonane korekty, uwzględniające odchyłki od warunków atmosferycznych odniesienia (ISA na poziomie morza) rzeczywistej temperatury i ciśnienia powietrza na wlocie

podczas prób. Korekty mogą także uwzględniać odchyłki badanego silnika od znormalizowanego silnika odniesienia (patrz dodatek 6, punkt 1f)). Jako wartość odniesienia dla wilgotności przyjmuje się 0,00634 kg wody/kg suchego powietrza. Tak więc EI skorygowany = $K \times \text{EI zmierzony}$, gdzie uogólnione wyrażenie K wynosi:

$$K = (P_{Bref}/P_B)^a \times (FAR_{ref}/FAR_B)^b \times \exp([T_{Bref} - T_B]/c) \times \exp(d[h_{mass} - 0,00634])$$

P_B zmierzone ciśnienie na wlocie do komory spalania

T_B zmierzona temperatura na wlocie do komory spalania

FAR_B współczynnik nadmiaru powietrza w komorze spalania

h_{mass} wilgotność powietrza otoczenia, kg wody/kg suchego powietrza

P_{ref} ciśnienie ISA na poziomie morza

T_{ref} temperatura ISA na poziomie morza

P_{Bref} ciśnienie na wlocie do komory spalania badanego silnika (lub silnika odniesienia, jeśli dane są skorygowane do silnika odniesienia), związane z T_B w warunkach ISA na poziomie morza.

T_{Bref} temperatura na wlocie do komory spalania badanego silnika w warunkach ISA na poziomie morza (lub silnika odniesienia, jeśli dane są skorygowane do silnika odniesienia). Jest to temperatura połączona z każdym poziomem ciągu, wymaganym dla każdego zakresu.

FAR_{ref} współczynnik nadmiaru powietrza w komorze spalania badanego silnika w warunkach ISA na poziomie morza (lub silnika odniesienia, jeśli dane są skorygowane do silnika odniesienia).

a, b, c, d odpowiednie stałe, które mogą być różne dla każdego polutanta i dla każdego typu silnika.

Parametry wlotu do komory spalania powinny być mierzone, ale mogą być obliczone na podstawie warunków otoczenia według stosownych wzorów.

7.1.3.2 Stosując zalecaną technikę z p. 7.2 dopasowywania krzywej do powiązania indeksów emisji z temperaturą wlotu do komory spalania, skutecznie eliminuje się człon $\exp((T_{Bref} - T_B)/c)$ z ogólnego równania, a dla większości przypadków człon (FAR_{ref}/FAR_B) można przyrównać do jedności. Dla indeksów emisji CO i HC wiele urządzeń badawczych ma określone, że człon wilgotności jest wystarczająco bliski jedności, aby być wyeliminowanym z równania oraz że wykładnik członu (P_{Bref}/P_B) jest bliski jedności.

Tak więc

skorygowany EI(CO) = EI wyprowadzonemu z krzywej $(P_B/P_{Bref}) \times \text{EI(CO)}$ w funkcji T_B

skorygowany EI(HC) = EI wyprowadzonemu z krzywej $(P_B/P_{Bref}) \times \text{EI(HC)}$ w funkcji T_B

skorygowany EI(NO_x) = EI wyprowadzonemu z krzywej $\text{EI(NO}_x) \times (P_{Bref}/P_B)^{0,5} \times \exp(19[h_{mass} - 0,00634])$ w funkcji T_B .

Jeśli ta zalecana metoda korekty indeksów emisji CO i HC nie zapewni zadowalającej korelacji, wówczas może być użyta alternatywna metoda, w której stosuje się parametry wyprowadzone z prób komponentów.

Każda inna metoda wykonywania korekty indeksów emisji CO, HC i NO_x wymaga zatwierdzenia przez władze certyfikujące.

7.2 Funkcje parametrów sterowania (D_p , F_{∞} , π)

7.2.1 Definicje

D_p Masa danego polutanta gazowego, emitowanego podczas cyklu odniesienia dla emisji lądowania i startu

F_{∞} Ciąg nominalny (patrz definicję w rozdziale 1 części I)

F_n Ciąg w zakresie pracy LTO, (kN)

W_f Natężenia masowe przepływu paliwa w silniku odniesienia w warunkach ISA na poziomie morza, (kg/s).

W_{fn} Natężenia masowe przepływu paliwa w silniku odniesienia w warunkach ISA na poziomie morza w zakresie n pracy silnika LTO.

π Spręż sprężarki, czyli stosunek średniego ciśnienia całkowitego na wylocie ze sprężarki do średniego ciśnienia całkowitego na wlocie do sprężarki, gdy silnik rozwija ciąg startowy w warunkach statycznych ISA na poziomie morza.

7.2.2 Indeksy emisji (EI_n) dla każdego polutanta, skorygowane do warunków atmosferycznych odniesienia oraz, jeśli to niezbędne, do znormalizowanego silnika odniesienia (EI_n (skorygowane)), muszą być uzyskane dla każdego zakresu pracy LTO. Wymagane są co najmniej trzy punkty prób do określenia zakresu biegu jałowego. Muszą być określone następujące zależności dla każdej emisji gazowej w warunkach atmosferycznych odniesienia:

- a) pomiędzy EI (skorygowanym) i T_B ; oraz
- b) pomiędzy W_f i T_B ; oraz
- c) pomiędzy F_n i T_B ;

Uwaga 1. – Zależności te są pokazane jako przykład na rys. A3-2a), b) i c).

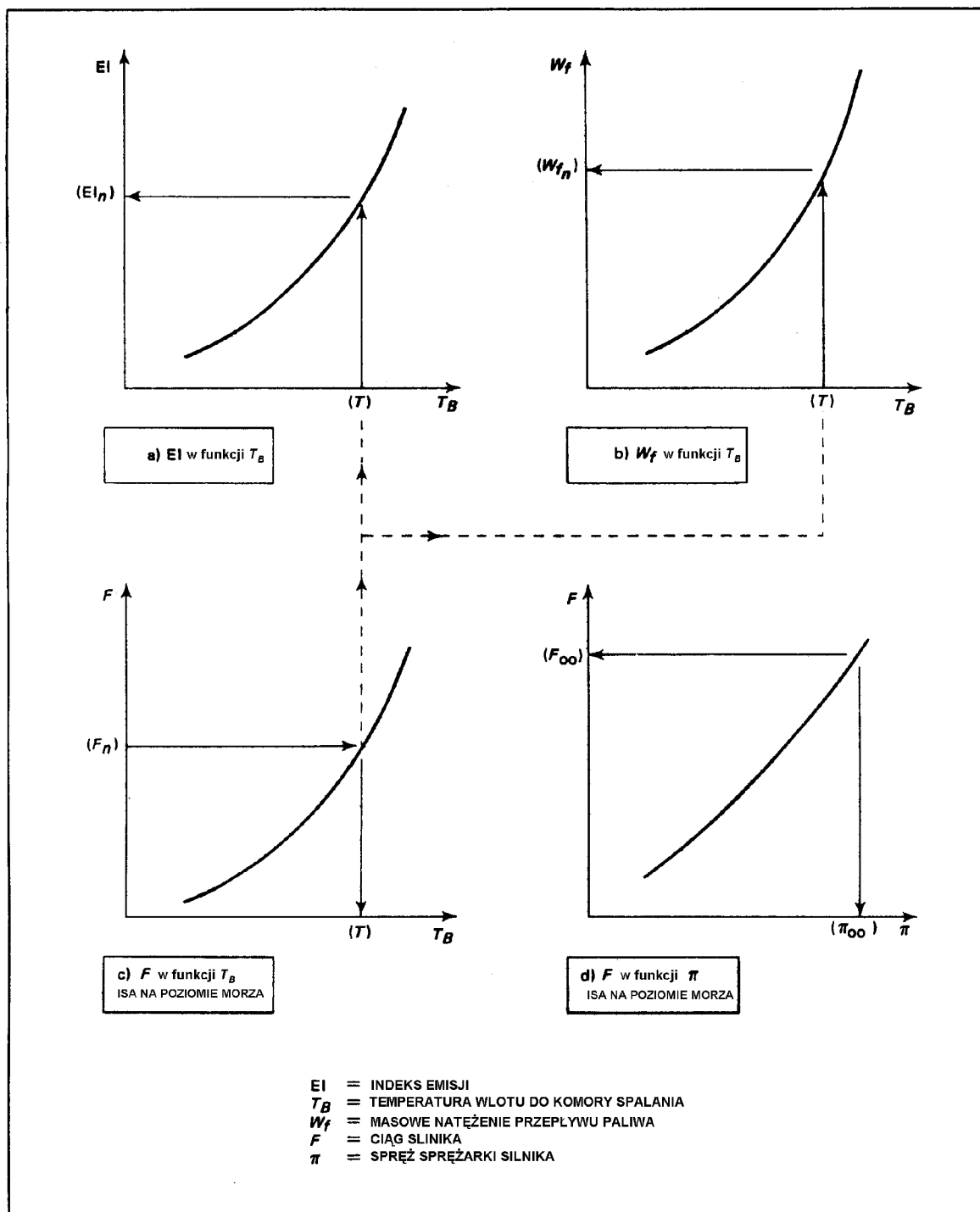
Uwaga 2. – Zależności b) i c) mogą być określone bezpośrednio z danych pomiarowych silnika lub z zatwierdzonego modelu osiągnięć silnika.

7.2.2.1 Silnik odniesienia jest zdefiniowany jako silnik rzeczywiście skonfigurowany zgodnie z typem silnika w standardzie produkcyjnym i posiadający w pełni reprezentatywne charakterystyki operacyjne i osiągi.

7.2.2.2 Producent musi także dostarczyć władzom certyfikującym wszystkie niezbędne dane o osiągnięciach silnika w celu udowodnienia tych zależności dla warunków otoczenia ISA na poziomie morza:

- a) ciąg nominalny (F_{∞});
- b) spręż sprężarki (π) przy maksymalnym ciągu.

Uwaga. – Zależności te pokazano na rys. A3-2d).



Rys. A3-2. Procedura obliczeń

7.2.3 Ocena EI (skorygowanego) dla każdej emisji gazowej dla czterech zakresów pracy LTO silnika, musi być zgodna z następującą ogólną procedurą:

- określić temperaturę na wlocie do komory spalania (T_B) (Rys. A3-2c)) dla wartości F_n odpowiednich dla czterech zakresów pracy LTO w warunkach atmosferycznych odniesienia;
- z charakterystyki EI (skorygowanego)/ T_B (rys. A3-2a)) określić wartość EI_n odpowiadającą T_B ;
- z charakterystyki W_f/T_B (rys. A3-2b)) określić wartość W_{fn} odpowiadającą T_B ;
- zapisać wartości maksymalnego ciągu ISA i stosunek ciśnień. Są to odpowiednio F_{oo} i π (rys. A3-2d));
- obliczyć dla każdego polutanta $D_p = \Sigma (EI_n) (W_{fn}) (t)$ gdzie:

t czas zakresu LTO (minuty)

W_{fn} natężenie przepływu paliwa (kg/min)

Σ suma zestawu zakresów składających się na cykl odniesienia LTO.

7.2.4 Chociaż opisana powyżej metodologia jest metodologią zalecaną, władze certyfikujące mogą zaakceptować równoważną procedurę matematyczną, która stosuje wyrażenia matematyczne reprezentujące pokazane krzywe, jeśli wyrażenie zostało wyprowadzone przy użyciu zaakceptowanej techniki dopasowywania krzywej.

7.3 Wyjątki od proponowanej procedury

W przypadkach gdyby konfiguracja silnika lub inne niesprzyjające warunki mogły uniemożliwić stosowanie niniejszej procedury, władze certyfikujące, po uzyskaniu zadowalających technicznych dowodów na równoważne wyniki uzyskane za pomocą alternatywnej procedury, mogą zaaprobować tę alternatywną procedurę.

UZUPEŁNIENIE A DO DODATKU 3. WYMAGANIA DLA ANALIZATORA HC

Uwaga 1. – Jak opisano w p. 5.2 dodatku 3, elementem pomiarowym w tym analizatorze jest czujnik płomieniowo-jonizacyjny (FID), w którym cały przepływ próbki lub jego reprezentatywna część jest wprowadzana do płomienia zasilanego wodorem. Przy odpowiednim ustawieniu elektrod ustala się prąd jonowy, który jest funkcją masy węglowodoru wprowadzonego do płomienia. Prąd ten, odniesiony do odpowiedniego zera, jest wzmacniany do odpowiedniego zakresu, aby zapewnić odpowiedź wyjściową jako miarę stężenia węglowodoru, wyrażoną jako równoważnik ppmC.

Uwaga 2. – Patrz uzupełnienie D, zawierające informacje na temat gazów wzorcowych i odniesienia.

1. POSTANOWIENIA OGÓLNE

Środki ostrożności: Wskazane wymagania dotyczą ogólnie całego zakresu analizatora. Błędy części skali mogą stanowić znaczący procent odczytu. Stosowność i ważność takiego wzrostu musi być rozważona w czasie przygotowań do pomiarów. Jeśli niezbędne są lepsze osiągi, wówczas muszą być podjęte odpowiednie środki.

Użyty przyrząd musi utrzymywać temperaturę czujnika i podzespołów obsługujących próbkę nie mniejszą niż 150°C. Wiodące wymagania zawarto w poniższych punktach, odpowiedź czujnika jest zoptymalizowana, a przyrząd ma ogólną stabilizację:

- a) *całkowity zakres:* 0 do 5 000 ppmC w odpowiednich zakresach;
- b) *rozdzielczość:* większa niż 0,5% pełnej skali użytego zakresu lub 0,5 ppmC, zależnie, która wartość jest większa;
- c) *powtarzalność:* lepsza niż $\pm 1\%$ pełnej skali użytego zakresu lub $\pm 0,5$ ppmC, zależnie, która wartość jest większa;
- d) *stabilność:* lepsza niż $\pm 2\%$ pełnej skali użytego zakresu lub $\pm 1,0$ ppmC, zależnie, która wartość jest większa, w ciągu 1 godziny;
- e) *pełzanie zera:* mniejsze niż $\pm 1\%$ pełnej skali użytego zakresu lub $\pm 0,5$ ppmC, zależnie, która wartość jest większa, w ciągu 1 godziny;
- f) *szum:* 0,5 Hz i więcej, mniejszy niż $\pm 1\%$ pełnej skali użytego zakresu lub $\pm 0,5$ ppmC, zależnie, która wartość jest większa;
- g) *czas odpowiedzi:* nieprzekraczający 10 s od wejścia próbki do układu analizującego do osiągnięcia 90% odczytu końcowego;
- h) *liniowość:* odpowiedź dla propanu w powietrzu musi być liniowa w każdym zakresie z $\pm 2\%$ pełnej skali, gdy jest inna, musi być wykonana korekta kalibracji.

2. EFEKTY SYNERGICZNE

Uwaga. – W praktyce występują dwa aspekty osiągnięć, które mogą wpływać na dokładność pomiarów:

- a) *wpływ tlenu* (w wyniku którego różne proporcje tlenu obecnego w próbce dają różne wskazania stężenia gazu węglowodorowego dla stałych rzeczywistych stężeń HC); oraz

- b) względna odpowiedź węglowodoru (różna odpowiedź na to samo stężenie gazu węglowodorowego w próbce, wyrażone jako równoważnik ppmC, zależne od kategorii lub domieszek kategorii składników węglowodorów).

Znaczenie powyższych wpływów musi być określone, jak następuje, i odpowiednio ograniczone.

Odpowiedź tlenu: mierzyć odpowiedź przy dwóch mieszankach propanu o stężeniu około 500 ppmC przy znanej dokładności względnej $\pm 1\%$, jak następuje:

- a) propan w $10 \pm 1\%$ O₂, wyważać N₂; i
- b) propan w $21 \pm 1\%$ O₂, wyważać N₂.

Jeśli R_1 i R_2 są odpowiednio znormalizowanymi odpowiedziami, wówczas $(R_1 - R_2)$ musi być mniejsza niż $3\% R_1$.

Odpowiedź różnicowa węglowodoru: mierzyć odpowiedź przy czterech mieszankach różnych węglowodorów w powietrzu, o stężeniu około 500 ppmC przy znanej dokładności względnej $\pm 1\%$, jak następuje:

- a) propan w zerowym powietrzu;
- b) propylen w zerowym powietrzu;
- c) toluen w zerowym powietrzu;
- d) n-heksan w zerowym powietrzu.

Jeśli R_a , R_b , R_c i R_d są odpowiedziami znormalizowanymi (ze względu na propan), wówczas $(R_a - R_b)$, $(R_a - R_c)$ i $(R_a - R_d)$ muszą być mniejsze niż $5\% R_a$.

3. OPTYMALIZACJA ODPOWIEDZI CZUJNIKA I ZESTRAJANIE

3.1 Muszą być zastosowane instrukcje producenta w zakresie procedur początkowego zestawienia, pomocniczej obsługi i wymaganego zasilania, zaś przyrząd musi być ustabilizowany. Wszystkie regulacje nastawienia muszą zawierać powtarzające się sprawdzanie zera i korekty, jeżeli niezbędne. Używając jako próbkę mieszaninę około 500 ppmC propanu w powietrzu, muszą być określone charakterystyki odpowiedzi dla zmian w przepływie paliwa oraz, gdy przepływ paliwa jest bliski optymalnemu, dla zmian rozcieńczenia powietrza, aby wybrać jego optimum. Odpowiedzi: tlenu i różnicowa węglowodoru muszą być określone, jak podano powyżej.

3.2 Liniowość każdego zakresu analizatora musi być sprawdzona przez zastosowanie próbek propanu w powietrzu o stężeniu w przybliżeniu 30, 60 i 90% pełnej skali. Maksymalne odchylenie odpowiedzi dla każdego z tych punktów od prostej najmniejszych kwadratów (pasowanej do tych punktów i do zera) nie może przekroczyć $\pm 2\%$ wartości pełnej skali. Gdy przekracza, musi być sporządzona krzywa kalibracji do użycia roboczego.

UZUPEŁNIENIE B DO DODATKU 3. WYMAGANIA DLA ANALIZATORÓW CO I CO₂

Uwaga 1. – Punkt 5.3 dodatku 3 zawiera skrócone charakterystyki podukładu analizującego, stosowanego do poszczególnych pomiarów stężeń CO i CO₂ w próbce spalin. Przyrządy bazują na zasadzie bezdyspersyjnej absorpcji promieniowania podczerwonego w równoległych ogniach: odniesienia i zawierającym próbkę gazu. Wymagane zakresy czułości są uzyskiwane przez użycie stosu ogni z próbkami lub zmiany w zespołach obwodów elektronicznych, lub użycie obu sposobów razem. Zakłócenia od gazów z pasmami absorpcyjnymi na zakładkę mogą być minimalizowane przez gazowe filtry absorpcyjne i/lub filtry optyczne, bardziej pożądane.

Uwaga 2. – Patrz uzupełnienie D, zawierające informacje na temat gazów wzorcowych i gazów odniesienia.

Środki ostrożności: Wskazane wymagania dotyczą ogólnie całego zakresu analizatora. Błędy części skali mogą stanowić znaczący procent odczytu. Stosowność i ważność takiego wzrostu musi być rozważona w czasie przygotowań do pomiarów. Jeśli niezbędne są lepsze osiągi, wówczas muszą być podjęte odpowiednie środki.

Podstawowe wymagania są następujące:

Analizator CO

- a) *całkowity zakres:* 0 do 2 500 ppm w odpowiednich zakresach;
- b) *rozdzielczość:* większa niż 0,5% pełnej skali użytego zakresu lub 1 ppm, zależnie, która wartość jest większa;
- c) *powtarzalność:* większa niż $\pm 1\%$ pełnej skali użytego zakresu lub ± 2 ppm, zależnie, która wartość jest większa;
- d) *stabilność:* większa niż $\pm 2\%$ pełnej skali użytego zakresu lub ± 2 ppm, zależnie, która wartość jest większa, w ciągu 1 godziny;
- e) *pełzanie zera:* mniejsze niż $\pm 1\%$ pełnej skali użytego zakresu lub ± 2 ppm, zależnie, która wartość jest większa, w ciągu 1 godziny;
- f) *szum:* 0,5 Hz i więcej, mniejszy niż $\pm 1\%$ pełnej skali użytego zakresu lub ± 1 ppm, zależnie, która wartość jest większa;
- g) *zakłócenia:* ograniczone ze względu na wskazane stężenia CO, jak następuje:
 - 1) mniejsze niż 500 ppm/procent stężenia etylenu,
 - 2) mniejsze niż 2 ppm/procent stężenia CO₂,
 - 3) mniejsze niż 2 ppm/procent pary wodnej.*

Jeśli ograniczenia w zakresie zakłóceń dla CO i/lub pary wodnej nie będą spełnione, wówczas muszą być określone, opisane i zastosowane odpowiednie współczynniki poprawki.

Uwaga. – Zgodnie z dobrą praktyką zaleca się, aby takie procedury poprawek były stosowane we wszystkich przypadkach.

* Nie stosuje się w pomiarach na bazie „suchej”.

Analizator CO₂

- a) *całkowity zakres*: 0 do 10% w odpowiednich zakresach;
- b) *rozdzielczość*: większa niż 0,5% pełnej skali użytego zakresu lub 100 ppm, zależnie, która wartość jest większa;
- c) *powtarzalność*: większa niż $\pm 1\%$ pełnej skali użytego zakresu lub ± 100 ppm, zależnie, która wartość jest większa;
- d) *stabilność*: większa niż $\pm 2\%$ pełnej skali użytego zakresu lub ± 100 ppm, zależnie, która wartość jest większa, w ciągu 1 godziny;
- e) *pełzanie zera*: mniejsze niż $\pm 1\%$ pełnej skali użytego zakresu lub ± 100 ppm, zależnie, która wartość jest większa, w ciągu 1 godziny;
- f) *szum*: 0,5 Hz i więcej, mniejszy niż $\pm 1\%$ pełnej skali użytego zakresu lub ± 100 ppm, zależnie, która wartość jest większa;
- g) wpływ tlenu (O₂) na odpowiedź analizatora CO₂ musi być sprawdzony. Dla zmiany od 0 do 21% O₂, odpowiedź danego stężenia CO₂ nie może zmieniać się o więcej niż 2% odczytu. Jeśli ograniczenie to nie jest spełnione, musi być zastosowany odpowiedni współczynnik poprawki.

Uwaga. – Zgodnie z dobrą praktyką zaleca się, aby takie procedury poprawki były stosowane we wszystkich przypadkach.

Analizatory CO i CO₂

- a) *czas odpowiedzi*: nieprzekraczający 10 s od wejścia próbki do układu analizującego do osiągnięcia 90% odczytu końcowego;
- b) *temperatura próbki*: normalnym zakresem pracy dla analizy próbki jest (bezstopniowy) warunek „wilgotny”. Wymaga to, aby ogniwo próbki i wszystkie inne składniki podukładu stykające się z próbką były utrzymywane w temperaturze nie mniejszej niż 50°C, ze stabilnością $\pm 2^\circ\text{C}$. Opcja pomiaru CO i CO₂ na bazie suchej (z odpowiednimi studzienkami wodnymi) jest dozwolona, w tym przypadku nieogrzewane analizatory są dopuszczalne i ograniczenia zakłóceń dla pary wodnej ~~10~~ usunięto, a wymagana jest późniejsza poprawa dla pary wodnej na wlocie i wody spalanej;
- c) *krzywe kalibracji*:
 - 1) Analizatory z liniową charakterystyką wyjścia sygnału muszą być sprawdzane we wszystkich zakresach pracy przy użyciu gazów wzorcowych o znanym stężeniu w przybliżeniu 0, 30, 60 i 90% pełnej skali. Maksymalne odchylenie odpowiedzi dla każdego z tych punktów od prostej najmniejszych kwadratów, pasowanej do tych punktów i do odczytu zera, nie może przekroczyć $\pm 2\%$ wartości pełnej skali. Gdy przekracza, musi być sporządzona krzywa kalibracji do użycia roboczego,
 - 2) Analizatory z nieliniową charakterystyką wyjścia sygnału oraz te, które nie spełniają wymagań liniowości podanych powyżej, muszą mieć przygotowane krzywe kalibracji dla wszystkich zakresów roboczych przy użyciu gazów wzorcowych o znanym stężeniu, w przybliżeniu 0, 30, 60 i 90% pełnej skali. Dodatkowe mieszanki muszą być użyte, jeśli to niezbędne, do właściwego określenia kształtu krzywej.

UZUPEŁNIENIE C DO DODATKU 3. WYMAGANIA DLA ANALIZATORA NO_x

Uwaga. – Patrz uzupełnienie D, zawierające informacje na temat gazów wzorcowych i odniesienia.

1. Jak wskazano w p. 5.4 dodatku 3, pomiar stężenia tlenków azotu musi być wykonywany metodą chemiluminescencyjną, w której mierzy się natężenie promieniowania, emitowanego podczas reakcji NO z O₃. Tą metodą nie wykrywa się NO₂, więc próbka musi przejść przez konwertor, w którym NO₂ jest przekształcany w NO przed pomiarem całkowitego NO_x. Zarówno stężenie początkowego NO, jak i całkowitego NO_x musi być zarejestrowane. Odejmując te wartości uzyskuje się miarę koncentracji NO₂.

2. Użyty przyrząd musi być kompletny, ze wszystkimi niezbędnymi elementami do sterowania przepływem, jak regulatory, zawory, przepływomierze itp. Materiały stykające się z próbką gazu muszą być odporne na działanie tlenków azotu, jak stal nierdzewna, szkło itp. Temperatura próbki wszędzie musi być utrzymana przez zawory, odpowiednio do lokalnych ciśnień, aby uniknąć kondensacji wody.

Środki ostrożności: Wskazane wymagania dotyczą ogólnie całego zakresu analizatora. Błędy części skali mogą stanowić znaczący procent odczytu. Stosowność i ważność takiego wzrostu musi być rozważona w czasie przygotowań do pomiarów. Jeśli niezbędne są lepsze osiągi, wówczas muszą być podjęte odpowiednie środki.

3. Podstawowe wymagania dla osiągnięć, określone dla przyrządu pracującego w temperaturze otoczenia ustabilizowanej do 2°C, są następujące:

- a) *całkowity zakres:* 0 do 2 500 ppm w odpowiednich zakresach;
- b) *rozdzielczość:* większa niż 0,5% pełnej skali użytego zakresu lub 1 ppm, zależnie, która wartość jest większa;
- c) *powtarzalność:* większa niż ±1% pełnej skali użytego zakresu lub ±1 ppm, zależnie, która wartość jest większa;
- d) *stabilność:* większa niż ±2% pełnej skali użytego zakresu lub ±1 ppm, zależnie, która wartość jest większa, w ciągu 1 godziny;
- e) *pełzanie zera:* mniejsze niż ±1% pełnej skali użytego zakresu lub ±1 ppm, zależnie, która wartość jest większa, w ciągu 1 godziny;
- f) *szum:* 0,5 Hz i więcej, mniejszy niż ±1,0% pełnej skali użytego zakresu lub ±1 ppm, zależnie, która wartość jest większa, w ciągu 2 godzin;
- g) *zakłócenia:* tłumienie dla próbek zawierających CO₂ i parę wodną musi być ograniczone, jak następuje:
 - 1) mniejsze niż 0,05% odczytu/% stężenia CO₂;
 - 2) mniejsze niż 0,1% odczytu/% stężenia pary wodnej.

Jeśli ograniczenia w zakresie zakłóceń dla CO₂ i/lub pary wodnej nie będą spełnione, wówczas muszą być określone, opisane i zastosowane odpowiednie współczynniki poprawek.

Uwaga. – Zgodnie z dobrą praktyką zaleca się, aby takie procedury poprawek były stosowane we wszystkich przypadkach.

- h) *czas odpowiedzi*: nieprzekraczający 10 s od wejścia próbki do układu analizującego do osiągnięcia 90% odczytu końcowego;
- i) *liniowość*: większa niż $\pm 2\%$ pełnej skali użytego zakresu lub ± 2 ppm, zależnie, która wartość jest większa;
- j) *konwertor*: musi być zaprojektowany i użytkowany tak, aby zawarty w próbce NO_2 redukować do NO. Konwertor nie może wpływać na początkowy NO w próbce.

Sprawność konwertora nie może być mniejsza niż 90%. Ta wartość sprawności musi być użyta do poprawki zmierzonej wartości próbki NO_2 (tj. $[\text{NO}_x]_c - [\text{NO}]$) do tej, która byłaby określona, gdyby sprawność nie wynosiła 100%.

UZUPEŁNIENIE D DO DODATKU 3. GAZY WZORCOWE I GAZY ODNIESIENIA

Tablica gazów wzorcowych

<i>Analizator</i>	<i>Gaz</i>	<i>Dokładność*</i>
HC	propan w zerowym powietrzu	$\pm 2\%$ lub $\pm 0,05$ ppm**
CO ₂	CO ₂ w zerowym powietrzu	$\pm 2\%$ lub ± 100 ppm**
CO	CO w zerowym powietrzu	$\pm 2\%$ lub ± 2 ppm**
NO _x	NO _x w zerowym azocie	$\pm 2\%$ lub ± 1 ppm**

* W przedziale ufności 95%.

** Zależnie, która wartość jest większa.

Powyższe gazy są wymagane do przeprowadzania rutynowych kalibracji analizatorów podczas ich normalnej pracy.

Tablica gazów odniesienia

<i>Analizator</i>	<i>Gaz</i>	<i>Dokładność*</i>
HC	propan w 10 ± 1 -procentowym O ₂ równoważonym zerowym azotem	$\pm 1\%$
HC	propan w 21 ± 1 -procentowym O ₂ równoważonym zerowym azotem	$\pm 1\%$
HC	propylen w zerowym powietrzu	$\pm 1\%$
HC	toluen w zerowym powietrzu	$\pm 1\%$
HC	n-heksan w zerowym powietrzu	$\pm 1\%$
HC	propan w zerowym powietrzu	$\pm 1\%$
CO ₂	CO ₂ w zerowym powietrzu	$\pm 1\%$
CO ₂	CO ₂ w zerowym azocie	$\pm 1\%$
CO	CO w zerowym powietrzu	$\pm 1\%$
NO _x	NO w zerowym azocie	$\pm 1\%$

* W przedziale ufności 95%.

Powyższe gazy są wymagane do przeprowadzania prób według uzupełnień A, B i C.

Gazy wzorców: tlenek węgla i dwutlenek węgla, mogą być mieszaniną z jednym lub dwoma składnikami. Mieszanina trzyskładnikowa, złożona z tlenku węgla, dwutlenku węgla i propanu w zerowym powietrzu, może być użyta przy zapewnieniu stabilności tej mieszaniny.

Gazem zerowym, jak określono dla analizatorów CO, CO₂ i HC, musi być zerowe powietrze (włącznie ze „sztucznym” powietrzem, zawierającym od 20 do 22% O₂ zmieszanego z N₂). Dla analizatora NO_x jako gaz zerowy musi być stosowany zerowy azot. Domieszki w obu rodzajach gazu zerowego muszą być ograniczone do mniejszych stężeń niż następujące:

- 1 ppm C
- 1 ppm CO
- 100 ppm CO₂
- 1 ppm NO_x

Wnioskujący musi upewnić się, czy dostarczone mu gazy handlowe rzeczywiście spełniają te wymagania lub czy są w ten sposób wyspecyfikowane przez sprzedawcę.

UZUPEŁNIENIE E DO DODATKU 3. OBLICZANIE PARAMETRÓW EMISJI — PODSTAWA, POPRAWKI POMIARÓW I ALTERNATYWNA METODA NUMERYCZNA

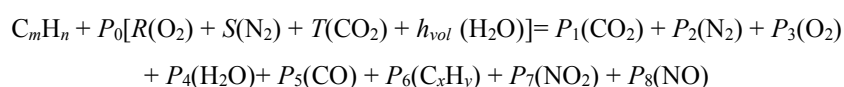
1. SYMBOLE

AFR	współczynnik nadmiaru powietrza, stosunek masowych natężeń przepływu suchego powietrza i paliwa
EI	indeks emisji; $10^3 \times$ masowe natężenie przepływu emisji gazowych na wylocie silnika do jednostkowego masowego natężenia paliwa
K	stosunek stężeń mierzonych wilgotnych do suchych (po wymrażarce)
L, L'	współczynnik zakłócenia analizatora dla zakłócenia przez CO_2
M, M'	współczynnik zakłócenia analizatora dla zakłócenia przez H_2O
M_{AIR}	masa cząsteczkowa suchego powietrza = 28,966 g lub, gdzie to stosowne, = $(32 R + 28,1564 S + 44,0117)$ g
M_{CO}	masa cząsteczkowa CO = 28,011 g
M_{HC}	masa cząsteczkowa węglowodoru w spalinach, liczona jako CH_4 = 16,043 g
M_{NO_2}	masa cząsteczkowa NO_2 = 46,008 g
M_C	masa atomowa węgla = 12,011 g
M_H	masa atomowa wodoru = 1,008 g
P_1	liczba moli CO_2 w próbce spalin/mol paliwa
P_2	liczba moli N_2 w próbce spalin/mol paliwa
P_3	liczba moli O_2 w próbce spalin/mol paliwa
P_4	liczba moli H_2O w próbce spalin/mol paliwa
P_5	liczba moli CO w próbce spalin/mol paliwa
P_6	liczba moli C_xH_y w próbce spalin/mol paliwa
P_7	liczba moli NO_2 w próbce spalin/mol paliwa
P_8	liczba moli NO w próbce spalin/mol paliwa
P_T	$P_1 + P_2 + P_3 + P_4 + P_5 + P_6 + P_7 + P_8$
$[O_2]_b$	stężenie O_2 w suchym powietrzu, objętościowo = 0,2095 normalnie

$[N_2]_b$	stężenie N_2 + gazy szlachetne w suchym powietrzu, objętościowo = 0,7902 normalnie
$[CO_2]_b$	stężenie CO_2 w suchym powietrzu, objętościowo = 0,0003 normalnie
P_0	liczba moli powietrza/mol paliwa w początkowej mieszance powietrze/paliwo
Z	symbol użyty i określony w p. 3.4
$[CO_2]$	średnie stężenie CO_2 w próbce spalin, vol/vol, wilgotne
$[CO]$	średnie stężenie CO w próbce spalin, vol/vol, wilgotne
$[HC]$	średnie stężenie HC w próbce spalin, vol/vol, wilgotne, wyrażone jako węgiel
$[NO]$	średnie stężenie NO w próbce spalin, vol/vol, wilgotne
$[NO_2]$	średnie stężenie NO_2 w próbce spalin, vol/vol, wilgotne
η	$\eta = \frac{([NO_x]_c - [NO])}{[NO]}$
$[NO_x]$	średnie stężenie NO_x w próbce spalin, vol/vol
$[NO_x]_c$	średnie stężenie NO w próbce spalin, po przejściu przez konwerter NO_2/NO , vol/vol
$[]_d$	średnie stężenie w próbce spalin po wymrażarce, vol/vol
$[]_m$	odczyt pomiaru średniego stężenia przed zastosowaniem poprawki przyrządu, vol/vol
h_{vol}	wilgotność powietrza otoczenia, vol wody/vol suchego powietrza
h_d	wilgotność próbki spalin opuszczającej „susząrkę” lub „wymrażarkę”, vol wody/vol suchej próbki
m	liczba atomów C w charakterystycznej cząsteczce paliwa
n	liczba atomów H w charakterystycznej cząsteczce paliwa
x	liczba atomów C w charakterystycznej cząsteczce węglowodorów w spalinach
y	liczba atomów H w charakterystycznej cząsteczce węglowodorów w spalinach
η	sprawność konwertora

2. PODSTAWA OBLICZANIA PARAMETRÓW EI I AFR

2.1 Przyjmuje się, że równowaga pomiędzy początkową mieszkanką paliwa i powietrza a wynikowym stanem próbki emisji spalin, może być wyrażona następującym wzorem:



którego wymagane parametry mogą być, z definicji, wyrażone jako:

$$EI(\text{CO}) = P_5 \left(\frac{10^3 M_{\text{CO}}}{mM_C + nM_H} \right)$$

$$EI(\text{HC}) = xP_6 \left(\frac{10^3 M_{\text{HC}}}{mM_C + nM_H} \right) \quad \text{wyrażony jako równoważnik metanu}$$

$$EI(\text{NO}_x) = (P_7 + P_8) \left(\frac{10^3 M_{\text{NO}_x}}{mM_C + nM_H} \right) \quad \text{wyrażony jako równoważnik NO}_2$$

$$\text{AFR} = P_0 \left(\frac{M_{\text{AIR}}}{mM_C + nM_H} \right)$$

2.2 Wartości składników węglowodorów paliwa (m , n) są oznaczone w specyfikacji paliwa lub określone w drodze analizy. Jeśli stosunek n/m jest tak określony, wówczas może być przypisana wartość $m = 12$. Ułamki molowe składników suchego powietrza (R , S , T) są zwykle podawane jako zalecane wartości standardowe, ale mogą także być określone wartości alternatywne, podlegające ograniczeniu $R + S + T = 1$ oraz zatwierdzeniu przez władze certyfikujące.

2.3 Wilgotność powietrza otaczającego h_{vol} jest zmierzona w każdych warunkach prób. Zaleca się, aby przy braku przeciwnych dowodów co do wartości charakterystyk (x , y) węglowodorów w spalinach, przyjąć wartości $x = 1$ oraz $y = 4$.

2.4 Określenie pozostałych niewiadomych wymaga rozwiązania następującego zestawu równoważnych równań liniowych, gdzie równania od (1) do (4) pochodzą z podstawowych zależności zachowania atomów, a równania (5) do (9) przedstawiają zależności stężeń produktów gazowych.

$$m + TP_0 = P_1 + P_5 + xP_6 \quad \dots\dots\dots (1)$$

$$n + 2h_{\text{vol}}P_0 = 2P_4 + yP_6 \quad \dots\dots\dots (2)$$

$$(2[\text{O}_2]_{\text{b}} + 2[\text{CO}_2]_{\text{b}} + h_{\text{vol}})P_0 = 2P_1 + 2P_3 + P_4 + P_5 + 2P_7 + P_8 \quad \dots\dots\dots (3)$$

$$2[\text{N}_2]_{\text{b}}P_0 = 2P_2 + P_7 + P_8 \quad \dots\dots\dots (4)$$

$$[\text{CO}_2] P_{\text{T}} = P_1 \quad \dots\dots\dots (5)$$

$$[\text{CO}] P_{\text{T}} = P_5 \quad \dots\dots\dots (6)$$

$$[\text{HC}] P_{\text{T}} = xP_6 \quad \dots\dots\dots (7)$$

$$[\text{NO}_x] cP_{\text{T}} = \eta P_7 + P_8 \quad \dots\dots\dots (8)$$

$$[\text{NO}] P_{\text{T}} = P_8 \quad \dots\dots\dots (9)$$

$$P_{\text{T}} = P_1 + P_2 + P_3 + P_4 + P_5 + P_6 + P_7 + P_8 \quad \dots\dots\dots (10)$$

Powyższy zestaw równań warunkowych obowiązuje dla przypadku, w którym wszystkie mierzone stężenia są prawdziwe, bez wpływu zakłóceń lub potrzeby poprawki na suszenie próbki. W praktyce występuje znaczący wpływ zakłóceń w pomiarach CO , NO_x i NO , więc często stosowana jest opcja pomiarów suchych lub półsuchych CO_2 i CO . Konieczność modyfikacji stosownych równań jest opisana w p. 2.5 i 2.6.

2.5 Zakłócenia są powodowane głównie obecnością w próbce CO₂ i H₂O, które mogą wpływać na analizatory CO i NO_x w zasadniczo różny sposób. Analizator CO jest skłonny do przemieszczania zera, a analizator NO_x do zmiany czułości, co wyraża się jako:

$$[\text{CO}] = [\text{CO}]_m + L[\text{CO}_2] + M[\text{H}_2\text{O}]$$

$$\text{oraz } [\text{NO}_x]_c = [\text{NO}_x]_{cm} (1 + L'[\text{CO}_2] + M'[\text{H}_2\text{O}])$$

co przekształca równania (6), (8) i (9) w następujące alternatywne równania, gdy wymagana jest poprawka na wpływy zakłóceń:

$$[\text{CO}]_m P_T + L P_1 + M P_4 = P_5 \quad \dots\dots\dots (6A)$$

$$[\text{NO}_x]_{cm} (P_T + L' P_1 + M' P_4) = \eta P_7 + P_8 \quad \dots\dots\dots (8A)$$

$$[\text{NO}]_m (P_T + L' P_1 + M' P_4) = P_8 \quad \dots\dots\dots (9A)$$

2.6 Opcja pomiaru stężenia CO₂ i CO na bazie suchej lub częściowo suchej próbki wymaga użycia zmodyfikowanych równań warunkowych z wilgotnością próbki zredukowaną do h_d , jak następuje:

$$[\text{CO}_2]_d (P_T - P_4) (1 + h_d) = P_1 \quad \dots\dots\dots (5A)$$

oraz

$$[\text{CO}]_d (P_T - P_4) (1 + h_d) = P_5$$

Jednak na analizator CO mogą także wpływać zakłócenia, jak opisano w p. 2.5 powyżej, stąd kompletne równanie alternatywne na mierzone stężenie CO, przybiera postać:

$$[\text{CO}]_{md} (P_T - P_4) (1 + h_d) + L P_1 + M h_d (P_T - P_4) = P_5 \quad \dots\dots\dots (6B)$$

3. SFORMUŁOWANIA ANALITYCZNE

3.1 Postanowienia ogólne

Równania od (1) do (10) mogą być zredukowane do sformułowań analitycznych dla parametrów EI i AFR, jak podano w p. 7.1 niniejszego dodatku. Ta redukcja jest procesem stopniowego eliminowania członów R , P_1 do P_8 , P_T , przy założeniu, że wszystkie pomiary stężenia są dokonywane dla „wilgotnej” próbki, co nie wymaga poprawki na zakłócenia i temu podobnych. W praktyce często jest wybierana opcja, aby wykonywać pomiary stężenia CO₂ i CO na bazie „suchej” lub „półsuchej”; także często zachodzi konieczność wykonywania poprawki na zakłócenia. Sformułowania używane w tych różnorodnych warunkach podane są w p. 3.2, 3.3 i 3.4 poniżej.

3.2 Sformułowania służące do przekształcenia pomiarów stężenia na bazie suchej w pomiary na bazie wilgotnej

Wilgotne stężenie = $K \times$ stężenie suche; czyli

$$[] = K []_d$$

Następujące wyrażenie na określenie K stosuje się, gdy CO i CO₂ są określone na „suchej” bazie:

$$K = \frac{\{4 + (n/m)T + ([n/m]T - 2h_{vol}) ([NO_2] - (2[HC]/x)) + (2 + h_{vol}) ([y/x] - [n/m]) [HC]\} (1 + h_d)}{(2 + h) \{2 + (n/m) (1 + h_d) ([CO_2]_d + [CO]_d)\} - ([n/m]T - 2h) (1 - [1 + h_d] [CO]_d)}$$

3.3 Poprawki na zakłócenia

Pomiary CO i/lub NO_x i NO, przed zastosowaniem w powyższych równaniach analitycznych, mogą wymagać poprawki na zakłócenia od stężeń CO₂ i wody w próbce. Takie poprawki zwykle mogą być wyrażone w ogólny sposób następująco:

$$[CO] = [CO]_m + L[CO_2] + M[H_2O]$$

$$[CO]_d = [CO]_{md} + L[CO_2]_d + M \left\{ \frac{h_d}{1 + h_d} \right\}$$

$$[NO] = [NO]_m (1 + L'[CO_2] + M'[H_2O])$$

$$\eta [NO_2] = ([NO_x]_{cm} - [NO]_m) (1 + L'[CO_2] + M'[H_2O])$$

3.4 Równanie służące do oceny zawartości wody w próbce

Stężenie wody w próbce jest równe:

$$[H_2O] = \frac{([n/2m] + h_{vol} [P_0/m]) ([CO_2] + [CO] + [HC])}{1 + T(P_0/m)} - (y/2x) [HC]$$

gdzie

$$P_0/m = \frac{2Z - n/m}{4(1 + h_{vol} - [TZ/2])} =$$

oraz

$$Z = \frac{2 - [CO] - ([2/x] - [y/2x]) [HC] + [NO_2]}{[CO_2] + [CO] + [HC]} =$$

Należy zauważyć, że ta ocena jest funkcją różnych odczytów analizy stężeń, które mogą same wymagać poprawki na zakłócenia wodą. W tych przypadkach, w celu uzyskania większej dokładności wymagana jest procedura iteracyjna z kolejnym, ponownym obliczeniem stężenia wody, aż zostanie osiągnięta wymagana stabilność. Użycie alternatywnej, numerycznej metodologii rozwiązania (4) pozwoli uniknąć tej trudności.

4. METODOLOGIA ALTERNATYWNA – ROZWIĄZANIE NUMERYCZNE

4.1 Jako alternatywa do procedur analitycznych, podsumowanych powyżej w punkcie 3, istnieje możliwość łatwego uzyskania indeksów emisji, współczynnika paliwo/powietrze, skorygowanego stężenia wilgoci itp., z numerycznego rozwiązania równań od (1) do (10) dla każdego zestawu pomiarów za pomocą komputera.

4.2 W zestawie równań od (1) do (10) rzeczywiste pomiary stężeń są zastąpione użyciem któregośkolwiek z alternatywnych równań (5A), (6A) itp., stosownego do poszczególnego układu pomiarowego, biorąc pod uwagę poprawki na zakłócenia i/lub pomiary suchej próbki.

4.3 Oprogramowania komputerowe rozwiązujące równania tablic dwuwymiarowych są szeroko dostępne, a ich użycie do tego celu jest dogodne i przydatne, umożliwiając gotowe wprowadzenie i identyfikację każdej opcji suchej próbki oraz m.in. poprawki na zakłócenia.

UZUPEŁNIENIE F DO DODATKU 3. WYMAGANIA DLA DODATKOWYCH DANYCH

Jak wymaga się w p. 3.2 dodatku 3, oprócz stężenia składników mierzonej próbki muszą być podane także następujące dane:

- a) temperatura na wlocie: mierzona jako całkowita temperatura w punkcie położonym nie dalej niż jedna średnica od płaszczyzny wlotu do silnika, z dokładnością $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$;
- b) wilgotność na wlocie (kg wody/kg suchego powietrza): mierzona w punkcie położonym nie dalej niż 50 m od płaszczyzny wlotu do silnika, z dokładnością:
 - 1) $\pm 5\%$ odczytu dla wilgotności powietrza otoczenia większej lub równej 0,00634 kg wody/kg suchego powietrza; lub
 - 2) $\pm 0,000317$ kg wody/kg suchego powietrza odczytu dla wilgotności powietrza otoczenia mniejszej niż 0,00634 kg wody/kg suchego powietrza;
- c) ciśnienie atmosferyczne: mierzone nie dalej niż 1 km od miejsca prób silnika i korygowane, gdy to niezbędne, do wysokości stanowiska do prób, z dokładnością ± 100 Pa;
- d) masowy przepływ paliwa: z bezpośredniego pomiaru, z dokładnością $\pm 2\%$;
- e) stosunek H/C w paliwie: określone jako n/m , gdzie C_mH_n jest równoważnym odwzorowaniem węglowodoru w paliwie, użytym do prób i oszacowanym przez odniesienie do analizy typu paliwa silnikowego;
- f) parametry silnika:
 - 1) ciąg: na podstawie bezpośredniego pomiaru z dokładnością $\pm 1\%$ mocy startowej i $\pm 5\%$ minimalnego ciągu, użytego podczas prób certyfikacyjnych, z liniową zmiennością pomiędzy tymi punktami;
 - 2) prędkość(-i) obrotowa(-e): na podstawie bezpośredniego pomiaru z dokładnością co najmniej $\pm 0,5\%$;
 - 3) przepływ gazu z wytwornicy: określony z dokładnością $\pm 2\%$ przez odniesienie do kalibracji osiągow silnika.

Parametry a), b), d) i f) muszą być określone dla każdego ustawienia silnika w próbach emisji, zaś parametr c) musi być określany w odstępach nie mniejszych niż 1 godzina podczas prób emisji.

**DODATEK 4. WYMAGANIA W ZAKRESIE PALIWA
UŻYWANEGO W BADANIACH EMISJI
TURBINOWYCH SILNIKÓW STATKÓW POWIETRZNYCH**

Paliwo musi spełniać wymagania techniczne niniejszego dodatku 4, chyba że władze certyfikujące zgodzą się na odstępstwa i niezbędne poprawki. Dodatki używane w celu zmniejszenia dymu (takie, jak składniki organiczno-metaliczne) nie mogą w nim się znajdować.

<i>Właściwość</i>	<i>Dopuszczalny zakres wartości</i>
Gęstość kg/m ³ przy 15°C	780 – 820
Temperatura destylacji, °C	
Punkt wrzenia 10%	155 – 201
Punkt wrzenia całkowitego	235 – 285
Wartość opałowa spalania, MJ/kg	42,86 – 43,50
Aromatyczne, % objętości	15 – 23
Naftaleny, % objętości	0,0 – 3,0
Punkt dymienia, mm	20 – 28
Wodór, % masy	13,4 – 14,3
Siarka, ppm wg masy	mniej niż 3 000
Lepkość kinematyczna przy –20°C, mm ² /s	2,5 – 6,5

DODATEK 5. OPRZYRZĄDOWANIE I TECHNIKI POMIAROWE DO POMIARU EMISJI GAZOWYCH Z SILNIKÓW TURBINOWYCH Z DOPALANIEM

1. WPROWADZENIE

Uwaga. – Procedury określone w niniejszym dodatku dotyczą pobierania reprezentatywnych próbek spalin oraz ich przesyłania i analizowania przez układ pomiarowy emisji. Procedury te są stosowane tylko wówczas, gdy jest użyte dopalanie. Przedstawione metody reprezentują najłatwiej dostępną i powszechnie uznaną, nowoczesną praktykę. Poprawki na warunki otoczenia jest w trakcie badań, będzie ona wymagana, gdy stanie się dostępną. Do tego czasu każda metoda poprawki, użyta gdy stosuje się dopalanie, musi być zatwierdzona przez władze certyfikujące.

Różnice w stosunku do procedury zawartej w niniejszym dodatku, mogą być dozwolone jedynie po uprzednim wystąpieniu do władz certyfikujących i uzyskaniu ich zgody.

2. DEFINICJE

Następujące wyrażenia użyte w niniejszym dodatku mają znaczenie opisane poniżej:

Dokładność. Bliskość, z jaką pomiar zbliża się do prawdziwej wartości, ustalonej niezależnie.

Gaz wzorcowy. Gaz o dokładnie ustalonych składnikach, używany do zestrzajania, regulowania i okresowego sprawdzania przyrządów.

Stężenie. Stężenie objętościowe danego składnika w mieszaninie gazów, wyrażone jako procent objętości lub liczba części na milion.

Czujnik jonizacji płomieniowej. Czujnik płomieniowy dyfuzji węglowodorów powietrze, wytwarzający sygnał nominalnie proporcjonalny do masowego natężenia węglowodorów wchodzących do płomienia w jednostce czasu; ogólnie ujmując, czujnik reagujący na liczbę atomów węgla wprowadzanych do płomienia.

Zakłócenie. Reakcja przyrządu na obecność składników innych niż mierzony gaz (lub para).

Szum. Przypadkowe wahania na wyjściu z przyrządu, nie związane z właściwościami badanej próbki, na którą reaguje przyrząd, dostrzegalne wskutek jego charakterystyk pełzania.

Bezdyfuzyjny analizator podczerwieni. Przyrząd mierzący wybiórczo poszczególne składniki poprzez pochłanianie energii podczerwieni.

Części na milion (ppm). Jednostka stężenia objętościowego gazu na milion jednostek objętości mieszaniny gazów, której jest on częścią.

Części węgla na milion (ppmC). Część mola węglowodoru pomnożona przez 10^{-6} , zmierzonego na podstawie równoważnika metanu. 1 ppm metanu jest wykazywany jako 1 ppmC. W celu przeliczenia stężenia ppm danego węglowodoru na równoważną wartość ppmC, należy przemnożyć stężenie ppm przez liczbę atomów węgla w cząsteczce gazu, np. 1 ppm propanu przelicza się na 3 ppmC węglowodoru; 1 ppm heksanu na 6 ppmC węglowodoru.

Pióropusz. Całkowity zewnętrzny przepływ spalin wraz z powietrzem otoczenia zmieszany ze spalinami.

Gaz odniesienia. Mieszanina gazów o określonym, znanym składzie, używana jako baza do interpretacji odpowiedzi przyrządu na stężenie badanego gazu.

Powtarzalność. Dokładność, z jaką pomiary danej, niezmienniej próbki będą odtwarzane w krótkookresowych, powtarzalnych pomiarach bez konieczności regulowania przyrządu.

Rozdzielczość. Najmniejsza wykryta zmiana mierzonej wielkości.

Odpowiedź. Zmiana sygnału wyjściowego przyrządu wywołana zmianą stężenia próbki. Także sygnał wyjściowy odpowiadający danemu stężeniu próbki.

Stabilność. Dokładność, z jaką wyniki powtarzalnych pomiarów danej niezmienniej próbki będą utrzymywane przez dany czas.

Pelzanie zera. Związany z czasem błąd wyjścia przyrządu od ustawienia punktu zerowego przy pracy z gazem bez mierzonego składnika.

Gaz zerowy. Gaz używany do ustalenia zera lub braku odpowiedzi przyrządu.

3. WYMAGANE DANE

3.1 Emisje gazowe

Musi być określone stężenie następujących emisji:

- a) Węglowodory (HC): ocena łączna wszystkich składowych węglowodorów, obecnych w spalinach;
- b) Tlenek węgla (CO);
- c) Dwutlenek węgla (CO₂);

Uwaga. – CO₂ nie jest uważany za polutanta, ale jego stężenie jest wymagane do obliczeń i w celu sprawdzenia.

- d) Tlenki azotu (NO_x): oszacowanie sumy dwóch tlenków: tlenku azotu (NO) i dwutlenku azotu (NO₂);
- e) Tlenek azotu (NO).

3.2 Inne informacje

W celu ujednolicenia danych pomiarów emisji i określenia ilościowego osiągow silników, muszą być podane dodatkowe informacje, oprócz podanych w p. 3.4 rozdziału 3, jak następuje:

- temperatura na wlocie;
- wilgotność na wlocie;
- ciśnienie atmosferyczne;

- wektor wiatru w stosunku do osi wylotu silnika;
- stosunek wodoru/węgiel w paliwie;
- szczegóły na temat zabudowy silnika;
- inne wymagane parametry silnika (np. ciąg, prędkości wirnika, temperatury turbiny);
- dane na temat stężenia polutantów oraz parametry statystycznej ważności.

Dane te muszą być uzyskane z bezpośrednich pomiarów lub obliczeń, jak podano w uzupełnieniu F do niniejszego dodatku.

4. OGÓLNA KONFIGURACJA UKŁADU

Ponieważ pióropusz spalin z silnika z dopalaniem ma charakter reaktywny, niezbędne jest upewnienie się, że zmierzone emisje odpowiadają emisjom rzeczywistym, emitowanym do otaczającej atmosfery. Osiąga się to poprzez próbkowanie pióropusza wystarczająco daleko od silnika, gdzie spaliny są ochłodzone do temperatury, w której reakcje już nie zachodzą. Próbkę spalin przesyłane do analizatorów tlenków azotu i węglowodorów nie mogą przechodzić przez suszarki, wodne studzienki kontrolne lub podobne wyposażenie. Wymagania odnośnie różnych składowych podukładów zawarte są w punkcie 5, ale poniższy spis podaje kilka warunków i odstępstw:

- a) zakłada się, że każdy z poszczególnych, różnych podukładów zawiera niezbędne urządzenia sterowania przepływem, kondycjonujące i pomiarowe;
- b) konieczność zrzutu i/lub użycia pompy do gorącej próbki będzie zależeć od zdolności osiągnięcia wymagań dla czasu przesyłu próbki i tempa przepływu próbek przez podukład analizujący. Zależy to od ciśnienia kierującego próbkę spalin i strat na długości ciągu. Uważa się, że te pompy zazwyczaj będą niezbędne dla pewnych zakresów pracy silnika; oraz
- c) umieszczenie gorącej pompy w stosunku do podukładu analizy gazu może być różne, zależnie od życzenia (np. niektóre analizatory HC zawierają gorące pompy, więc mogą być uznane za zdatne do pracy, gdy są włączone przed gorącą pompą układu).

Uwaga. – Rys. A5-1 i A5-2 schematycznie pokazują układy pobierania próbek spalin i ich analizy, tworzące wzorzec podstawowych wymagań w zakresie prób emisji.

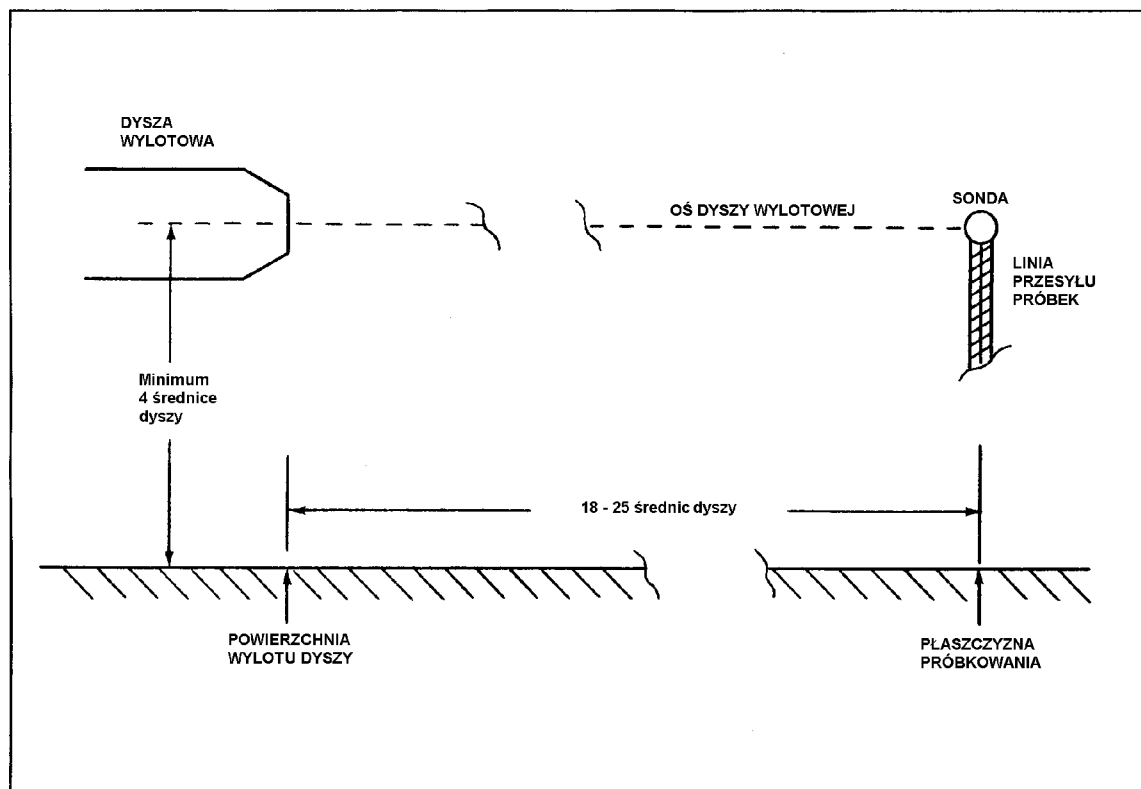
5. OPIS CZĘŚCI SKŁADOWYCH

Uwaga. – Ogólny opis i wymagania odnośnie podstawowych elementów układu pomiaru emisji spalin z silnika zawarto poniżej. Dalsze szczegóły, gdzie to niezbędne, można znaleźć w uzupełnieniach A, B i C do niniejszego dodatku.

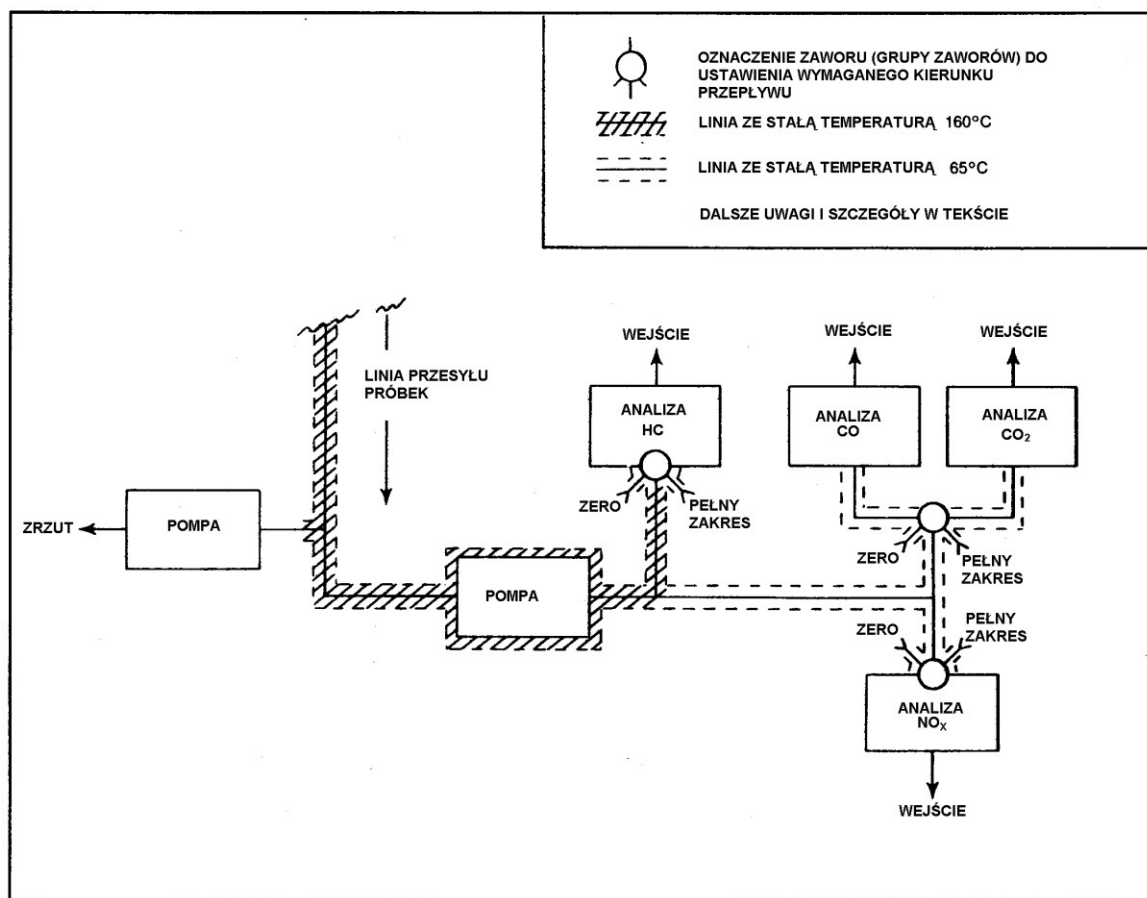
5.1 Układ pobierania próbek

5.1.1 Sonda pobierająca próbki

- a) Sonda musi być wykonana tak, aby poszczególne próbki mogły być pobrane przy jej różnych położeniach wzdłuż średnicy pióropusza. Próbki mieszane nie są dozwolone.
- b) Materiałem, z którym styka się próbka, musi być stal nierdzewna, a jej temperatura musi być nie mniejsza niż 60°C.



Rys. A5-1. Schemat układu pobierania próbek spalin



Rys. A5-2. Schemat układu przesyłania i analizowania próbek spalin

- c) Płaszczyzna próbkowania musi być prostopadła do projektowej osi dyszy silnika i musi być umieszczona jak najbliżej odległości równej 18 średnicom dyszy od płaszczyzny wylotu, zgodnie z p. 7.1.2, ale w żadnym wypadku nie większej niż 25 średnic dyszy. Za średnicę dyszy należy przyjąć jej wartość dla warunków maksymalnej mocy silnika. Pomiędzy wylotem a płaszczyzną próbkowania musi być przestrzeń bez żadnych przeszkód o średnicy co najmniej równej 4 średnicom dyszy, licząc od projektowej osi dyszy silnika.
- d) Minimalna liczba punktów próbkowania musi być równa 11. Płaszczyzna pomiaru, umieszczona w odległości X od silnika musi być podzielona na trzy sekcje, rozgraniczone przez promienie wokół osi strumienia spalin i wychodzące z niej, o długościach:

$$R1 = 0,05X$$

$$R2 = 0,09X$$

i minimum 3 próbki muszą być pobrane z każdej sekcji. Różnica pomiędzy liczbą próbek w każdej sekcji musi być mniejsza niż 3. Próbką pobieraną z odległości najbardziej oddalonej od osi musi pochodzić z punktu umieszczonego na promieniu pomiędzy $0,11X$ i $0,16X$.

5.1.2 Ciąg pobierania próbek

Próbka musi być przekazywana z sondy do analizatorów przewodem o średnicy wewnętrznej od 4,0 do 8,5 mm możliwie najkrótszą drogą, przy użyciu takiego natężenia przepływu, aby czas przesyłu był krótszy niż 10 s. Ciąg musi być utrzymywany w temperaturze $160^{\circ}\text{C} \pm 15^{\circ}\text{C}$ (ze stabilnością $\pm 10^{\circ}\text{C}$). Ciąg pobierania próbek do mierzenia składników HC, CO, CO₂ i NO_x musi być wykonany ze stali nierdzewnej lub wypełnionego węglem PTFE.

5.2 Analizator HC

Pomiar całkowitej zawartości węglowodorów w próbce musi być wykonany przy użyciu analizatora, wyposażonego w czujnik płomieniowo-jonizacyjny (FID), pomiędzy elektrodami którego przechodzi prąd jonowy, proporcjonalny do masy węglowodoru, wprowadzonej do płomienia wodorowego. Analizator musi zawierać podzespoły kontrolujące temperaturę i natężenie przepływu próbek, próbek bocznikowanych, paliwa i gazów rozpuszczających oraz musi mieć właściwy zakres pomiarowy i sprawdzenie kalibracji zera.

Uwaga.– Ogólne wymagania są podane w uzupełnieniu A do niniejszego dodatku.

5.3 Analizatory CO i CO₂

Do pomiarów tych składników muszą być użyte bezdyspersyjne analizatory podczerwieni o konstrukcji wykorzystującej różnicę w pochłanianiu energii promieniowania w równoległych ogniach odniesienia i zawierającym próbkę gazu, ogniwo lub grupa ogniów dla każdego z tych gazów składowych ma odpowiednią czułość. Podukłady analizujące muszą zawierać wszelkie niezbędne funkcje do sprawdzania i obsługi próbek, zerowania i oceny przepływu gazów. Kontrolowanie temperatury musi być odpowiednie dla wybranej bazy pomiaru, wilgotnej lub suchej.

Uwaga.– Ogólne wymagania są podane w uzupełnieniu B do niniejszego dodatku.

5.4 Analizator NO_x

Pomiar stężenia NO musi być wykonywany metodą chemiluminescencyjną, w której mierzy się natężenie promieniowania, emitowanego podczas reakcji NO w próbce po dodaniu O₃, jest ono miarą stężenia NO. Składnik NO₂ musi być przed pomiarem przekształcony w NO w konwertorze o żądanej sprawności. Tak powstały układ pomiarowy NO_x musi zawierać wszystkie niezbędne urządzenia sterujące przepływem, temperaturą i innymi parametrami oraz musi mieć możliwość kalibracji zera i zakresu pomiaru, jak również sprawdzania sprawności konwertora.

Uwaga.– Ogólne wymagania są podane w uzupełnieniu C do niniejszego dodatku.

6. OGÓLNE PROCEDURY PRÓB

6.1 Praca silnika

Silnik musi pracować na otwartej przestrzeni, w urządzeniu do prób statycznych, które jest odpowiednio wyposażone do prób osiągow o dużej dokładności oraz które spełnia wymagania dla urządzeń pobierania próbek, jak określono w p. 5.1. Pomiary muszą być wykonywane z ustawieniami mocy nakazanymi przez władze certyfikujące. Silnik musi być ustabilizowany dla każdego ustawienia.

6.2 Warunki dla powietrza otoczenia

6.2.1 Należy sprawdzić stężenie CO, HC, CO₂ i NO_x w otoczeniu, gdy silnik pracuje w warunkach próby. Niezwykle wysokie stężenie wskazuje na nienormalne warunki, jak recyrkulacja spalin, przelewanie się paliwa lub inne źródła niepożądanej emisji w miejscu prób i taka sytuacja musi być poprawiona lub unikana, jeśli to stosowne.

Uwaga.— Dla informacji, zwykle stężenie CO₂ w otoczeniu wynosi 0,03%, a stężenie CO i HC po 5 ppm i NO_x 0,5 ppm i te wartości w normalnych warunkach raczej nie są przekraczane.

6.2.2 Należy także unikać ekstremalnych warunków klimatycznych, jak opady atmosferyczne lub nadmierna prędkość wiatru.

6.3 Ogólna kalibracja układu

Uwaga.— Głównym zadaniem tej kalibracji jest zapewnienie stabilności i liniowości.

6.3.1 Wnioskujący musi wykazać władzom certyfikującym, że kalibracja układu analizującego była ważna w czasie prób.

6.3.2 Dla analizatora węglowodoru kalibracja musi obejmować sprawdzenie, czy odpowiedzi czujnika tlenu i różnicowa węglowodoru mieszczą się w określonych granicach, ustanowionych w uzupełnieniu A do tego dodatku. Sprawność konwertora NO₂/NO musi także być sprawdzona i weryfikowana dla spełnienia wymagań podanych w uzupełnieniu C do niniejszego dodatku.

6.3.3 Procedura sprawdzania osiągnięć każdego analizatora musi być następująca (przy użyciu kalibracji i gazów wzorcowych, jak określono w uzupełnieniu D do tego dodatku):

- a) wprowadź gaz zerowy i nastaw przyrząd na zero, zapisując ustawienie jako właściwe;
- b) dla każdego używanego zakresu roboczego wprowadź gaz wzorcowy o stężeniu równym (nominalnemu) 90-procentowemu odchyleniu pełnego zakresu (FSD); nastaw odpowiednie wzmocnienie przyrządu i zapisz to ustawienie;
- c) wprowadź stężenia w przybliżeniu 30, 60 i 90% zakresu FSD i zapisz odczyty analizatora;
- d) wpasuj linię prostą najmniejszych kwadratów w punkty stężenia 0, 30, 60 i 90%. Dla analizatorów CO i/lub CO₂ użytych w ich podstawowej formie bez linearyzacji wyjścia, może okazać się konieczne zastosowanie krzywej najmniejszych kwadratów właściwego sformułowania matematycznego z użyciem dodatkowych punktów kalibracyjnych. Jeśli jakiś punkt wykazuje odchyłkę większą niż 2% wartości pełnego zakresu (lub ± 1 ppm*, zależnie, która wartość jest większa), wówczas należy sporządzić krzywą kalibracji do użycia roboczego.

6.4 Prowadzenie prób

6.4.1 Nie można wykonywać pomiarów, dopóki wszystkie instrumenty i ciąg przesyłu próbek nie są nagrzane i ustabilizowane i nie są przeprowadzone poniższe czynności:

- a) sprawdzenie przecieku: przed serią prób układ musi być sprawdzony pod względem przecieku przez odłączenie sondy i analizatora, podłączenie pompy próżniowej i jej pracę z osiągniętymi równoważnymi do tych, które były użyte z układem pomiaru dymu, dla sprawdzenia, że przepływ przecieku układu jest mniejszy niż 0,4 L/min w odniesieniu do normalnej temperatury i ciśnienia;

* Z wyjątkiem analizatora CO₂, dla którego ta wartość musi wynosić ± 100 ppm.

- b) sprawdzenie zanieczyszczeń: odłączyć układ próbkowania gazu od sondy i podłączyć koniec ciągu do próbkowania do źródła gazu zerowego. Ogrzać układ do temperatury pracy niezbędnej przy pomiarach węglowodorów. Uruchomić pompę zasysającą próbki i ustawić przepływ stosowany podczas pomiarów emisji silnika. Zapisać odczyt analizatora węglowodoru. Odczyt nie może przekroczyć 1% poziomu emisji biegu jałowego silnika lub 1 ppm (w obu przypadkach wyrażonego jako metan), zależnie, która wartość jest większa.

Uwaga 1.– Jest dobrą praktyką wsteczne oczyszczanie ciągu do pobierania próbek podczas pracy silnika, chociaż sonda jest w wylocie silnika, ale emisje nie są mierzone, w celu upewnienia się, że brak jest znaczącego zanieczyszczenia.

Uwaga 2.– Dobrą praktyką jest także przestrzeganie jakości powietrza wlotowego na początku i końcu prób oraz co najmniej raz na godzinę podczas prób. Jeśli poziomy są uznane za znaczące, wówczas muszą być brane pod uwagę.

6.4.2 Następująca procedura musi być przyjęta dla pomiarów roboczych:

- zastosować odpowiedni gaz zerowy i wykonać niezbędne regulacje przyrządu;
- zastosować odpowiedni gaz wzorcowy o nominalnym stężeniu 90% FSD dla używanego zakresu, odpowiednio wyregulować i zapisać ustawienie wzmocnienia;
- gdy silnik ustabilizuje się w wymaganym zakresie pracy i ustawieniu próbkowania, utrzymywać jego bieg i obserwować stężenie polutanta aż do ustalenia się odczytu, który należy zapisać. W tych samych warunkach pracy silnika powtórzyć procedurę pomiarów dla każdego pozostałego położenia próbkowania;
- ponownie sprawdzić punkt zerowy i punkty kalibracyjne na końcu prób, a także w odstępach nie większych niż 1 godzina podczas prób. Jeśli któryś z nich zmienił się o więcej niż $\pm 2\%$ pełnego zakresu, próba musi być powtórzona po przywróceniu przyrządu do wymaganych ustawień.

7. OBLICZENIA

7.1. Emisje gazowe

7.1.1 Postanowienia ogólne

Muszą być wykonane pomiary analityczne stężeń polutantów różnych klas w odpowiednich zakresach dopalania, przy różnym umieszczeniu płaszczyzny próbkowania. W uzupełnieniu do zapisu tych podstawowych parametrów, inne parametry muszą być obliczone i podane, jak następuje.

7.1.2 Analiza i ważność pomiarów

- a) Dla każdego ustawienia zakresu pracy silnika, zmierzone koncentracje przy różnych położeniach sondy, muszą być uśrednione następująco:

$$C_{i\text{ moy}} = \sum_{j=1}^n C_{i\text{ j}}$$

gdzie

$\sum_{j=1}^n$ suma liczby n użytych położeń próbkowania

C_{ij} stężenie rodzaju mierzonego gazu i w położeniu próbkowania j

$C_{i\text{ moy}}$ średnie lub przeciętne stężenie mierzonego rodzaju gazu i .

Wszystkie pomiary suchego stężenia muszą być przekształcone w rzeczywiste wilgotne stężenia. (Patrz uzupełnienie E do niniejszego dodatku).

- b) Jakość pomiarów dla każdego polutanta będzie określona przez porównanie z pomiarami CO₂ przy użyciu współczynnika korelacji:

$$r_i = \frac{n \sum_{j=1}^n C_{ij} \text{CO}_{2j} - \sum_{j=1}^n C_{ij} \sum_{j=1}^n \text{CO}_{2j}}{\sqrt{\left(\left\{ n \sum_{j=1}^n (\text{CO}_{2j})^2 - \left(\sum_{j=1}^n \text{CO}_{2j} \right)^2 \right\} \left\{ n \sum_{j=1}^n C_{ij}^2 - \left(\sum_{j=1}^n C_{ij} \right)^2 \right\} \right)}}$$

Wartości r_i , które są bliskie 1, wskazują, że pomiary robione przez cały okres próbkowania są odpowiednio stabilne i że krzywe są krzywymi Gaussa. W przypadku gdy r_i jest mniejsze niż 0,95, pomiary muszą być powtórzone w płaszczyźnie pobierania próbek umieszczonej w większej odległości od silnika. W procesie pomiaru stosuje się wówczas te same obliczenia i te same wykazania, co poprzednio.

7.1.3 Podstawowe parametry

Dla pomiarów w każdym zakresie pracy silnika, średnie stężenie każdego rodzaju gazu jest szacowane, jak pokazano w p. 7.1.2, wszelkie niezbędne poprawki dla pomiaru suchej próbki i/lub na zakłócenia muszą być robione, jak pokazano w uzupełnieniu E do tego dodatku. Te średnie stężenia są użyte do obliczenia następujących podstawowych parametrów:

$$\text{EI}_p \text{ (indeks emisji dla składnika } p) = \frac{\text{masa wytworzonego } p \text{ w g}}{\text{masa użytego paliwa w kg}}$$

$$\text{EI}(\text{CO}) = \left(\frac{[\text{CO}]}{[\text{CO}_2] + [\text{CO}] + [\text{HC}]} \right) \left(\frac{10^3 M_{\text{CO}}}{M_{\text{C}} + (n/m) M_{\text{H}}} \right) (1 + T(P_o/m))$$

$$\text{EI}(\text{HC}) = \left(\frac{[\text{HC}]}{[\text{CO}_2] + [\text{CO}] + [\text{HC}]} \right) \left(\frac{10^3 M_{\text{HC}}}{M_{\text{C}} + (n/m) M_{\text{H}}} \right) (1 + T(P_o/m))$$

$$\text{EI}(\text{NO}_x) \text{ (jako NO}_2) = \left(\frac{[\text{NO}_x]}{[\text{CO}_2] + [\text{CO}] + [\text{HC}]} \right) \left(\frac{10^3 M_{\text{NO}_x}}{M_{\text{C}} + (n/m) M_{\text{H}}} \right) (1 + T(P_o/m))$$

$$\text{Współczynnik nadmiaru powietrza} = (P_o/m) \left(\frac{M_{\text{AIR}}}{M_{\text{C}} + (n/m) M_{\text{H}}} \right)$$

$$P_o/m = \frac{2Z - (n/m)}{4(1 + h_{vol} - |TZ/2|)}$$

oraz

$$Z = \frac{2 - [\text{CO}] - (|2/x| - |y/2x|) [\text{HC}] + [\text{NO}_2]}{[\text{CO}_2] + [\text{CO}] + [\text{HC}]}$$

M_{AIR} masa cząsteczkowa suchego powietrza = 28,966 g
lub, gdzie to właściwe, = $(32 R + 28,1564 S + 44,011 T)$ g

M_{HC} masa cząsteczkowa węglowodorów w spalinach, liczonych jako CH_4 = 16,043 g

M_{CO} masa cząsteczkowa CO = 28,011 g

M_{NO_2} masa cząsteczkowa NO_2 = 46,088 g

M_{C} masa atomowa węgla = 12,011 g

M_{H} masa atomowa wodoru = 1,008 g

R stężenie O_2 w suchym powietrzu, objętościowo = 0,2095 normalnie

S stężenie N_2 + gazy szlachetne w suchym powietrzu, objętościowo = 0,7092 normalnie

T stężenie CO_2 w suchym powietrzu, objętościowo = 0,0003 normalnie

$[\text{HC}]$ średnie stężenie wilgotnych węglowodorów w spalinach vol/vol, wyrażonych jako węgiel

$[\text{CO}]$ średnie stężenie wilgotnego CO, vol/vol, wilgotne

$[\text{CO}_2]$ średnie stężenie wilgotnego CO_2 , vol/vol, wilgotne

$[\text{NO}_x]$ średnie stężenie wilgotnego NO_x , vol/vol = $[\text{NO} + \text{NO}_2]$

$[\text{NO}]$ średnie stężenie wilgotnego NO w próbce spalin, vol/vol

$[\text{NO}_2]$ średnie stężenie wilgotnego NO_2 w próbce spalin, vol/vol

$$= \frac{([\text{NO}_x]_c - [\text{NO}])}{\eta}$$

$[\text{NO}_x]_c$ średnie stężenie wilgotnego NO w próbce spalin po przejściu przez konwertor NO_2/NO , vol/vol

η sprawność konwertora NO_2/NO

h_{vol} wilgotność powietrza otoczenia, vol wody/vol suchego powietrza

m liczba atomów C w charakterystycznej cząsteczce paliwa

n	liczba atomów H w charakterystycznej cząsteczce paliwa
x	liczba atomów C w charakterystycznej cząsteczce węglowodoru w spalinach
y	liczba atomów H w charakterystycznej cząsteczce węglowodoru w spalinach

Wartość n/m , stosunek liczby atomów wodoru do liczby atomów węgla użytego paliwa, jest oceniana przez analizę typu paliwa. Wilgotność powietrza otoczenia h musi być mierzona w każdych warunkach ustawienia. Przy braku przeciwnych dowodów dotyczących cech (x , y) węglowodorów w spalinach, należy użyć wartości $x = 1$, $y = 4$. Jeśli do pomiarów używa się suchych lub półsuchych CO i CQ, wówczas muszą one być przekształcone do równoważnego wilgotnego stężenia, jak określono w uzupełnieniu E do tego dodatku, który także zawiera wzory żądanej poprawki zakłóceń.

Uwaga.– Procedury podane w p. 7.1.4 i 7.2 stosuje się tylko do prób bez użycia dopalania. Do prób z użyciem dopalania powinna być zastosowana podobna procedura, wcześniej zatwierdzona przez władze certyfikujące.

7.1.4 Korekcja indeksów emisji do warunków odniesienia

Do zmierzonych indeksów emisji z silnika dla wszystkich polutantów we wszystkich stosownych zakresach pracy silnika muszą być wykonane korekcje, uwzględniające odchyłki od warunków odniesienia (ISA na poziomie morza) rzeczywistej temperatury i ciśnienia powietrza na wlocie podczas prób. Jako wartość odniesienia dla wilgotności przyjmuje się 0,00634 kg wody/kg suchego powietrza.

Tak więc EI skorygowany = $K \times$ EI zmierzony,

gdzie uogólnione wyrażenie K wynosi:

$$K = (P_{\text{Bref}}/P_B)^a \times (FAR_{\text{ref}}/FAR_B)^b \times \exp([T_{\text{Bref}} - T_B]/c) \times \exp(d/h - 0,00634)$$

P_B zmierzone ciśnienie na wlocie do komory spalania

T_B zmierzona temperatura na wlocie do komory spalania

FAR_B współczynnik nadmiaru powietrza w komorze spalania

h wilgotność powietrza otoczenia

P_{ref} ciśnienie ISA na poziomie morza

T_{ref} temperatura ISA na poziomie morza

P_{Bref} ciśnienie na wlocie do komory spalania badanego silnika (lub silnika odniesienia, jeśli dane są skorygowane do silnika odniesienia) związane z T_B w warunkach ISA na poziomie morza.

T_{Bref} temperatura na wlocie do komory spalania badanego silnika w warunkach ISA na poziomie morza (lub silnika odniesienia, jeśli dane są skorygowane do silnika odniesienia). Jest to temperatura połączona z każdym poziomem ciągu, wymaganym dla każdego zakresu.

FAR_{ref} współczynnik nadmiaru powietrza w komorze spalania badanego silnika w warunkach ISA na poziomie morza (lub silnika odniesienia, jeśli dane są skorygowane do silnika odniesienia).

a, b, c, d właściwe stałe, które mogą być różne dla każdego polutanta i dla każdego typu silnika.

Parametry wlotu do komory spalania powinny być mierzone, ale mogą być obliczone na podstawie warunków otoczenia według stosownych wzorów.

7.1.5 Stosując zalecaną technikę dopasowywania krzywej do powiązania indeksów emisji z temperaturą wlotu do komory spalania, skutecznie eliminuje się człon $\exp ([T_{\text{ref}} - T_B]/c)$ z ogólnego równania, a dla większości przypadków człon (FAR_{ref}/FAR_B) można przyrównać do jedności. Dla indeksów emisji CO i HC wiele urządzeń badawczych ma określone, że człon wilgotności jest wystarczająco bliski jedności, aby być wyeliminowanym z równania oraz że wykładnik członu $(P_{\text{Bref}} - P_B)$ jest bliski jedności.

Tak więc:

skorygowany EI(CO) = EI wyprowadzonemu z krzywej $(P_B/P_{\text{Bref}}) \cdot \text{EI}(\text{CO})$ w funkcji T_B ,

skorygowany EI(HC) = EI wyprowadzonemu z krzywej $(P_B/P_{\text{Bref}}) \cdot \text{EI}(\text{HC})$ w funkcji T_B ,

skorygowany EI(NO_x) = EI wyprowadzonemu z krzywej EI(NO_x) $(P_{\text{Bref}}/P_B)^{0,5 \exp(19[h_{\text{vol}} - 0,00634])}$ w funkcji T_B .

Jeśli ta zalecana metoda korekcji indeksów emisji CO i HC nie zapewni zadowalającej korelacji, wówczas może być użyta alternatywna metoda, stosująca parametry wyprowadzone z prób podzespołów.

Każda inna metoda wykonywania korekcji indeksów emisji CO, HC i NO_x wymaga zatwierdzenia przez władze certyfikujące.

7.2 Funkcje parametrów sterowania (D_p , F_{oo} , π)

7.2.1 Definicje

D_p Masa danego polutanta gazowego, emitowanego podczas cyklu odniesienia dla emisji lądowania i startu.

F_{oo} Maksymalny ciąg rozporządzalny dla startu w normalnych warunkach pracy, w warunkach statycznych ISA na poziomie morza, bez użycia wtrysku wody, zatwierdzony przez odpowiednie władze certyfikujące.

π Spręż sprężarki, czyli stosunek średniego ciśnienia całkowitego na wylocie ze sprężarki do średniego ciśnienia całkowitego na wlocie do sprężarki, gdy silnik rozwija ciąg startowy w warunkach statycznych ISA na poziomie morza.

7.2.2 Indeksy emisji (EI) dla każdego polutanta, skorygowane dla ciśnienia i wilgotności (jak stosowne) do warunków atmosferycznych odniesienia, jak pokazano w p. 7.1.4 oraz jeśli to niezbędne, do silnika odniesienia, muszą być uzyskane dla wymaganych ustawień (n) zakresów pracy silnika LTO przy biegu jałowym, podejściu, wznoszeniu i starcie, przy każdych warunkach równoważnego ciągu skorygowanego. Wymagane są co najmniej trzy punkty prób do określenia zakresu biegu jałowego. Muszą być określone następujące zależności dla każdego polutanta:

- między EI i T_B ;
- między W_f (natężenie przepływu paliwa w silniku) i T_B ; oraz
- między F_n i T_B (skorygowanymi do warunków ISA na poziomie morza).

Uwaga. – Są one pokazane jako przykład na rys. A5-3 a), b) i c).

Gdy badany silnik nie jest silnikiem „odniesienia”, dane mogą być skorygowane do takich warunków przy użyciu zależności b) i c), uzyskanych z silnika odniesienia. Silnik odniesienia jest zdefiniowany jako silnik

istotnie skonfigurowany zgodnie z opisem silnika certyfikowanego i zatwierdzonego przez władze certyfikujące jako reprezentatywny dla typu silnika, dla którego wystąpiono o certyfikację.

Producent musi także dostarczyć władzom certyfikującym wszystkie niezbędne dane o osiąгах silnika dla udowodnienia tych zależności i dla warunków otoczenia ISA na poziomie morza:

- d) maksymalny ciąg (F_{00});
- e) spręż sprężarki (π) przy maksymalnym ciągu.

Uwaga. – Pokazano to na rys. A5-3 d).

7.2.3 Ocena EI dla każdego polutanta przy każdym wymaganym zakresie pracy silnika, skorygowanego do warunków odniesienia otoczenia, musi być zgodna z następującą ogólną procedurą:

- a) dla każdego zakresu warunków ISA ciągu F_n , określić równoważną temperaturę na wlocie do komory spalania (T_B) (rys. A5-3 c));
- b) z charakterystyki EI/T_B (rys. A5-3 a)) określić wartość EI_n odpowiadającą T_B ;
- c) z charakterystyki W_f/T_B (rys. A5-3 b)) określić wartość W_{fn} odpowiadającą T_B ;
- d) zapisać wartości maksymalnego ciągu ISA i stosunek ciśnień. Są to odpowiednio F_{00} i π (rys. A5-3 d));
- e) obliczyć dla każdego polutanta $D_p = \Sigma (EI_n) (W_{fn}) (t)$ gdzie:

t czas zakresu LTO (minuty)

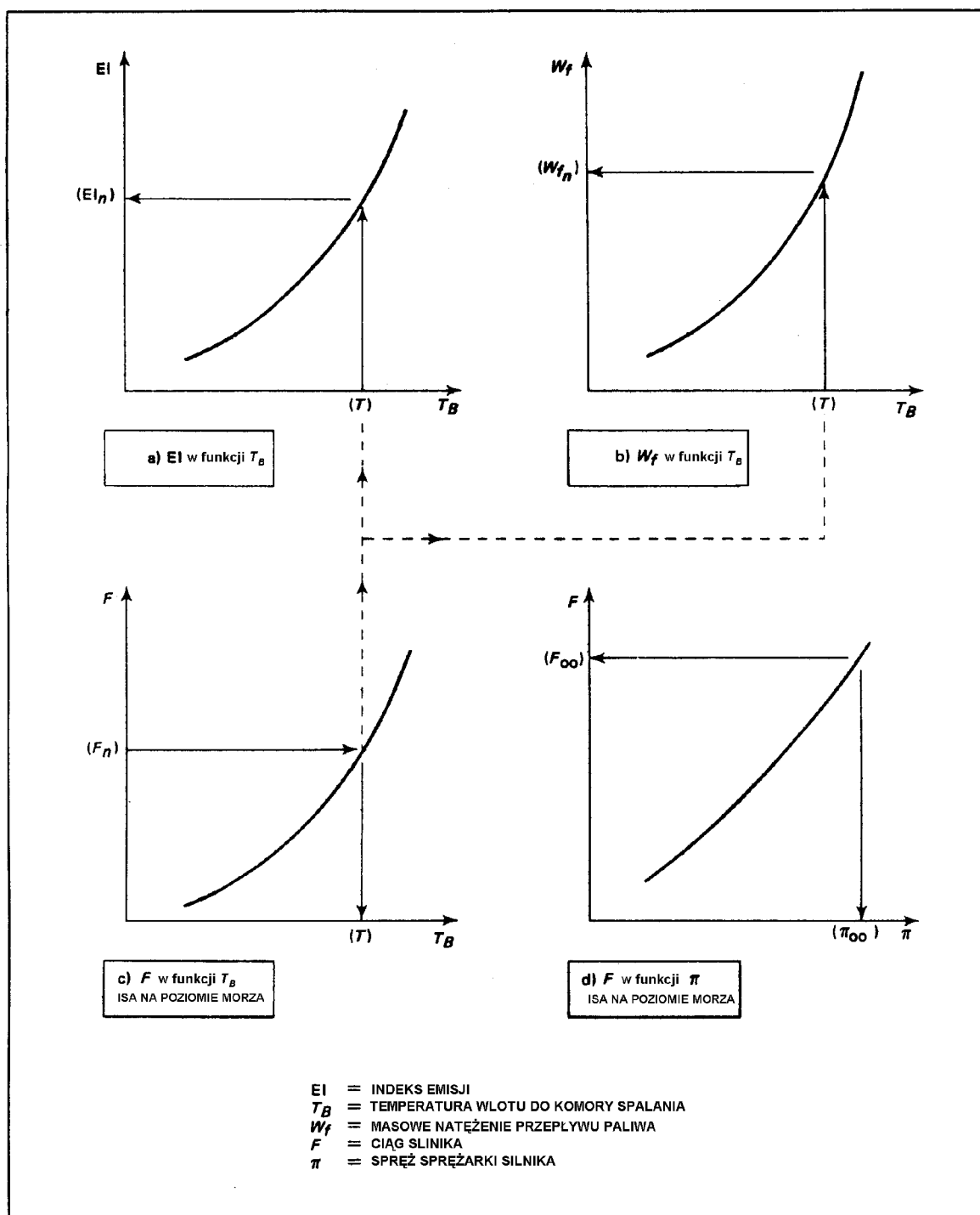
W_{fn} natężenie przepływu paliwa (kg/min)

Σ jest sumą zestawu zakresów, składających się na cykl odniesienia LTO.

7.2.4 Chociaż opisana powyżej metodologia jest zalecaną, władze certyfikujące mogą zaakceptować równoważną procedurę matematyczną, która stosuje wyrażenia matematyczne reprezentujące pokazane krzywe, jeśli wyrażenie zostało wyprowadzone przy użyciu zaakceptowanej techniki dopasowywania krzywej.

7.3 Wyjątki od proponowanej procedury

W przypadkach, gdyby konfiguracja silnika lub inne usprawiedliwiające warunki mogłyby przeszkodzić stosowaniu tej procedury, władze certyfikujące, po uzyskaniu zadowalających technicznych dowodów na równoważne wyniki uzyskane przy pomocy alternatywnej procedury, mogą ją zaaprobować.



Rys. A5-3. Procedura obliczeń

UZUPEŁNIENIE A DO DODATKU 5. WYMAGANIA DLA ANALIZATORA HC

Uwaga 1. – Jak naszkicowano w p. 5.2 dodatku 5, elementem pomiarowym w tym analizatorze jest czujnik płomieniowo-jonizacyjny (FID), w którym cały przepływ próbki lub jego reprezentatywna część jest wprowadzana do płomienia zasilanego wodorem. Przy odpowiednim ustawieniu elektrod ustala się prąd jonowy, który jest funkcją masy węgłowodoru wprowadzonego do płomienia. Prąd ten, odniesiony do odpowiedniego zera, jest wzmacniany do odpowiedniego zakresu, aby zapewnić odpowiedź wyjściową jako miarę stężenia węgłowodoru, wyrażoną jako równoważnik ppmC.

Uwaga 2. – Patrz Uzupełnienie D, zawierające informacje na temat gazów wzorcowych i odniesienia.

1. POSTANOWIENIA OGÓLNE

Środki ostrożności: Wskazane wymagania dotyczą ogólnie całego zakresu analizatora. Błędy dla części skali mogą stanowić znaczący procent odczytu. Stosowność i ważność takiego wzrostu musi być rozważona w czasie przygotowań do pomiarów. Jeśli niezbędne są lepsze osiągi, wówczas muszą być podjęte odpowiednie środki.

Użyty przyrząd musi utrzymywać temperaturę czujnika i podzespołów obsługujących próbkę w zakresie od 155°C do 165°C ze stabilnością $\pm 2^\circ\text{C}$. Wiodące wymagania zawarto w poniższych punktach, odpowiedź czujnika zoptymalizowana i przyrząd mający ogólną stabilizację:

- a) *całkowity zakres:* 0 do 500 ppmC w odpowiednich zakresach;
- b) *rozdzielczość:* lepsza niż 0,5% pełnej skali użytego zakresu lub 0,5 ppmC, zależnie, co jest większe;
- c) *powtarzalność:* lepsza niż $\pm 1\%$ pełnej skali użytego zakresu lub $\pm 0,5$ ppmC, zależnie, co jest większe;
- d) *stabilność:* lepsza niż $\pm 2\%$ pełnej skali użytego zakresu lub ± 1 ppmC, zależnie, co jest większe, w ciągu 1 godziny;
- e) *pełzanie zera:* mniejsze niż $\pm 1\%$ pełnej skali użytego zakresu lub $\pm 0,5$ ppmC, zależnie, co jest większe, w ciągu 1 godziny;
- f) *szum:* 0,5 Hz i więcej, mniejszy niż $\pm 1\%$ pełnej skali użytego zakresu lub $\pm 0,5$ ppmC, zależnie, co jest większe;
- g) *czas odpowiedzi:* nie przekraczający 10 sekund od wejścia próbki do układu analizującego do osiągnięcia 90% odczytu końcowego;
- h) *liniowość:* odpowiedź dla propanu w powietrzu musi być liniowa dla każdego zakresu z $\pm 2\%$ pełnej skali, inaczej musi być wykonana poprawka kalibracji.

2. EFEKTY SYNERGICZNE

Uwaga. – W zastosowaniu występują dwa aspekty osiągnięć, które mogą wpływać na dokładność pomiarów:

- a) *wpływ tlenu (przez co różne proporcje tlenu obecnego w próbce dają różne wskazania stężenia węgłowodoru przy stałym rzeczywistym stężeniu HC); oraz*

- b) względna odpowiedź węglowodoru (przez co jest różna odpowiedź na to samo stężenie węglowodoru w próbce, wyrażone jako równoważnik ppmC, zależnie od kategorii lub domieszek kategorii składników węglowodorów).

Znaczenie powyższych wpływów musi być określone, jak następuje i odpowiednio ograniczone.

Odpowiedź tlenu: mierzyć odpowiedź przy dwóch mieszankach propanu o stężeniu około 500 ppmC przy znanej dokładności względnej $\pm 1\%$, jak następuje:

- 1) propan w 10 ± 1 procentowym O_2 , wyważać N_2
- 2) propan w 21 ± 1 procentowym O_2 , wyważać N_2

Jeśli R_1 i R_2 są odpowiednio odpowiedziami znormalizowanymi, wówczas $(R - R_2)$ musi być mniejsza niż $3\% R_1$.

Odpowiedź różnicowa węglowodoru: mierzyć odpowiedź przy czterech mieszankach różnych węglowodorów w powietrzu, o stężeniu około 500 ppmC przy znanej dokładności względnej $\pm 1\%$, jak następuje:

- a) propan w zerowym powietrzu;
- b) propylen w zerowym powietrzu;
- c) toluen w zerowym powietrzu;
- d) n-heksan w zerowym powietrzu.

Jeśli R_a , R_b , R_c i R_d są odpowiednio odpowiedziami znormalizowanymi (ze względu na propan), wówczas $(R_a - R_b)$, $(R_a - R_c)$ i $(R_a - R_d)$ muszą być mniejsze niż $5\% R_a$.

3. OPTIMALIZACJA ODPOWIEDZI CZUJNIKA I ZESTRAJANIE

3.1 Muszą być zastosowane instrukcje producenta w zakresie procedur początkowego zestawienia, pomocniczej obsługi i wymaganego zasilania, zaś przyrząd musi być ustabilizowany. Wszystkie regulacje nastawienia muszą zawierać powtarzające się sprawdzanie zera i poprawki, gdy są one niezbędne. Używając jako próbkę, mieszaninę około 500 ppmC propanu w powietrzu, muszą być określone charakterystyki odpowiedzi dla zmian w przepływie paliwa, oraz, gdy przepływ paliwa jest bliski optymalnemu, dla zmian rozcieńczenia powietrza, aby wybrać jego optimum. Odpowiedzi tlenu i różnicowa węglowodoru muszą być określone, jak podano powyżej.

3.2 Liniowość każdego zakresu analizatora musi być sprawdzona przez zastosowanie próbek propanu w powietrzu o stężeniu w przybliżeniu 30, 60 i 90% pełnej skali. Maksymalne odchylenie odpowiedzi dla każdego z tych punktów od prostej najmniejszych kwadratów (pasowanej do tych punktów i do zera) nie może przekroczyć $\pm 2\%$ wartości pełnej skali. Gdy przekracza, musi być sporządzona krzywa kalibracji dla użycia roboczego.

UZUPEŁNIENIE B DO DODATKU 5. WYMAGANIA DLA ANALIZATORÓW CO I CO₂

Uwaga 1. – Punkt 5.3 dodatku 5 zawiera skrócone charakterystyki podukładu analizującego, stosowanego do poszczególnych pomiarów stężeń CO i CO₂ w próbce spalin. Przyrządy bazują na zasadzie bezdyspersyjnej absorpcji promieniowania podczerwonego w równoległych ogniach odniesienia i zawierającym próbkę gazu. Wymagane zakresy czułości są uzyskiwane przez użycie stosu ogni z próbkami lub zmiany w zespołach obwodów elektronicznych lub użycie obu sposobów razem. Zakłócenia od gazów z pasmami absorpcyjnymi na zakładkę mogą być minimalizowane przez gazowe filtry absorpcyjne i/lub filtry optyczne, co jest bardziej pożądane.

Uwaga 2. – Patrz uzupełnienie D, zawierające informacje na temat gazów wzorcowych i odniesienia.

Środki ostrożności: Wskazane wymagania dotyczą ogólnie całego zakresu analizatora. Błędy dla części skali mogą stanowić znaczący procent odczytu. Stosowność i ważność takiego wzrostu musi być rozważona w czasie przygotowań do pomiarów. Jeśli niezbędne są lepsze osiągi, wówczas muszą być podjęte odpowiednie środki.

Podstawowe wymagania są następujące:

Analizator CO

- a) *całkowity zakres:* 0 do 2 500 ppm w odpowiednich zakresach;
- b) *rozdzielczość:* lepsza niż 0,5% pełnej skali użytego zakresu lub 1 ppm, zależnie, co jest większe;
- c) *powtarzalność:* lepsza niż $\pm 1\%$ pełnej skali użytego zakresu lub ± 2 ppm, zależnie, co jest większe;
- d) *stabilność:* lepsza niż $\pm 2\%$ pełnej skali użytego zakresu lub ± 2 ppm, zależnie, co jest większe, w ciągu 1 godziny;
- e) *pełzanie zera:* mniejsze niż $\pm 1\%$ pełnej skali użytego zakresu lub ± 2 ppm, zależnie, co jest większe, w ciągu 1 godziny;
- f) *szum:* 0,5 Hz i więcej, mniejszy niż $\pm 1\%$ pełnej skali użytego zakresu lub ± 1 ppm, zależnie, co jest większe;
- g) *zakłócenia:* ograniczone ze względu na wskazane stężenia CO jak następuje:
 - 1) mniejsze niż 500 ppm/% stężenia etylenu,
 - 2) mniejsze niż 2 ppm/% stężenia CO₂,
 - 3) mniejsze niż 2 ppm/% pary wodnej.*

Jeśli ograniczenia na zakłócenia dla CO₂ i pary wodnej nie będą spełnione, wówczas muszą być określone, opisane i zastosowane stosowne współczynniki poprawki.

Uwaga. – Zgodnie z dobrą praktyką zaleca się, aby takie procedury poprawki były stosowane we wszystkich przypadkach.

* Nie stosuje się w pomiarach na bazie „suchej”.

Analizator CO₂

- a) *całkowity zakres*: 0 do 10% w odpowiednich zakresach;
- b) *rozdzielczość*: lepsza niż 0,5% pełnej skali użytego zakresu lub 100 ppm, zależnie, co jest większe;
- c) *powtarzalność*: lepsza niż $\pm 1\%$ pełnej skali użytego zakresu lub ± 100 ppm, zależnie, co jest większe;
- d) *stabilność*: lepsza niż $\pm 2\%$ pełnej skali użytego zakresu lub ± 100 ppm, zależnie, co jest większe, w ciągu 1 godziny;
- e) *pełzanie zera*: mniejsze niż $\pm 1\%$ pełnej skali użytego zakresu lub ± 100 ppm, zależnie, co jest większe, w ciągu 1 godziny;
- f) *szum*: 0,5 Hz i więcej, mniejszy niż $\pm 1\%$ pełnej skali użytego zakresu lub ± 100 ppm, zależnie, co jest większe;
- g) wpływ tlenu (O₂) na odpowiedź analizatora CO₂ musi być sprawdzony. Dla zmiany od 0% do 21% O₂ odpowiedź danego stężenia CO₂ nie może zmieniać się o więcej niż 2% odczytu. Jeśli to ograniczenie nie jest spełnione, musi być zastosowany odpowiedni współczynnik poprawki.

Uwaga. – Zgodnie z dobrą praktyką zaleca się, aby takie procedury poprawki były stosowane we wszystkich przypadkach.

Analizatory CO i CO₂

- a) *czas odpowiedzi*: nieprzekraczający 10 sekund od wejścia próbki do układu analizującego do osiągnięcia 90% odczytu końcowego;
- b) *temperatura próbki*: normalnym zakresem pracy dla analizy próbki jest (bezpłomkowy) warunek „wilgotny”. Wymaga to, aby ogniwo próbki i wszystkie inne składniki podukładu stykające się z próbką, były utrzymane w temperaturze nie mniejszej niż 50°C, ze stabilnością $\pm 2^\circ\text{C}$. Opcja pomiaru CO i CO₂ na bazie suchej (z odpowiednimi studzienkami wodnymi) jest dozwolona, w tym przypadku nieogrzewane analizatory są dopuszczalne i ograniczenia zakłóceń dla pary H₂O usunięto, a wymagana jest późniejsza poprawka dla pary wodnej na wlocie i wody spalanej;
- c) *krzywe kalibracji*:
 - i) analizatory z liniową charakterystyką wyjścia sygnału muszą być sprawdzane na wszystkich zakresach pracy przy użyciu gazów wzorcowych o znanym stężeniu w przybliżeniu 0, 30, 60 i 90% pełnej skali. Maksymalne odchylenie odpowiedzi dla każdego z tych punktów od prostej najmniejszych kwadratów, pasowanej do tych punktów i do odczytu zera, nie może przekroczyć $\pm 2\%$ wartości pełnej skali. Gdy przekracza, musi być sporządzona krzywa kalibracji dla użycia roboczego,
 - ii) analizatory z nieliniową charakterystyką wyjścia sygnału oraz te, które nie spełniają wymagań liniowości podanych powyżej, muszą mieć przygotowane krzywe kalibracji dla wszystkich zakresów roboczych, stosując gazy wzorcowe o znanym stężeniu w przybliżeniu 0, 30, 60 i 90% pełnej skali. Dodatkowe mieszanki muszą być użyte, jeśli to niezbędne, do właściwego określenia kształtu krzywej.

UZUPEŁNIENIE C DO DODATKU 5. WYMAGANIA DLA ANALIZATORA NO_x

Uwaga. – Patrz uzupełnienie D, zawierające informacje na temat gazów wzorcowych i odniesienia.

1. Jak wskazano w p. 5.4 dodatku 5, pomiar stężenia tlenków azotu musi być wykonywany metodą chemiluminescencyjną, w której mierzy się natężenie promieniowania, emitowanego podczas reakcji NO z O₃. Tą metodą nie wykrywa się NO₂, więc próbka musi przejść przez konwertor, w którym NO₂ jest przekształcany w NO przed pomiarem całkowitego NO_x. Zarówno stężenie początkowe NO, jak i całkowite NO_x musi być zarejestrowane. Odejmując te wartości uzyskuje się miarę koncentracji NO₂.

2. Użyty przyrząd musi być kompletny, ze wszystkimi niezbędnymi składnikami do sterowania przepływem, jak regulatory, zawory, przepływomierze, itp. Materiały stykające się z próbką gazu muszą być odporne na działanie tlenków azotu, jak stal nierdzewna, szkło, itp. Temperatura próbki wszędzie musi być utrzymywana na poziomie zgodnym z miejscowym ciśnieniem, co pozwala uniknąć kondensacji wody.

Środki ostrożności: Wskazane wymagania dotyczą ogólnie całego zakresu analizatora. Błędy dla części skali mogą stanowić znaczący procent odczytu. Stosowność i ważność takiego wzrostu musi być rozważona w czasie przygotowań do pomiarów. Jeśli niezbędne są lepsze osiągi, wówczas muszą być podjęte odpowiednie środki.

3. Podstawowe wymagania dla osiągnięć, określone dla przyrządu pracującego w temperaturze otoczenia ustabilizowanej do 2°C, są następujące:

- a) *całkowity zakres:* 0 do 2 500 ppm w odpowiednich zakresach;
- b) *rozdzielczość:* lepsza niż 0,5% pełnej skali użytego zakresu lub 1 ppm, zależnie, co jest większe;
- c) *powtarzalność:* lepsza niż ±1% pełnej skali użytego zakresu lub ±1 ppm, zależnie, co jest większe;
- d) *stabilność:* lepsza niż ±2% pełnej skali użytego zakresu lub ±1 ppm, zależnie, co jest większe, w ciągu 1 godziny;
- e) *pełzanie zera:* mniejsze niż ±1% pełnej skali użytego zakresu lub ±1 ppm, zależnie, co jest większe, w ciągu 1 godziny;
- f) *szum:* 0,5 Hz i więcej, mniejszy niż ±1,0% pełnej skali użytego zakresu lub ±1 ppm, zależnie, co jest większe, w ciągu 2 godzin;
- g) *zakłócenia:* tłumienie dla próbek zawierających CO₂ i parę wodną musi być ograniczone, jak następuje:
 - mniejsze niż 0,05% odczytu/% stężenia CO₂;
 - mniejsze niż 0,1% odczytu/% stężenia pary wodnej.

Jeśli ograniczenia na zakłócenia dla CO₂ i pary wodnej nie będą spełnione, wówczas muszą być określone, opisane i zastosowane stosowne współczynniki poprawki.

Uwaga. – Zgodnie z dobrą praktyką zaleca się, aby takie procedury poprawek były stosowane we wszystkich przypadkach.

- h) *czas odpowiedzi*: nieprzekraczający 10 sekund od wejścia próbki do układu analizującego do osiągnięcia 90% odczytu końcowego;
- i) *liniowość*: lepsza niż $\pm 2\%$ pełnej skali użytego zakresu lub ± 2 ppm, zależnie, co jest większe;
- j) *konwertor*: musi być on zaprojektowany i użytkowany tak, aby zawarty w próbce NO_2 redukować do NO. Konwertor nie może wpływać na początkowy NO w próbce.

Sprawność konwertora nie może być mniejsza niż 90%.

Ta wartość sprawności musi być użyta do poprawki zmierzonej wartości próbki NO_2 (t.j. $[\text{NO}_x]_c - [\text{NO}]$) do tej, która byłaby określona, gdyby sprawność nie wynosiłaby 100%.

UZUPEŁNIENIE D DO DODATKU 5. GAZY WZORCOWE I ODNIESIENIA

Tablica gazów wzorcowych

<i>Analizator</i>	<i>Gaz</i>	<i>Dokładność*</i>
HC	propan w zerowym powietrzu	$\pm 2\%$ lub $\pm 0,05$ ppm**
CO ₂	CO ₂ w zerowym powietrzu	$\pm 2\%$ lub ± 100 ppm**
CO	CO w zerowym powietrzu	$\pm 2\%$ lub ± 2 ppm**
NO _x	NO _x w zerowym azocie	$\pm 2\%$ lub ± 1 ppm**

* W przedziale ufności 95%.

** Zależnie, co jest większe.

Powyższe gazy są wymagane do przeprowadzania rutynowych kalibracji analizatorów podczas ich normalnej pracy.

Tablica gazów odniesienia

<i>Analizator</i>	<i>Gaz</i>	<i>Dokładność*</i>
HC	propan w 10 ± 1 procentowym O ₂ równoważonym zerowym azotem	$\pm 1\%$
HC	propan w 21 ± 1 procentowym O ₂ równoważonym zerowym azotem	$\pm 1\%$
HC	propylen w zerowym powietrzu	$\pm 1\%$
HC	toluen w zerowym powietrzu	$\pm 1\%$
HC	n-heksan w zerowym powietrzu	$\pm 1\%$
HC	propan w zerowym powietrzu	$\pm 1\%$
CO ₂	CO ₂ w zerowym powietrzu	$\pm 1\%$
CO ₂	CO ₂ w zerowym azocie	$\pm 1\%$
CO	CO w zerowym powietrzu	$\pm 1\%$
NO _x	NO w zerowym azocie	$\pm 1\%$

* W przedziale ufności 95%

Powyższe gazy są wymagane do przeprowadzania prób według uzupełnień A, B i C.

Gazy wzorcowe: tlenek węgla i dwutlenek węgla, mogą być mieszkanką z jednym lub dwoma składnikami. Mieszkanka trzyskładnikowa tlenku węgla, dwutlenku węgla i propanu w zerowym powietrzu, może być użyta przy zapewnieniu stabilności tej mieszkanki.

Gazem zerowym, jak określono dla analizatorów CO, CO₂ i HC, musi być zerowe powietrze (włącznie ze „sztucznym” powietrzem z 20 do 22% O₂ zmieszanymi z N₂). Dla analizatora NO_x jako gaz zerowy musi być stosowany zerowy azot. Domieszki w obu rodzajach gazu zerowego muszą być ograniczone do mniejszych stężeń niż następujące:

- 1 ppm C
- 1 ppm CO
- 100 ppm CO₂
- 1 ppm NO_x

Wnioskujący musi upewnić się, że gazy handlowe jemu dostarczone, rzeczywiście spełniają te wymagania lub są tak wyspecyfikowane przez sprzedawcę.

UZUPEŁNIENIE E DO DODATKU 5. OBLICZANIE PARAMETRÓW EMISJI – PODSTAWA, POPRAWKI POMIARÓW I ALTERNATYWNA METODA NUMERYCZNA

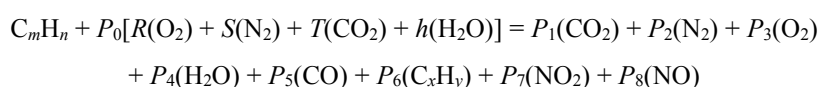
1. SYMBOLE

AFR	współczynnik nadmiaru powietrza, stosunek masowych natężeń przepływu suchego powietrza i paliwa
EI	indeks emisji; $10^3 \times$ masowe natężenie przepływu emisji gazowych na wylocie do jednostkowego masowego natężenia paliwa
K	stosunek stężeń mierzonych wilgotnych do suchych (po wymrażarce)
L, L'	współczynnik zakłócenia analizatora dla zakłócenia przez CO_2
M, M'	współczynnik zakłócenia analizatora dla zakłócenia przez H_2O
M_{AIR}	masa cząsteczkowa suchego powietrza = 28,966 g lub, gdzie to stosowne, = $(32 R + 28,1564 S + 44,011 T)$ g
M_{CO}	masa cząsteczkowa CO = 28,011 g
M_{HC}	masa cząsteczkowa węglowodoru w spalinach, liczona jako CH_4 = 16,043 g
M_{NO_2}	masa cząsteczkowa NO_2 = 46,008 g
M_C	masa atomowa węgla = 12,011 g
M_H	masa atomowa wodoru = 1,008 g
P_1	liczba moli CO_2 w próbce spalin na mol paliwa
P_2	liczba moli N_2 w próbce spalin na mol paliwa
P_3	liczba moli O_2 w próbce spalin na mol paliwa
P_4	liczba moli H_2O w próbce spalin na mol paliwa
P_5	liczba moli CO w próbce spalin na mol paliwa
P_6	liczba moli C_xH_y w próbce spalin na mol paliwa
P_7	liczba moli NO_2 w próbce spalin na mol paliwa
P_8	liczba moli NO w próbce spalin na mol paliwa
P_T	$P_1 + P_2 + P_3 + P_4 + P_5 + P_6 + P_7 + P_8$
R	stężenie O_2 w suchym powietrzu, objętościowo = 0,2095 normalnie.

S	stężenie N_2 + gazy szlachetne w suchym powietrzu, objętościowo = 0,7902 normalnie
T	stężenie CO_2 w suchym powietrzu, objętościowo = 0,0003 normalnie
P_0	ilość moli powietrza na mol paliwa w początkowej mieszance powietrze/paliwo
Z	symbol użyty i określony w 3.4
$[CO_2]$	średnie stężenie CO_2 w próbce spalin, vol/vol
$[CO]$	średnie stężenie CO w próbce spalin, vol/vol
$[HC]$	średnie stężenie HC w próbce spalin, vol/vol
$[NO]$	średnie stężenie NO w próbce spalin, vol/vol
$[NO_2]$	średnie stężenie NO_2 w próbce spalin, vol/vol
$[NO_x]$	średnie stężenie NO_x w próbce spalin, vol/vol
$[NO_x]_c$	średnie stężenie NO w próbce spalin, po przejściu przez konwerter NO_2/NO , vol/vol
$[NO_2]$	średnie = $\frac{([NO_x]_c - [NO])}{\eta}$
$[]_d$	średnie stężenie w próbce spalin po wymrażarce, vol/vol
$[]_m$	odczyt pomiaru średniego stężenia przed zastosowaniem poprawki przyrządu, vol/vol
h_{vol}	wilgotność powietrza otoczenia, vol wody/vol suchego powietrza
h_d	wilgotność próbki spalin opuszczającej „susząrkę” lub „wymrażarkę”, vol wody/vol suchej próbki
m	liczba atomów C w charakterystycznej cząsteczce paliwa
n	liczba atomów H w charakterystycznej cząsteczce paliwa
x	liczba atomów C w charakterystycznej cząsteczce węglowodorów w spalinach
y	liczba atomów H w charakterystycznej cząsteczce węglowodorów w spalinach
η	sprawność konwertera NO_2/NO

2. PODSTAWA OBLICZANIA PARAMETRÓW EI I AFR

2.1 Przyjmuje się, że równowaga pomiędzy początkową mieszanką paliwa i powietrza a wynikowym stanem próbki emisji spalin, może być wyrażona następującym wzorem:



z którego wymagane parametry mogą być, z definicji, wyrażone jako:

$$EI(CO) = P_5 \left(\frac{10^3 M_{CO}}{mM_C + nM_H} \right)$$

$$EI(HC) = xP_6 \left(\frac{10^3 M_{HC}}{mM_C + nM_H} \right) \quad \text{wyrażony jako równoważnik metanu}$$

$$EI(NO_x) = (P_7 + P_8) \left(\frac{10^3 M_{NO_x}}{mM_C + nM_H} \right) \quad \text{wyrażony jako równoważnik NO}_2$$

$$AFR = P_0 \left(\frac{M_{AIR}}{mM_C + nM_H} \right)$$

2.2 Wartości składników węglowodorów paliwa (m, n) są oznaczone w specyfikacji paliwa lub określone w drodze analizy. Jeśli stosunek n/m jest tak określony, wówczas może być przypisana wartość $m = 12$. Ułamki molowe składników suchego powietrza (R, S, T) są normalnie podawane jako zalecane wartości standardowe, ale mogą także być określone wartości alternatywne, podlegające ograniczeniu $R + S + T = 1$ oraz zatwierdzeniu przez władze certyfikujące.

2.3 Wilgotność powietrza otaczającego hvol jest taka, jak zmierzono w każdych warunkach prób. Zaleca się, aby przy braku przeciwnych dowodów co do wartości charakterystyk (x, y) węglowodorów w spalinach, przyjąć wartości $x = 1$ oraz $y = 4$.

2.4 Określenie pozostałych niewiadomych wymaga rozwiązania następującego zestawu równoważnych równań liniowych, gdzie (1) do (4) pochodzą z podstawowych zależności zachowania atomów, a (5) do (9) przedstawiają zależności stężeń produktów gazowych.

$$m + TP_0 = P_1 + P_5 + xP_6 \quad (1)$$

$$n + 2hP_0 = 2P_4 + yP_6 \quad (2)$$

$$(2R + 2T + h_{vol})P_0 = 2P_1 + 2P_3 + P_4 + P_5 + 2P_7 + P_8 \quad (3)$$

$$2SP_0 = 2P_2 + P_7 + P_8 \quad (4)$$

$$[CO_2] P_T = P_1 \quad (5)$$

$$[CO] P_T = P_5 \quad (6)$$

$$[HC] P_T = xP_6 \quad (7)$$

$$[NO_x] P_T = \eta P_7 + P_8 \quad (8)$$

$$[NO] P_T = P_8 \quad (9)$$

$$P_T = P_1 + P_2 + P_3 + P_4 + P_5 + P_6 + P_7 + P_8 \quad (10)$$

Powyższy zestaw równań warunkowych jest dla przypadku, gdzie wszystkie mierzone stężenia są prawdziwe, bez wpływu zakłóceń lub potrzeby poprawki na suszenie próbek. W praktyce występuje znaczący wpływ zakłóceń w pomiarach CO , NO_x i NO , więc często stosowana jest opcja pomiarów suchych lub półsuchych CO_2 i CO . Konieczność modyfikacji stosownych równań jest opisana w p. 2.5 i 2.6.

2.5 Zakłócenia są powodowane głównie obecnością w próbce CO₂ i H₂O, które mogą wpływać na analizatory CO i NO_x w zasadniczo różny sposób. Analizator CO jest skłonny do przemieszczania zera, a analizator NO_x do zmiany czułości, co wyraża się jako:

$$[CO] = [CP]_m + L[CO_2] + M[H_2O]$$

oraz

$$[NO_x]_c = [NO_x]_{cm} (1 + L'[CO_2] + M'[H_2O])$$

co przekształca równania (6), (8) i (9) w następujące alternatywne równania, gdy wymaga się, aby wpływy zakłóceń były korygowane:

$$[CO]_m P_T + L P_1 + M P_4 = P_5 \dots\dots\dots (6A)$$

$$[NO_x]_{cm} (P_T + L' P_1 + M' P_4) = \eta P_7 + P_8 \dots\dots\dots (8A)$$

$$[NO]_m (P_T + L' P_1 + M' P_4) = P_8 \dots\dots\dots (9A)$$

2.6 Opcja pomiaru stężenia CO₂ i CO na bazie suchej lub częściowo suchej próbki wymaga użycia zmodyfikowanych równań warunkowych z wilgotnością próbki zredukowaną do h_d, jak następuje:

$$[CO_2]_d (P_T - P_4) (1 + h_d) = P_1 \dots\dots\dots (5A)$$

oraz

$$[CO]_d (P_T - P_4) (1 + h_d) = P_5$$

Jednak na analizator CO mogą także wpływać zakłócenia, jak opisano w p. 2.5 powyżej i tak kompletne równanie alternatywne na mierzone stężenie CO, przybiera postać:

$$[CO]_{md} (P_T - P_4) (1 + h_d) + L P_1 + M h_d (P_T - P_4) = P_5 \dots\dots\dots (6B)$$

3. SFORMUŁOWANIA ANALITYCZNE

3.1 Postanowienia ogólne

Równania od (1) do (10) mogą być zredukowane do sformułowań analitycznych dla parametrów EI i AFR, jak podano w p. 7.1 w tym dodatku. Ta redukcja jest procesem postępowego eliminowania członów P_0 , P_1 do P_8 , P_T , przy założeniu, że wszystkie pomiary stężenia są dokonywane dla „wilgotnej” próbki, co nie wymaga poprawki na zakłócenia i temu podobnych. W praktyce często jest wybierana opcja, aby wykonywać pomiary stężenia CO₂ i CO na bazie „wilgotnej” lub „półwilgotnej”; także często zachodzi konieczność wykonywania poprawek na zakłócenia. Sformułowania używane w tych różnorodnych warunkach podane są w p. 3.2, 3.3 i 3.4 poniżej.

3.2 Sformułowania dla przekształcenia pomiarów stężenia na bazie suchej do pomiarów na bazie wilgotnej.

Wilgotne stężenie = $K \times$ stężenie suche; to jest

$$[] = K []_d$$

Następujące wyrażenie na K stosuje się, gdy CO i CO₂ są określone na „suchej” bazie:

$$K = \frac{\{4 + (n/m) T + ([n/m]T - 2h_{vol}) ([NO_2] - (2[HC]/x)) + (2 + h_{vol}) ([y/x] - [n/m]) [HC]\} (1 + h_d)}{(2 + h_{vol}) \{2 + (n/m) (1 + h_d) ([CO_2]_d + [CO]_d)\} - ([n/m]T - 2h_{vol}) (1 - [1 + h_d] [CO]_d)}$$

3.3 Poprawka na zakłócenia

Pomiary CO i/lub NO i NO₂ mogą wymagać poprawki na zakłócenia od stężeń CO₂ wody w próbce przed zastosowaniem w powyższych równaniach analitycznych. Takie poprawki mogą normalnie być wyrażone w ogólny sposób następująco:

$$[CO] = [CO]_m + L[CO_2] + M[H_2O]$$

$$[CO]_d = [CO]_{md} + L[CO_2]_d + M \left\{ \frac{h_d}{1 + h_d} \right\}$$

$$[NO] = [NO]_m (1 + L [CO_2] + M [H_2O])$$

$$\eta [NO_2] = ([NO_x]_{cm} - [NO]_m) (1 + L [CO_2] + M [H_2O])$$

3.4 Równanie dla oceny zawartości wody w próbce

Stężenie wody w próbce

$$[H_2O] = \frac{([n/2m] + h_{vol}[P_0/m]) ([CO_2] + [CO] + [HC]) - (y/2x) [HC]}{1 + T(P_0/m)}$$

gdzie

$$P_0/m = \frac{2Z - (n/m)}{4(1 + h_{vol} - [TZ/2])} =$$

oraz

$$Z = \frac{2 - [CO] - ([2/x] - [y/2x]) [HC] + [NO_2]}{[CO_2] + [CO] + [HC]}$$

Należy zauważyć, że ta ocena jest funkcją różnych odczytów analizy stężeń, które mogą same wymagać poprawki na zakłócenia wodą. Dla lepszej dokładności wymagana jest procedura iteracyjna w tych przypadkach z kolejnym, ponownym obliczeniem stężenia wody zanim zostanie osiągnięta wymagana stabilność. Użycie alternatywnej, numerycznej metodologii rozwiązania (4) pozwoli uniknąć tej trudności.

4. METODOLOGIA ALTERNATYWNA – ROZWIĄZANIE NUMERYCZNE

4.1 Jako alternatywa do procedur analitycznych, podsumowanych powyżej w punkcie 3, jest możliwe łatwe uzyskanie indeksów emisji, współczynnika nadmiaru powietrza, skorygowanego stężenia wilgoci itp. z numerycznego rozwiązania równań (1) do (10) dla każdego zestawu pomiarów za pomocą komputera.

4.2 W zestawie równań od (1) do (10) rzeczywiste pomiary stężeń są zastąpione użyciem któregośkolwiek z alternatywnych równań (5A), (6A) itp. stosownego do poszczególnego układu pomiarowego, biorąc pod uwagę poprawki na zakłócenia i/lub pomiary suchej próbki.

4.3 Oprogramowania komputerowe rozwiązujące równania tablic dwuwymiarowych są szeroko dostępne i ich użycie do tego celu jest dogodne i przydatne, pozwalając na gotowe wprowadzenie i identyfikację każdej opcji suchej próbki oraz poprawki na zakłócenia i inne.

UZUPEŁNIENIE F DO DODATKU 5. WYMAGANIA DLA DODATKOWYCH DANYCH

Jak wymaga się w p. 3.2 dodatku 5, oprócz stężenia składników mierzonej próbki, muszą być podane także następujące dane:

- a) temperatura na wlocie: mierzona jako całkowita temperatura w punkcie położonym nie dalej niż jedna średnica od płaszczyzny wlotu do silnika, z dokładnością $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$;
- b) wilgotność na wlocie (kg wody/kg suchego powietrza): mierzona w punkcie położonym nie dalej niż 15 m od płaszczyzny wlotu do silnika, z dokładnością $\pm 5\%$ odczytu;
- c) ciśnienie atmosferyczne: mierzone nie dalej niż 1 km od miejsca prób silnika i korygowane, gdy to niezbędne, do wysokości stanowiska do prób, z dokładnością $\pm 100\text{ Pa}$;
- d) masowy przepływ paliwa: z bezpośredniego pomiaru z dokładnością $\pm 2\%$;
- e) stosunek H/C w paliwie: określony jako n/m , gdzie C_mH_n jest równoważnym odwzorowaniem węglowodoru w paliwie, użytym do prób i oszacowanym przez odniesienie do analizy typu paliwa silnikowego;
- f) parametry silnika:
 - 1) ciąg: z bezpośredniego pomiaru z dokładnością $\pm 1\%$ mocy startowej i $\pm 5\%$ minimalnego ciągu, użytego podczas prób certyfikacyjnych, z liniową zmiennością pomiędzy tymi punktami;
 - 2) prędkość(i) obrotowa: z bezpośredniego pomiaru z dokładnością co najmniej $\pm 0,5\%$;
 - 3) przepływ gazu z wytwornicy: określony z dokładnością $\pm 2\%$ przez odniesienie do kalibracji osiągow silnika.

Parametry a), b), d) i f) muszą być określone dla każdego ustawienia silnika w próbach emisji, zaś c) musi być określany w odstępach nie mniejszych niż 1 godzina w okresie zawierającym próby emisji.

DODATEK 6. PROCEDURA ZGODNOŚCI W ZAKRESIE EMISJI GAZÓW, DYMU I CZĄSTEK STAŁYCH

1. POSTANOWIENIA OGÓLNE

Następujące ogólne zasady muszą być przestrzegane dla zgodności z poziomami wymagań, podanymi w części III w punktach 2.2, 2.3, 3.2, 3.3 i 3.4:

- a) producent musi zgodzić się na wybranie do prób certyfikacyjnych pewnej ilości silników, włącznie z pojedynczym silnikiem, jeśli tak żądane;
- b) wszystkie wyniki prób, uzyskane podczas prób certyfikacyjnych, muszą być brane pod uwagę przez władze certyfikujące;
- c) muszą być przeprowadzone co najmniej 3 próby silnika, a jeśli do certyfikacji przedstawiono tylko jeden silnik, musi on być badany co najmniej 3 razy;
- d) jeśli dany silnik (*i*) jest badany kilka razy, wówczas średnia arytmetyczna wartość z prób ($\bar{X}$) musi stanowić średnią wartość dla silnika (*i*). Wynik certyfikacyjny jest więc średnią z wartości ($\bar{X}$) uzyskanej dla każdego badanego silnika;
- e) producent musi dostarczyć władzom certyfikacyjnym informacje, wymienione w części III w punktach 2.4, 3.4, 4.2 i/lub 4.3, co będzie miało zastosowanie;
- f) silniki dostarczone do prób muszą mieć właściwości emisji reprezentatywne dla typu silnika, dla którego wystąpiono o certyfikację. Co najmniej jeden silnik musi być znacząco skonfigurowany według standardu produkcyjnego typu silnika i mieć w pełni reprezentatywne charakterystyki operacyjne i osiągi. Jeden z tych silników musi być zgłoszony jako standardowy silnik odniesienia. Zastosowane metody poprawek każdego innego silnika do tego standardowego silnika odniesienia, muszą być zatwierdzone przez krajowe władze certyfikujące. Zastosowane metody poprawek wyników prób na wpływy otoczenia, muszą być zgodne z podanymi odpowiednio w sekcji 7 dodatku 3, sekcji 7 dodatku 5 lub sekcji 6 dodatku 7, c będzie miało zastosowanie.

2. PROCEDURY ZGODNOŚCI

2.1 Emisje gazowe i zadymienie

Władze certyfikujące muszą przyznać certyfikat zgodności, jeśli średnia z wartości zmierzonych i skorygowanych (do standardowego silnika odniesienia i warunków atmosferycznych odniesienia) z pomiarów wszystkich silników, przekształcona do poziomu charakterystycznego przy użyciu odpowiedniego współczynnika, który jest określony przez ilość badanych silników (*i*), jak pokazano w tabeli A6-1 poniżej, nie przekracza przepisowego poziomu.

Uwaga. – Poziom charakterystyczny zadymienia lub emisji gazowych jest średnią z wartości wszystkich badanych silników *i*, tylko dla emisji gazowych, odpowiednio skorygowanych do standardowego silnika odniesienia i atmosferycznych warunków odniesienia, podzielonych przez współczynnik odpowiedni do ilości badanych silników, jak pokazano w tablicy A6-1.

Tabl. A6-1. Współczynniki do wyznaczania poziomów charakterystycznych

Liczba badanych silników (i)	CO	HC	NOx	SN	Stężenie masy nvPM	nvPM masy LTO	nvPM liczby LTO
1	0,814 7	0,649 3	0,862 7	0,776 9	0,776 9	0,776 9	0,719 4
2	0,877 7	0,768 5	0,909 4	0,852 7	0,852 7	0,814 8	0,814 8
3	0,924 6	0,857 2	0,944 1	0,909 1	0,909 1	0,885 8	0,885 8
4	0,934 7	0,876 4	0,951 6	0,921 3	0,921 3	0,901 1	0,901 1
5	0,941 6	0,889 4	0,956 7	0,929 6	0,929 6	0,911 6	0,911 6
6	0,946 7	0,899 0	0,960 5	0,935 8	0,935 8	0,919 3	0,919 3
7	0,950 5	0,906 5	0,963 4	0,940 5	0,940 5	0,952 2	0,925 2
8	0,952 8	0,912 6	0,965 8	0,944 4	0,944 4	0,930 1	0,930 1
9	0,956 5	0,917 6	0,967 7	0,947 6	0,947 6	0,934 1	0,934 1
10	0,958 7	0,921 8	0,968 4	0,950 2	0,950 2	0,937 5	0,937 5
Więcej niż 10	$1 - \frac{0,130\ 59}{\sqrt{i}}$	$1 - \frac{0,247\ 24}{\sqrt{i}}$	$1 - \frac{0,096\ 78}{\sqrt{i}}$	$1 - \frac{0,157\ 36}{\sqrt{i}}$	$1 - \frac{0,157\ 36}{\sqrt{i}}$	$1 - \frac{0,197\ 78}{\sqrt{i}}$	$1 - \frac{0,197\ 78}{\sqrt{i}}$

2.2 Emisje cząstek stałych

2.2.1 Władze certyfikujące powinny przyznać certyfikat zgodności, jeżeli średnie wartości maksymalnego stężenia masy nvPM zmierzonej i skorygowanej o straty termoforetyczne w części odbiorczej dla wszystkich badanych silników, po przeliczeniu na poziom charakterystyczny przy użyciu odpowiedniego współczynnika, który jest określony przez liczbę badanych silników (*i*), jak pokazano w tabeli A6-1, nie przekracza poziomu przewidzianego przepisami.

Uwaga. – Gdy próby certyfikacyjne nie udadzą się, nie musi to oznaczać, że typ silnika nie spełnia wymagań, ale może znaczyć, że ufność podana władzom certyfikacyjnym w zgodności nie jest wystarczająco wysoka, tj. mniejsza niż 90%. Zatem należy pozwolić producentowi na przedstawienie dodatkowego dowodu zgodności z typem silnika.

2.2.2 Władze certyfikujące powinny przyznać certyfikat zgodności, jeżeli średnie wartości maksymalnego stężenia masy nvPM i średnie wartości emisji liczby nvPM zmierzonych i skorygowanych o straty termoforetyczne w części odbiorczej dla wszystkich badanych silników, po przeliczeniu na poziom charakterystyczny przy użyciu odpowiedniego współczynnika, który jest określony przez liczbę badanych silników (*i*), jak pokazano w tabeli A6-1, nie przekracza poziomu przewidzianego przepisami.

2.3 Poziom charakterystyczne

Współczynniki konieczne dla określenia poziomów charakterystycznych emisji z silnika podane są w tabeli A6-1.

3. PROCEDURA W PRZYPADKU BRAKU ZGODNOŚCI

Uwaga. – Gdy próby certyfikacyjne nie udadzą się, nie musi to oznaczać, że typ silnika nie spełnia wymagań, ale może znaczyć, że ufność podana władzom certyfikacyjnym w zgodności nie jest wystarczająco wysoka, tj. mniejsza niż 90%. Zatem należy pozwolić producentowi na przedstawienie dodatkowego dowodu zgodności dla typu silnika.

3.1 Jeśli typ silnika nie spełnia prób certyfikacyjnych, władze certyfikujące muszą pozwolić producentowi, jeśli życzy on sobie tego, przeprowadzić dodatkowe próby na certyfikowanych silnikach. Jeśli ogół dostępnych wyników nadal pokazuje, że typ silnika nie spełnia wymagań certyfikacyjnych, należy pozwolić producentowi przebadać dodatkowo tyle silników, ile sobie życzy. Ostateczne wyniki prób będą analizowane ze wszystkimi poprzednimi danymi.

3.2 Jeśli wyniki są nadal niepomyślne, należy producentowi pozwolić wybrać jeden lub więcej silników do modyfikacji. Wyniki prób poprzednio już wykonanych na wybranym silniku(-ach), chociaż niezmodyfikowanym, muszą być sprawdzone oraz dalsze badania muszą być prowadzone tak, aby były dostępne co najmniej trzy próby. Średnia z tych prób musi być określona dla każdego silnika i opisana jako „średnia niezmodyfikowana”.

3.3 Silnik(-i) może(mogą) więc być zmodyfikowany(-e) i co najmniej trzy próby muszą być przeprowadzone na zmodyfikowanym(-ych) silniku(-ach), średnia z których musi być opisana jako „średnia zmodyfikowana” w każdym przypadku. Ta „średnia zmodyfikowana” musi być porównana ze „średnią niezmodyfikowaną”, aby dać proporcjonalne ulepszenie, które musi być zastosowane do wcześniejszych wyników prób certyfikacyjnych dla określenia, czy zgodność została osiągnięta. Musi być określone przed próbami każdego zmodyfikowanego silnika, że modyfikacja(-cje) spełnia(-ją) odpowiednie wymagania zdatności do lotu.

3.4 Ta procedura musi być powtórzona aż do wykazania zgodności lub wycofania wniosku o typ silnika.

DODATEK 7. OPRZYRZĄDOWANIE I TECHNIKI POMIAROWE DLA EMISJE NIELOTNYCH CZĄSTEK STAŁYCH

1. WPROWADZENIE

Uwaga. – Procedury zawarte w tym dodatku zawierają wytyczne dotyczące pobierania reprezentatywnych próbek spalin nielotnych cząstek stałych silnika turbinowego (nvPM) oraz ich transportu do i analizy przez system pobierania próbek i pomiaru nvPM. Procedury nie dotyczą silników z dopalaniem.

Wszelkie procedury równoważne z zawartymi w niniejszym dodatku mogą być dozwolone tylko po uprzednim złożeniu wniosku do władz certyfikujących i ich zatwierdzeniu.

2. DEFINICJE, SKRÓTY I SYMBOLE

2.1 Definicje

Następujące wyrażenia użyte w tym dodatku mają znaczenie przypisane im poniżej:

Dokładność. Bliskość, z jaką pomiar zbliża się do wartości rzeczywistej ustalonej niezależnie.

Aerodynamiczna średnica cząstki. Średnica równoważnej kuli o jednostkowej gęstości z taką samą końcową prędkością osiadania jak przedmiotowa cząstka, określana również jako „klasyczna średnica aerodynamiczna”.

Gaz wzorcowy. Gaz wzorcowy o wysokiej dokładności, używany do ustawiania, regulacji i okresowych kontroli przyrządów.

Zgarniacz katalityczny. Urządzenie katalityczne, które usuwa lotne substancje poprzez utlenianie.

Właściwe laboratorium. Laboratorium badawcze i wzorcujące, które ustanawia, wdraża i utrzymuje system jakości odpowiedni do zakresu swojej działalności, zgodnie z normą ISO/IEC 17025: 2005, z okresowymi zmianami, lub równoważną normą i dla którego program kalibracji sprzętu jest zaprojektowany i obsługiwany w taki sposób, aby zapewnić, że kalibracje i pomiary wykonane przez laboratorium są zgodne z Międzynarodowym Układem Jednostek (SI). Formalna akredytacja laboratorium zgodnie z normą ISO/IEC 17025: 2005 nie jest wymagana.

Separator cyklonowy. Oddzielanie cząstek większych niż zalecana średnica aerodynamiczna za pomocą środków obrotowych i grawitacyjnych. Określona średnica aerodynamiczna punktu odcięcia jest związana z procentem cząstek o określonej wielkości, które przenikają przez separator cyklonowy.

Średnicy ruchliwości elektrycznej cząstki stałej. Średnica kuli, która porusza się z dokładnie taką samą ruchliwością w polu elektrycznym jak dana cząstka.

Wolny węgiel (EC). Węgiel pochłaniający światło, który nie jest usuwany z próbki filtra ogrzanej do 870°C w obojętnej atmosferze podczas optycznej analizy przenikania ciepła (TOT), z wyłączeniem zwęglania.

Stężenie gazu. Udział objętościowy interesującego składnika w mieszaninie gazów.

Nielotne cząstki stałe (nvPM). Emitowane cząsteczki, które występują na płaszczyźnie wylotowej dyszy wydechowej silnika turbogazowego, które nie ulatniają się po podgrzaniu do temperatury 350°C.

Węgiel organiczny (OC). Węgiel ulatniający się w helu podczas ogrzewania próbki filtra z włókna kwarcowego do 870°C podczas optycznej analizy przenikania ciepła (TOT). Obejmuje zwęglenie powstałe podczas pirolizy niektórych materiałów.

Utrata cząstek. Utrata cząstek podczas transportu przez system pobierania próbek. Strata ta jest spowodowana różnymi mechanizmami osadzania, z których niektóre są zależne od wielkości.

Stężenie masy cząstek. Masa cząstek na jednostkę objętości próbki.

Wskaźnik emisji masy cząstek. Masa emitowanych cząstek na jednostkę masy zużytego paliwa.

Stężenie liczby cząstek stałych. Liczba cząstek na jednostkę objętości próbki.

Wskaźnik stężenie liczby cząstek stałych. Masa emitowanych cząstek na jednostkę masy zużytego paliwa.

Rozkład wielkości cząstek. Lista wartości lub funkcja matematyczna, która przedstawia stężenie liczby cząstek według wielkości.

Części na milion (ppm). Jednostkowe stężenie objętościowe gazu na milion jednostek objętości mieszaniny gazów, której jest częścią.

Frakcja przenikania. Stosunek stężenia cząstek stałych za i przed elementem układu pobierania próbek.

System jakości. System zarządzania, w którym właściwe laboratorium dokumentuje swoje zasady, systemy, programy, procedury i instrukcje w zakresie niezbędnym do zapewnienia jakości wyników badań i / lub kalibracji.

Powtarzalność. Bliskość z jaką można odtworzyć pomiar na danej niezmienniej próbce w krótkoterminowych powtórzeniach pomiaru bez konieczności regulacji przyrządu.

Rozdzielczość. Najmniejsza zmiana w pomiarze jaką można wykryć.

Reakcja. Zmiana sygnału wyjściowego przyrządu, która występuje wraz ze zmianą stężenia próbki.

Czas wzmocnienia. Czas potrzebny na wzmocnienie sygnału wyjściowego z 10% do 90% końcowej zmiany sygnału wyjściowego, gdy do automatycznego systemu pomiarowego początkowo znajdującego się w stanie podstawowym zostaje nagle zastosowany materiał odniesienia. (Termin ten ma zastosowanie tylko do analizatora online).

Stabilność. Dokładność, z jaką powtarzane pomiary na danej niezmienniej próbce mogą być utrzymywane przez dany okres czasu.

2.2 Skróty

CPC Licznik cząstek kondensacji

FS Pełen zakres skali analizatora

GL Ciąg gazowy

HEPA	Wysokosprawny filtr powietrza do cząstek stałych, klasa H13, który usuwa co najmniej 99,97% cząstek ftalanu dioktylu (średnica 0,3 µm).
ID	Średnica wewnętrzna
ISA	Międzynarodowa atmosfera standardowa (ISO 2533: 1975)
LOD	Granica wykrywalności
NMI	Krajowy instytut meteorologii
nvPM	Nielotna cząstka stała (patrz definicja)
nvPMmi	Przyrząd do pomiaru masy nielotnych cząstek stałych
nvPMni	Przyrząd do pomiaru liczby nielotnych cząstek stałych
PTFE	Politetrafluoroetylen
slmp	Standardowe litry na minutę (litry na minutę w STP)
TOT	Optyczna analiza przenikania ciepła
VPR	Urządzenia zatrzymujące cząstki lotne
VRE	Skuteczność usuwania cząstek lotnych

2.3 Symbole

[CO]	Średnie stężenie wilgotnego CO w próbce spalin, obj./obj.
[CO₂]	Średnie stężenie wilgotnego CO ₂ w nierozcieńczonej próbce spalin, obj./obj.
[CO₂]_b	Objęściowe stężenie CO ₂ w suchym powietrzu = 0,000 3
[CO₂]_{dil1}	Średnie stężenie wilgotnego CO ₂ obj./obj. po pierwszym etapie rozcieńczania
[CO₂]_{dil2}	Średnie stężenie wilgotnego CO ₂ obj./obj. po drugim etapie rozcieńczania
[CO₂]_s	Średnie stężenie wilgotnego, półsuchego lub suchego CO ₂ obj./obj. w nierozcieńczonych spalinach
DF	Współczynnik rozcieńczenia = (stężenie próbki przed rozcieńczeniem) / (stężenie próbki po rozcieńczeniu)

$$\frac{\text{Objętość nierozcieńczonej próbki}}{\text{Objętość rozcieńczonej próbki}}$$

DF₁	Współczynnik rozcieńczenia pierwszego stopnia = $\frac{[\text{CO}_2]}{[\text{CO}_2]_{\text{dil1}}}$
-----------------------	---

DF_{1-S}	Współczynnik rozcieńczenia pierwszego stopnia obliczony na podstawie pobranych bezpośrednio próbek [CO ₂] S i [CO ₂] dil1
DF₂	Współczynnik rozcieńczenia drugiego etapu (VPR) zgodnie z kalibracją przeprowadzoną przez właściwe laboratorium
D_m	Średnica ruchliwości elektrycznej nvPM, μm
D_{xy}, przyz nm	Średnica aerodynamiczna, przy której xy% (skuteczność wykrywania) cząstek o rozmiarze z jest wykrywanych
EI_{mass}	Wskaźnik emisji masy nvPM skorygowany o straty termoforetyczne i skład paliwa, w miligramach / kg paliwa
EL_{num}	Wskaźnik emisji liczby nvPM skorygowany o straty termoforetyczne i skład paliwa, wg liczby/ kg paliwa
F	Ciąg dla danego trybu pracy
H	Zawartość wodoru w paliwie (procent masy)
[HC]	Średnie stężenie węglowodorów w próbce spalin, obj./obj., wilgotne, wyrażone jako węgiel
$\eta_{\text{VPR}}(\text{D}_m)$	Frakcja przenikania cząstek VPR dla cząstek D _m
k_{fuel-M}	Współczynnik korygujący skład paliwa dla wskaźnika emisji masy nvPM
k_{fuel-N}	Współczynnik korygujący skład paliwa dla wskaźnika emisji liczby nvPM
k_{thermo}	Współczynnik poprawki strat termoforetycznych w części odbiorczej
[NO]	Średnie stężenie gazu NO w próbce spalin, obj./obj., wilgotne
[NO₂]	Średnie stężenie gazu NO ₂ w próbce spalin, obj./obj., wilgotne
[NO_x]	Średnie stężenie gazów NO i NO ₂ w próbce spalin, obj./obj., wilgotne = [NO] + [NO ₂]
M_c	Masa atomowa węgla = 12,011
M_H	Masa atomowa wodoru = 1,008
m	Liczba atomów C w charakterystycznej cząsteczce paliwa
n	Liczba atomów H w charakterystycznej cząsteczce paliwa
nvPM_{mass}	Stężenie masy nvPM przy stanie przyrządu STP, skorygowane o rozcieńczenie i straty termoforetyczne w sekcji odbiorczej systemu pobierania próbek, $\mu\text{g} / \text{m}^3$
nvPM_{mass-STP}	Stężenie masy rozcieńczonego nvPM przy stanie przyrządu STP, $\mu\text{g} / \text{m}^3$
nvPM_{num-STP}	Stężenie liczby rozcieńczonego nvPM przy stanie przyrządu STP, $\mu\text{g} / \text{m}^3$
T_{line}	Temperatura ścianki ciągu próbkującego
T₁	Temperatura w °C ścianki wlotowej rozcieńczalnika 1
T_{EGT}	Temperatura °C spalin na wylocie dyszy wydechowej silnika lub wynikająca z osiągow silnika

t_{90}	90% czasu reakcji (czas między zmianą stężenia wlotowego a dojściem przez detektor do 90% końcowego sygnału)
α	Stosunek masy atomowej wodoru do węgla w paliwie = n/m , gdzie C_mH_n stanowi równoważną reprezentacją węglowodorów dla paliwa użytego w badaniu i ocenie, przez odniesienie do analizy typu paliwa silnika.

3. WYMAGANE DANE

3.1 Emisje nvPM

4.3.1 W celu obliczenia masy i liczby emisji nvPM określa się następujące stężenia:

- a) masa nvPM: $nvPM_{mass-STP}$;
- b) liczba nvPM: $nvPM_{num-STP}$;
- c) dwutlenek węgla (CO_2): $[CO_2]$ i $[CO_2]_{dil1}$;
- d) tlenek węgla (CO): $[CO]$;
- e) węglowodory (HC): $[HC]$; i
- f) tlenki azotu (NO_x): $[NO_x]$, $[NO]$, $[NO_2]$.

Uwaga. – Wytyczne dotyczące wymaganych danych znajdują się w Środowiskowym Podręczniku Technicznym (Doc 9501), tom II - Procedury certyfikacji silników statków powietrznych w zakresie emisji.

4.3.2 Do celów sprawdzenia sprawności systemu należy określić stężenie następujących emisji:

dwutlenek węgla (CO_2): $[CO_2]_s$

3.2 Inne informacje

W celu znormalizowania danych z pomiarów emisji i określenia charakterystyk badania silnika należy dostarczyć dodatkowe informacje wymienione w Uzupełnieniu F do Dodatku 3 i Uzupełnieniu D do niniejszego dodatku.

4. OGÓLNY UKŁAD SYSTEMU POBIERANIA PRÓBEK I POMIARU nvPM

4.1 System próbkowanie i pomiaru nvPM

4.1.1 System próbkowanie i pomiaru nvPM będzie składać się z trzech części podzielonych na pięć sekcji:

- a) Część odbiorcza (Sekcja 1);
- b) Część przesyłu (Sekcja 2,3 i 4); i
- c) Część pomiarowa (Sekcja 5).

Uwaga 1. – Ogólny opis systemu pobierania próbek i pomiaru nvPM przedstawiono na Rysunku A7-1 i w Tabeli A7-1.

Uwaga 2. – Bardziej szczegółowe wymagania i zalecenia dla każdej sekcji systemu znajdują się w Uzupełnieniach A, B, C i E do tego dodatku.

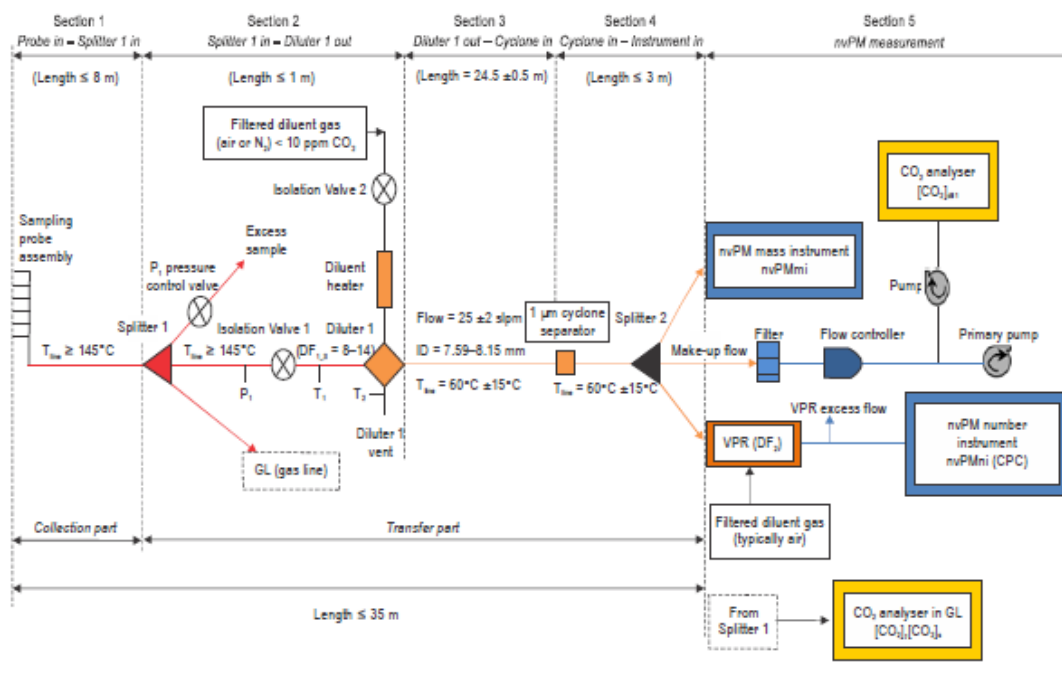
4.1.2 Sekcja 1 do 4 spełni następujące wymagania:

- Przewody do próbkowania powinny być możliwie jak najprostsze.
- Całkowita długość ciągu do próbkowania od końcówki sondy do wlotu przyrządu pomiarowego nie może przekraczać 35 m. Ta całkowita długość nie jest równa sumie maksymalnych dopuszczalnych długości poszczególnych odcinków próbkowania. Szczegółowe wymagania dotyczące długości są podane w Uzupełnieniu A do niniejszego dodatku i pokazane na Rysunku A7-1.

4.1.3 **Zalecenie.** – Dla Sekcji 1 do 4 zaleca się jak poniżej:

- Liczba złązek powinna być zminimalizowana i powinna być wykonana ze stali nierdzewnej o gładkiej powierzchni.
- Liczba złączy grodzi powinna być zminimalizowana i powinna być izolowana termicznie, aby zminimalizować gradienty termiczne.

Uwaga. – Wytyczne znajdują się w Środowiskowym Podręczniku Technicznym (Doc 9501), tom II – Procedury certyfikacji silników statków powietrznych w zakresie emisji.



Rysunek A7-1 ogólny układ systemu pobierania próbek i pomiaru nvPM

Tabela A7-1 Omówienie terminologii systemu pobierania próbek i pomiaru nvPM

Terminologia		Opis
Sekcja 1	Zespół sondy do pobierania próbek	Jedno- lub wielopunktowe urządzenie do uzyskania reprezentatywnej próbki spalin z silnika lotniczego.
	Ciąg łączący	Długość ciągu do transportu próbki z sondy do wlotu rozdzielacza 1.
Sekcja 2	Rozdzielacz 1	Zespół rozdzielacza przepływu umożliwiający kontrolowane rozdzielanie próbek zarówno do układów pobierania próbek cząstek stałych, jak i gazów. Zapewnia również ścieżkę przepływu (nadmiar próbki) w celu uwolnienia i kontrolowania ciśnienia w przewodzie próbki.
	Zawór regulacji ciśnienia P_1	Zawór używany do regulacji ciśnienia na wlocie rozcieńczalnika 1.
	P_1	Ciśnienie wlotowe rozcieńczalnika 1; regulowany przez zawór regulacji ciśnienia, gdy P_1 jest powyżej temperatury otoczenia.
	T_1	Temperatura próbki na wlocie rozcieńczalnika 1 potrzebna do obliczenia termoforetycznej utraty cząstek w Sekcji 1 i 2.
	Zawór odcinający 1	Umożliwia izolację układu cząstek od próbki GL i umożliwia kontrolę szczelności GL (w tym sondy) oraz kontrolę czystości części przesyłowej.
	Zawór odcinający 2	Zawór odcinający rozcieńczalnik do rozcieńczalnika 1.
	Rozcieńczalnik 1	Rozcieńczalnik typu wypychowego, który zapewnia ciśnienie bliskie otoczenia na wlocie sekcji 3. Rozcieńcza próbkę nvPM na początku części przesyłowej (rozcieńczanie pierwszego stopnia, DF_1), aby zminimalizować koagulację cząstek i obniża temperaturę próbki, aby zminimalizować straty termoforetyczne.
	Przefiltrowany gaz rozcieńczający	Sprężony gaz (powietrze lub azot) do rozcieńczalnika 1.
	Podgrzewacz rozcieńczalnika	Podgrzewa rozcieńczalnik przed wejściem do rozcieńczalnika 1. Temperatura podgrzewacza kontrolowana przez temperaturę wylotu rozcieńczalnika 1 (T_2).
	Odpowietrznik rozcieńczalnika 1	Umożliwia odprowadzenie nadmiaru rozcieńczonej próbki do atmosfery, aby utrzymać ciśnienie bliskie otoczenia na wlocie rozcieńczalnika 1 i zapobiec nadmiernemu ciśnieniu w części przesyłowej.
	T_2	Temperatura na przepływie odpowietrznika kontrolująca temperaturę wylotową rozcieńczalnika 1.
GL		Ciąg gazowy. Ogrzewana sekcja do transportu próbki spalin dla pomiaru emisji gazów.
Sekcja 3	Podgrzewany ciąg do próbkowania	Znormalizowana sekcja pobierania próbek. Umożliwia pomiary w bezpiecznej odległości od silnika.
Sekcja 4	Separator cyklonowy 1 μm	Usuwa duże cząsteczki nie wytwarzane podczas spalania i pomaga zapobiegać zatykaniu się oprzyrządowania.
	Rozdzielacz 2	Zespół rozdzielacza przepływu zapewniający ścieżki przepływu próbek do pomiaru stężenia masy i liczby nvPM oraz trzecią ścieżkę przepływu w celu zapewnienia utrzymania całkowitego natężenia przepływu w systemie sekcji 3.
Sekcja 5	Filtr	Filtr cząstek stałych zapobiegający zatykaniu się i uszkodzeniu regulatora przepływu.
	Regulator przepływu	Utrzymuje stałe natężenie przepływu w sekcji 3, kontrolując jego gromadzenie.
	Podstawowa pompa	Zapewnia zasysanie dla gromadzenia przepływu.
	Analizator CO_2	Pomiar $[\text{CO}_2]_{\text{dH}}$ w rozcieńczonej próbce.
	nvPMmi	przrząd masy nvPM
	VPR(DF_2)	Urządzenie, które usuwa lotne substancje i dalej rozcieńcza próbkę (drugi etap rozcieńczania, DF_2) przed nvPMni.
	Przefiltrowany gaz rozcieńczający	Gaz rozcieńczający (powietrze lub azot) do VPR.
nvPMmi(CPC)		Przrząd liczby nvPM, który jest licznikiem cząstek kondensacji.

4.1.4 Sekcje 2–4 muszą spełniać następujące wymagania:

- a) Wszelkie niezbędne zagięcia ciągu próbkowania powinny mieć promienie większe niż 10-krotność średnicy wewnętrznej linii.
- b) Progi skierowane do przodu nie mogą być większe niż 15% ID.
- c) Zmiany w ID ciągu próbkowania większe niż 15% mogą wystąpić tylko na interfejsie ścieżki przepływu rozdzielacza.
- d) Różnice w ID mniejsze lub równe 15% uważa się za brak zmian.

4.1.5 **Zalecenie.** – *W przypadku sekcji od 2 do 4 ciąg do pobierania próbek powinien być aktywnie ogrzewany w poprzek złączki. Jeśli jest to niepraktyczne, ciąg próbki powinien być podgrzewany jak najbliżej następnego ogrzewanego elementu i izolowany termicznie w poprzek złączki.*

4.2 Część odbiorcza

4.2.1 Sekcja 1 składa się z osprzętu sondy/grabi i ciągu łączącego. Musi spełniać następujące wymagania:

- a) Sonda do pobierania próbek powinna być wykonana ze stali nierdzewnej lub innego niereaktywnego materiału wysokotemperaturowego.
- b) Jeżeli do pobierania próbek używana jest sonda z wieloma otworami do próbkowania:
 - 1) wszystkie otwory do pobierania próbek będą miały taką samą średnicę; i
 - 2) konstrukcja sondy do pobierania próbek musi zapewniać, że co najmniej 80% spadek ciśnienia w zespole sondy do pobierania próbek ma miejsce przy otworach.
- c) Liczba miejsc, z których pobrano próbki, nie może być mniejsza niż 12.
- d) Płaszczyzna próbkowania powinna znajdować się jak najbliżej płaszczyzny wylotu dysz wydechowych silnika, na ile pozwalają na to osiągi silnika, ale w każdym przypadku w granicach 0,5 średnicy dyszy od płaszczyzny wylotu.
- e) Kandydat musi dostarczyć władzom certyfikującym dowód za pomocą szczegółowych trawersów, że proponowany projekt i położenie sondy zapewnia reprezentatywną próbkę dla każdego zalecanego ustawienia ciągu.

Uwaga. – *Wytyczne dotyczące procedur wykonywania reprezentatywnych pomiarów znajdują się w Środowiskowym Podręczniku Technicznym (Doc 9501), tom II – Procedury certyfikacji silników statków powietrznych w zakresie emisji.*

4.3 Część przesyłowa

4.3.1 Na wlocie do sekcji 2 zespół rozdzielacza 1 powinien rozdzielić próbkę do ciągu części przesyłowej, GL dla pomiar nierozcieńczonego CO₂, CO, HC i NO_x oraz ciągu odbierającego nadmiar próbki.

Uwaga. – *Takie rozwiązanie pozwala również na użycie GL do pomiaru zadymienia, jeśli jest to wymagane, jak określono w Dodatku 2.*

4.3.2 Część ciągu przesyłowego powinna być ułożona w taki sposób, aby próbka nvPM:

- a) przechodziła przez rozcieńczalnik 1, rozcieńczalnik typu wypychowego, który zasysa, rozcieńcza i chłodzi próbkę;
- b) przechodziła przez sekcję 3; i
- c) przechodzi przez separator cyklonowy i rozdzielacz 2 w sekcji 4 przed wejściem do części pomiarowej w sekcji 5.

4.4 Część pomiarowa

4.4.1 Pomiar masy nvPM

4.4.2.1 NvPMmi musi spełniać wymagania określone w uzupełnieniu B do niniejszego dodatku.

4.4.2.2 Każda marka i model nvPMmi musi otrzymać certyfikat od producenta przyrządu lub innego kompetentnego laboratorium testującego i kalibracyjnego potwierdzający, że marka i model nvPMmi spełnia specyfikacje wydajności wymienione w Tabeli A7-3 w uzupełnieniu B do niniejszego dodatku.

4.4.2 Pomiar liczby nvPM

4.4.2.1 Stężenie liczby nvPM określa się za pomocą systemu składającego się ze zmiatacza cząstek lotnych (VPR) i licznika cząstek kondensacyjnych (CPC) (nvPMni) połączonych szeregowo. VPR zawiera system rozcieńczania (DF₂) i urządzenie do usuwania substancji lotnych.

4.4.2.2 Każda marka i model VPR i CPC musi otrzymać certyfikat od producenta przyrządu lub innego kompetentnego laboratorium testującego i kalibracyjnego potwierdzający, że marka i model każdego urządzenia spełnia specyfikacje wydajności wymienione w uzupełnieniu C do niniejszego dodatku.

4.4.3 Gromadzenie przepływu

- a) Ścieżkę gromadzenia przepływu należy wykorzystać do utrzymania stałego tempa przepływu próbki w sekcji 3 i zapewnienia pomiaru stężenia rozcieńczonej próbki CO₂.
- b) Ścieżka gromadzenia przepływu obejmuje pompę, regulator przepływu i analizator CO₂.
- c) **Zalecenie.** – Filtr cząstek stałych należy umieścić przed regulatorem przepływu, aby zapobiec uszkodzeniu składników.

5. OGÓLNA PROCEDURA TESTU

5.1 Kalibracja i utrzymanie

5.1.1 Wszystkie przyrządy należy konserwować zgodnie z wytycznymi producenta.

5.1.2 Systemu pobierania próbek i pomiaru nvPM

Kalibrację i konserwację systemu pobierania próbek i pomiaru NVPM należy przeprowadzać co najmniej raz w roku lub zgodnie z zaleceniami producenta w następujący sposób:

- a) Należy opróżnić i wyczyścić zbiornik zbiorczy separatora cyklonowego.
- b) Należy wyczyścić otwór dyszy rozcieńczalnika 1.

- c) Regulator gromadzenie i natężenia przepływu na wlocie dla nvPMmi, nvPMni i VPR należy kalibrować za pomocą przepływomierza identyfikowalnego przez NMI.
- d) **Zalecenie.** – *Wszystkie skalibrowane szybkości przepływu powinny mieścić się w granicach 5% FS.*
- e) Przetworniki ciśnienia należy kalibrować za pomocą identyfikowalnego przetwornika ciśnienia NMI.
- f) **Zalecenie.** – *Wszystkie skalibrowane pomiary ciśnienia powinny mieścić się w granicach 2% FS.*

5.1.3nvPMmi

- a) nvPMmi powinno być corocznie kalibrowane przez kompetentne laboratorium w celu spełnienia wymagań kalibracji opisanych w uzupełnieniu B do niniejszego dodatku.
- b) nvPMmi musi wykazać zgodność ze specyfikacjami możliwości wymienionymi w tabeli A7-3 w uzupełnieniu B do niniejszego dodatku po zmianach oprzyrządowania lub oprogramowania w nvPMmi, które mają wpływ na gromadzenie i przetwarzanie danych.

Uwaga. – Wytyczne znajdują się w Środowiskowym Podręczniku Technicznym (Doc 9501), tom II – Procedury certyfikacji silników statków powietrznych w zakresie emisji.

5.1.4VPR

- a) VPR powinno być corocznie kalibrowane przez kompetentne laboratorium w celu spełnienia wymagań kalibracji opisanych w uzupełnieniu C do niniejszego dodatku.
- b) Jeśli VPR zawiera katalityczny środek do usuwania powłok, okres jego wymiany powinien być zgodny z wytycznymi producenta.

5.1.5nvPMni(CPC)

- a) nvPMmi powinno być corocznie kalibrowane przez kompetentne laboratorium w celu spełnienia wymagań kalibracji opisanych w uzupełnieniu C do niniejszego dodatku.
- b) N-butanol jest płynem roboczym w nvPMni i należy go wymieniać zgodnie z zaleceniami producenta.
- c) nvPMmi musi wykazać zgodność ze specyfikacjami możliwości wymienionymi w uzupełnieniu C do niniejszego dodatku po zmianach oprzyrządowania lub oprogramowania w nvPMmi, które mają wpływ na gromadzenie i przetwarzanie danych.

Uwaga. – Wytyczne znajdują się w Środowiskowym Podręczniku Technicznym (Doc 9501), tom II – Procedury certyfikacji silników statków powietrznych w zakresie emisji.

5.1.6Analizatory gazu

- a) Kalibrację analizatorów CO₂, CO, HC i NO_x przeprowadza się zgodnie z procedurami określonymi w dodatku 3.
- b) Zanieczyszczenie CO₂ w kalibrowanym gazie zero dla analizatora CO₂ za rozcieńczalnikiem 1 musi być mniejsze niż 10 ppm.

Uwaga. – Specyfikacja zanieczyszczenia CO₂ dla analizatora CO₂ za rozcieńczalnikiem 1 różni się od uzupełnienia D do dodatku 3.

- c) **Zalecenie.** – Rozcieńczalnik do rozcieńczalnika 1 powinien być taki sam, jak kalibrowany gaz zero używany w analizatorze CO₂.

5.2 Działanie silnika

5.2.1 Silnik powinien pracować w miejscu przeznaczonym do wykonywania prób statycznych, które jest odpowiednie i prawidłowo wyposażone, aby zapewnić wysoką dokładność próby działania silnika.

5.2.2 Próby emisji nvPM muszą być wykonywane przy ustawieniach ciągu zalecanych przez władze certyfikujące. Silnik jest stabilizowany przy każdym ustawieniu.

5.3 Bilans węgla

Każda próba obejmuje sprawdzenie, czy stosunek powietrze/paliwo oszacowany na podstawie całkowitego stężenia węgla w zintegrowanej próbce bez zadymienia zgadza się z oszacowaniem opartym na stosunku powietrze/paliwo w silniku, z dokładnością $\pm 15\%$ dla trybu kołowania/ biegu jałowego na ziemi i z dokładnością $\pm 10\%$ dla wszystkich innych trybów pracy.

Uwaga. – Wytyczne dla stosowania równoważnej procedury znajdują się w Środowiskowym Podręczniku Technicznym (Doc 9501), tom II – Procedury certyfikacji silników statków powietrznych w zakresie emisji.

5.4 Działanie systemu pobierania próbek i pomiaru nvPM

5.4.1 Przed serią prób silnika należy spełnić następujące wymagania:

- Kontrolę wycieku i czystości w części odbiorczej przeprowadza się zgodnie z procedurami opisanymi w uzupełnieniu E do niniejszego dodatku.
- Sprawdzenie współczynnika rozcieńczenia VPR (DF_2) przeprowadza się zgodnie z opisem w uzupełnieniu E.

5.4.2 Należy użyć następującą procedurę dla pomiarów gazowych w GL i za rozcieńczalnikiem 1:

- Zastosuj odpowiedni gaz dla kalibracji zero i dokonaj wszelkich niezbędnych regulacji przyrządu.
- Zastosuj odpowiedni gaz do kalibracji o nominalnym stężeniu 90% FS, aby objąć zakresy, które mają być użyte, wyreguluj i odpowiednio zarejestruj ustawienia.

5.4.3 Podczas serii prób silnika należy spełnić następujące wymagania:

- Pomiary nvPM należy wykonywać dopiero po nagrzaniu i stabilizacji wszystkich przyrządów i przewodów przesyłowych próbek.
- Jeżeli jakiegokolwiek element lub sekcja systemu pobierania próbek nvPM jest nowa, wyczyszczona od czasu ostatniego użycia lub używana wcześniej do celów innych niż pobieranie próbek spalin z silnika, wówczas system pobierania próbek nvPM będzie próbował spalin z silnika statku powietrznego przez co najmniej 30 minut w dowolnym stanie mocy silnika przed pozyskaniem pomiarów nvPM.

Uwaga. – Usunięcie blokady sadzy w otworze rozcieńczalnika 1 nie jest procesem czyszczenia zdefiniowanym w b).

- Należy przeprowadzić kontrole działania zalecane przez producenta NVPMmi.

- d) W przypadku pomiarów liczby nvPM należy spełnić następujące wymagania:
- 1) Etap podgrzania VPR jest na poziomie temperatury $350^{\circ}\text{C} \pm 15^{\circ}\text{C}$.
 - 2) Jeżeli w VPR stosuje się katalityczny środek do usuwania powłok, rozcieńczalnik powinien zawierać co najmniej 10% O_2 .
 - 3) Płyn roboczy nvPMni jest na poziomie wymaganym przez producenta.
 - 4) Saturator nvPMni i skraplacz osiągnęły prawidłowe temperatury robocze.
- e) Należy wykonać kontrole działania zalecane przez producenta NVPMni.
- f) Sprawdzenie czystości części przesyłowej należy wykonać na początku i na końcu próby silnika, stosując procedury opisane w uzupełnieniu E do niniejszego dodatku.

Uwaga. – Sprawdzenie czystości części przesyłowej służy również jako operacyjna zerowa inspekcja oprzyrządowania NVPM.

- g) Pomiary otoczenia nvPM należy przeprowadzić na początku i na końcu próby silnika, stosując procedury opisane w uzupełnieniu E do niniejszego dodatku.

Uwaga. – Pomiar otoczenia służy również jako kontrola operacyjnego czasu reakcji nvPMni.

- h) Punkt zerowy i punkty kalibracji analizatora gazów sprawdza się ponownie na końcu próby, a także w odstępach nie większych niż 1 godzina w trakcie próby. Jeżeli którykolwiek zmienił się o więcej niż $\pm 2\%$ zakresu FS, próbę należy powtórzyć po przywróceniu przyrządu do stanu zgodnego ze specyfikacją.

5.4.3.1 Zalecenie. – *Czyszczenie ciągiem wstecznym określone w sekcji 1 powinno wystąpić podczas rozruchu i wyłączenia silnika.*

5.4.4 Podczas pomiarów nvPM silnika należy spełnić następujące wymagania:

- a) Jeżeli P_1 jest pod ciśnieniem niższym od atmosferycznego, zawór regulacji ciśnienia P_1 powinien być zamknięty; a o ile zabudowany, opcjonalny zawór odcinający będzie zamknięty.
- b) Zarówno stężenie GL CO_2 , jak i stężenie CO_2 za rozcieńczalnikiem 1, $[\text{CO}_2]_{\text{dil1}}$, muszą być ciągle mierzone i stosowane do walidacji i kontroli DF_{1_s} w czasie rzeczywistym (DF_{1_s}) w zakresie od 8 do 14. DF_{1_s} definiuje się jako:

$$\text{DF}_{1_s} = \frac{[\text{CO}_2]}{[\text{CO}_2]_{\text{dil1}}}$$

Uwaga. - Obliczenie DF_{1_s} nie wymaga stężenia CO_2 w stanie mokrym.

- c) Natężenie przepływu próbki $25 \text{ slpm} \pm 2 \text{ slpm}$ w sekcji 3 monitoruje się poprzez sumowanie przepływu gromadzącego się i natężenia przepływu wlotowego nvPMmi i VPR.
- d) Gdy praca silnika oraz zmierzone stężenia nvPM i $[\text{CO}_2]_{\text{dil1}}$ są stabilne przy wymaganym ustawieniu ciągu, dane z co najmniej 30 sekund są uśredniane i zapisywane.
- e) Jeżeli w nvPMmi brak pomiaru ciśnienia próbki, ciśnienie należy zmierzyć w miejscu między wylotem rozdzielacza 2 a wlotem przepływu gromadzącego się i zarejestrować.

- f) Jeżeli w nvPMni brak pomiaru ciśnienia próbki, ciśnienie mierzy się w miejscu między wylotem VPR a wlotem nvPMni i rejestruje.

6. OBLICZENIA

6.1 Równania stężenia masy nvPM oraz wskaźników emisji masy i liczby nvPM

Procedura ta jest wykorzystywana do obliczania stężenia masy nvPM oraz wskaźników masy i liczby emisji (EI_s) nvPM z turbinowych silników lotniczych spalających paliwo węglowodorowe w powietrzu. Wszystkie równania wykorzystują stężenie masy nvPM i stężenie liczby nvPM w warunkach przyrządu STP. Jeśli tak nie jest, użytkownik powinien postępować zgodnie z zalecanymi procedurami producenta przyrządu, aby skorygować zgłoszone stężenia do warunków STP dla przyrządu.

6.1.1 Stężenie masy nvPM

Stężenie masy nvPM ($nvPM_{mass}$) reprezentuje masę cząstek na jednostkę objętości próbki spalin silnika, skorygowaną o współczynnik rozcieńczenia pierwszego stopnia (DF_1) i straty termoforetycznych cząstek stałych w części odbiorczej. Oblicza się go za pomocą następującego równania:

$$nvPM_{mass} = DF_1 \times nvPM_{mass_STP} \times k_{thermo}$$

6.1.2 Wskaźniki masy i liczby emisji nvPM

Wskaźniki emisji masy nvPM i liczby nvPM (EI_{mass} i EI_{num}) reprezentują masę (w miligramach) i liczbę cząstek spalin silnika na masę spalonego paliwa (w kilogramach), skorygowane o odpowiednie współczynniki rozcieńczenia, straty termoforetyczne cząstek stałych w części odbiorczej i ich odpowiednie współczynniki korygujące skład paliwa. Są obliczane przy użyciu następujących równań:

$$EI_{mass} = \frac{22.4 \times nvPM_{mass_STP} \times 10^{-3}}{\left([CO_2]_{dil1} + \frac{1}{DF_1} ([CO] - [CO_2]_b + [HC]) \right) (M_C + \alpha M_H)} \times k_{thermo} \times k_{fuel_M}$$

$$EI_{num} = \frac{22.4 \times DF_2 \times nvPM_{num_STP} \times 10^6}{\left([CO_2]_{dil1} + \frac{1}{DF_1} ([CO] - [CO_2]_b + [HC]) \right) (M_C + \alpha M_H)} \times k_{thermo} \times k_{fuel_N}$$

$[CO_2]$, $[CO]$ i $[HC]$ oblicza się zgodnie z uzupełnieniem E do dodatku 3.

Uwaga 1. – Stała 22.4 używana w powyższych równaniach EI to objętość jednego mola powietrza w litrach w warunkach STP zaokrąglona do jednego miejsca po przecinku.

Uwaga. – Wytyczne dla stosowania równoważnej procedury znajdują się w Środowiskowym Podręczniku Technicznym (Doc 9501), tom II – Procedury certyfikacji silników statków powietrznych w zakresie emisji.

6.2 Współczynniki korygujące dla emisji nvPM

6.2.1 Poprawka na straty termoforetyczne nvPM w części odbiorczej

Poprawka na straty termoforetyczne nvPM w części odbiorczej zostanie określona z użyciem:

$$k_{\text{thermo}} = \left(\frac{T_1 + 273.15}{T_{\text{EGT}} + 273.15} \right)^{-0.38}$$

Jeżeli $T_{\text{EGT}} < T_1$, to $k_{\text{thermo}} = 1$

Uwaga. – Wytyczne znajdują się w Środowiskowym Podręczniku Technicznym (Doc 9501), tom II - Procedury certyfikacji silników statków powietrznych w zakresie emisji.

6.2.2 Poprawka na zużycie paliwa

Poprawka na zużycie paliwa zostanie określona z użyciem:

$$k_{\text{fuel}_M} = \exp \left\{ \left(1.08 \frac{F}{F_{00}} - 1.31 \right) (13.8 - H) \right\}$$

$$k_{\text{fuel}_N} = \exp \left\{ \left(0.99 \frac{F}{F_{00}} - 1.05 \right) (13.8 - H) \right\}$$

6.3 Funkcje parametrów kontrolnych

6.3.1 Definicje

Silnik odniesienia: silnik zasadniczo skonfigurowany zgodnie ze standardem produkcyjnym danego typu silnika, z w pełni reprezentatywną charakterystyką działania i osiąągów.

F_{00}	Znamionowy ciąg (patrz część I, rozdział 1, definicje)
F_n	Ciąg w trybie pracy n dla zgłoszonych emisji NvPM (kN)
W_f	Tempo masy przepływu paliwa dla wzorcowego silnika standardowego w warunkach ISA na poziomie morza (kg / s)
W_{fn}	Tempo masy przepływu paliwa dla wzorcowego silnika standardowego w warunkach ISA na poziomie morza z LTO trybie pracy n
T_B	Temperatura na wlocie do spalania

6.3.2 EI dla masy i liczby nvPM otrzymuje się dla każdego LTO w trybie pracy T dla wzorcowego silnika wzorcowego. Do określenia trybu jałowego wymagane są co najmniej trzy punkty testowe. Dla każdego trybu pracy LTO należy uzyskać odpowiedni przepływ paliwa w warunkach ISA. W warunkach odniesienia ISA dla EI dla masy i liczby nvPM określa się następujące zależności:

- a) pomiędzy EI a T_B ; i
- b) Pomędzy W_f a T_b ; i
- c) Pomędzy F_N a T_B .

Uwaga 1. – Zależności te są zilustrowane, na przykład, na rysunku A7-2 a), b) i c).

Uwaga 2. – Zależności pomiędzy b) i c) można ustalić bezpośrednio na podstawie danych z prób silnika lub można je wyprowadzić z zatwierdzonego modelu osiągnięć silnika.

6.4 Procedura obliczania

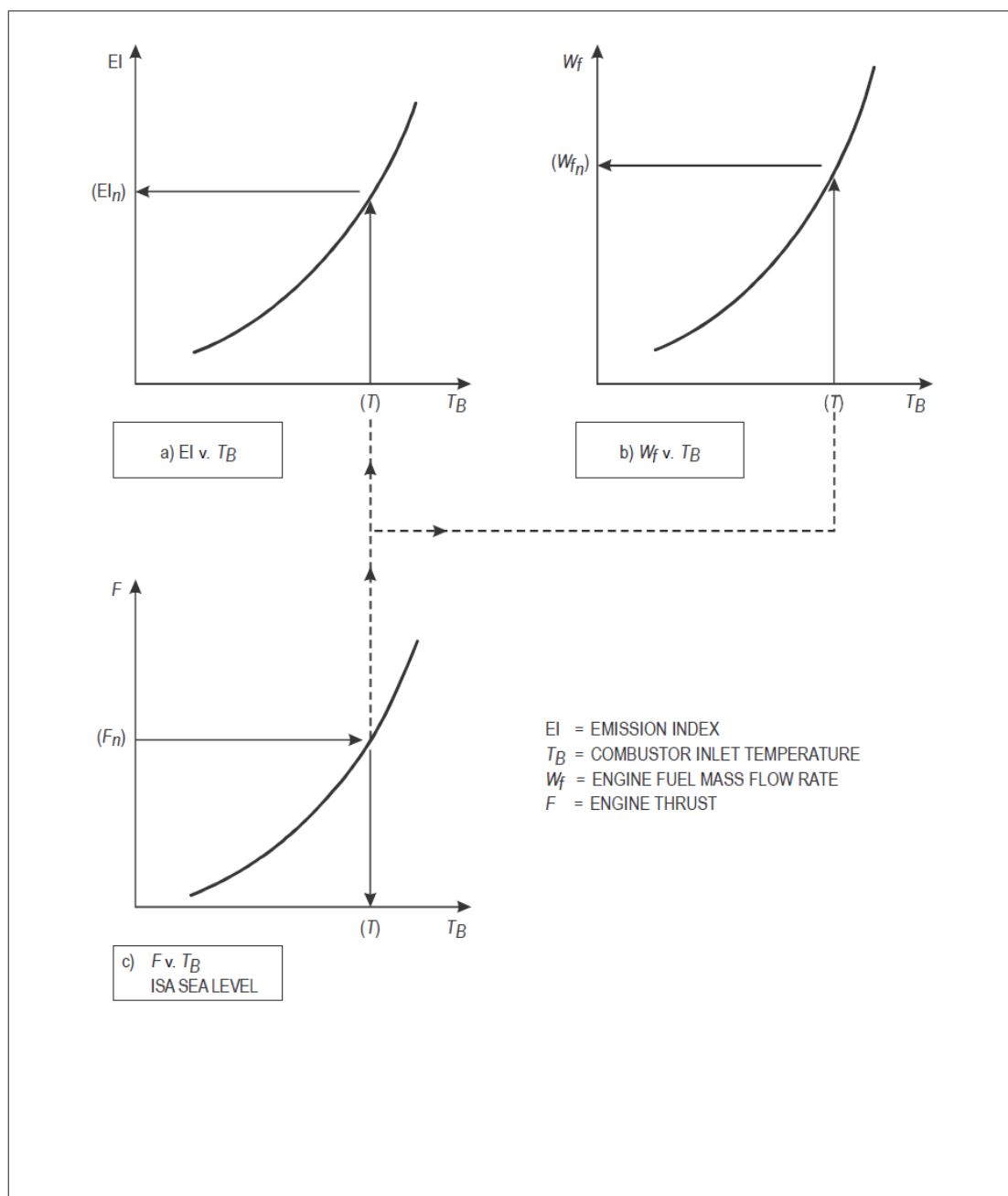
Oszacowanie EI (w odniesieniu do T_B) dla masy i liczby emisji nvPM w raportowanych trybach pracy musi być zgodne z następującą ogólną procedurą:

- a) Określić temperaturę na wlocie do komory spalania (T_B) (Rysunek A7-2 c)) przy wartościach F_n odpowiadających trybom pracy, n w referencyjnych warunkach atmosferycznych.
- b) Na podstawie charakterystyki EI / T_B (rysunek A7-2 a)), określić wartość EI_n odpowiadającą T_B .
- c) Na podstawie charakterystyki W_f / T_B (rys. A7-2 b)) określić wartość W_{fn} odpowiadającą T_B .

Uwaga. – Chociaż metodologia opisana powyżej jest metodą zalecaną, władze certyfikujące mogą zaakceptować równoważne procedury matematyczne, które wykorzystują wyrażenia matematyczne reprezentujące przedstawione krzywe, jeśli wyrażenia zostały wyprowadzone przy użyciu zaakceptowanej techniki dopasowania krzywej.

6.5 Wyjątki od proponowanych procedur

Uwaga. – W tych przypadkach, w których istnieje konfiguracja silnika lub inne warunki łagodzące, które zakazywałyby stosowanie tej procedury, władze certyfikujące, po otrzymaniu zadowalających dowodów technicznych dotyczących równoważnych wyników uzyskanych z użyciem procedury alternatywnej, mogą zatwierdzić procedurę alternatywną.



Rysunek A7-2. Silnik turbinowy nvPM EI jako funkcji kilku parametrów silnika

UZUPEŁNIENIE A DO DODATKU 7. WYMAGANIA I ZALECENIA DOTYCZĄCE SYSTEMU POBIERANIA PRÓBEK $nvPM$

1. SEKCJA 1: WŁOT SONDY - WŁOT ROZDZIELACZA 1

1.1 Sekcja 1 spełni następujące wymagania:

- a) Próbkę należy przenieść z sondy do sekcji 2 przewodem o średnicy wewnętrznej od 4,0 do 8,5 mm, wybierając możliwie najkrótszą drogę.
- b) Ciąg do pobierania próbek jest utrzymywany w temperaturze wyższej lub równej 145°C.
- c) Długość od wlotu do sondy do wlotu do rozdzielacza 1 powinna być mniejsza lub równa 8 m.

2. SEKCJA 2: WŁOT ROZDZIELACZA 1 - WYŁOT ROZCIEŃCZALNIKA 1

2.1 Sekcja 2 spełni następujące wymagania:

- a) Sekcja 2 zawiera rozdzielacz 1 rozcieńczalnik 1.
- b) Materiał z którego wykonany jest ciąg do próbkowania musi minimalizować gromadzenie się cząstek stałych lub ładunków elektrostatycznych.

Uwaga. – Wymogi te spełnia stal nierdzewna lub elektrycznie uziemiony PTFE obciążony węglem.

- c) Długość odcinka 2 od wlotu rozdzielacza 1 do wylotu rozcieńczalnika 1 nie może przekraczać 1 m.
- d) Sekcja 2 zawiera zawór odcinający 1 w celu przeprowadzenia kontroli szczelności GL.

2.2 Rozdzielacz 1 powinien spełniać następujące wymagania:

- a) Rozdzielacz 1 powinien być wykonany ze stali nierdzewnej.
- b) Temperaturę korpusu rozdzielacza 1 należy utrzymywać na poziomie co najmniej 145°C.
- c) Rozdzielacz 1 rozdziela próbkę spalin z silnika na trzy ścieżki przepływu.
- d) Kąty rozdziału w stosunku do dopływającego strumienia muszą być tak ostre, jak to praktycznie możliwe, ale nie mogą przekraczać 35°.
- e) Droga przepływu próbki w technologii $nvPM$ musi być tak prosta i krótka, jak to tylko możliwe.
- f) Wewnętrzna geometria rozdzielacza 1 musi spełniać następujące wymagania:
 - 1) brak progów skierowanych do przodu na wewnętrznej ścianie;
 - 2) brak zmiany ID od wylotu rozdzielacza 1 do wlotu rozcieńczalnika 1;

- 3) GL ID = 4 do 8,5 mm; i
- 4) nadmiarowa wewnętrzna powierzchnia przekroju poprzecznego ciągu do próbkowania większa lub równa całkowitej powierzchni wlotowej końcówek sondy.

2.3 Zawór odcinający 1 musi spełniać następujące wymagania:

- a) Zawór odcinający 1 należy umieścić między wylotem rozdzielacza 1 a wlotem rozcieńczalnika 1.
- b) Zawór odcinający 1 powinien mieć pełny otwór, bez skierowanych do przodu stopni większych niż 15% średnicy wewnętrznej.
- c) Uszczelki zaworu odcinającego 1 powinny być suche i odporne na ciepło do 175°C.

2.4 Temperaturę ścianki linii nvPM Sekcji 2 (T_1), do 5 cm od płaszczyzny mieszania rozcieńczalnika 1, należy utrzymywać na poziomie wyższym lub równym 145°C, jak pokazano na rysunku A7-3.

2.5 Rozcieńczalnik 1 powinien spełniać następujące wymagania:

- a) Rozcieńczalnik 1 powinien być rozcieńczalnikiem wyporowym.
- b) ID średnicy wlotu rozcieńczalnika 1 powinien być większy lub równy 7,59 mm.
- c) Przepływ rozcieńczalnika należy kontrolować zgodnie z zaleceniami producenta.
- d) Rozcieńczalnik 1 DF w czasie rzeczywistym będzie kontrolowany w zakresie od 8 do 14.

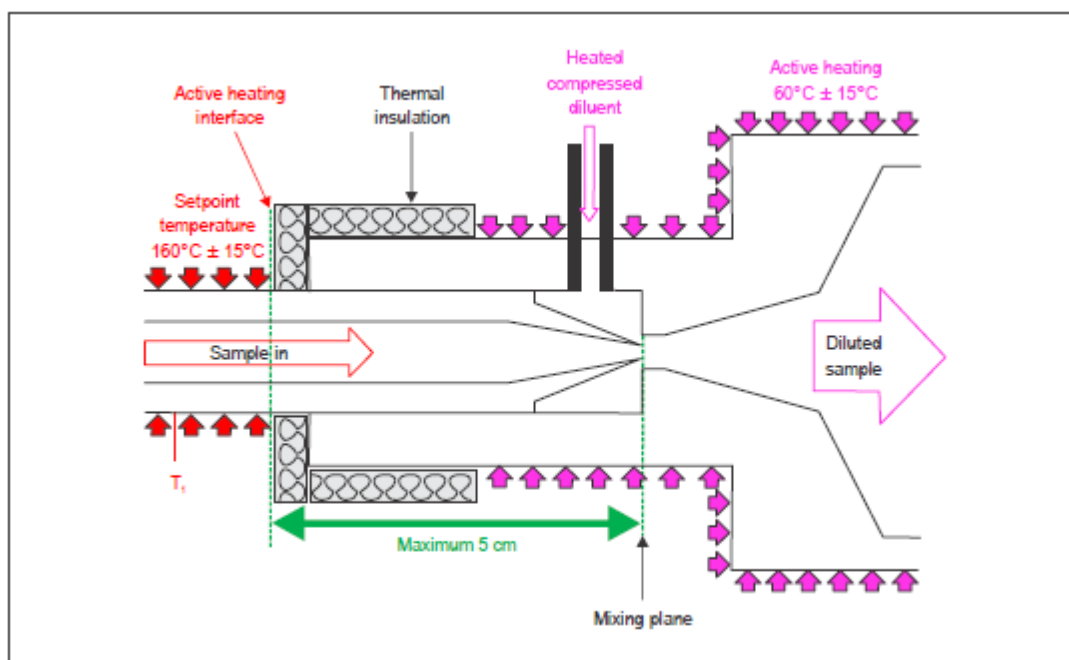
Uwaga 1. – Minimalne DF jest wymagane, aby zminimalizować koagulację nvPM, podczas gdy maksimum jest potrzebne do utrzymania rozcieńczonej próbki w zakresie pomiarowym przyrządów.

Uwaga 2. – DFI może być regulowane poprzez sterowanie PI za pomocą zaworu regulacji ciśnienia na ścieżce nadmiernego przepływu próbki lub poprzez regulację przepływu gazu rozcieńczającego.

- e) Odpowietrznik rozcieńczalnika 1 powinien być otwarty na otoczenia (równe ciśnieniu wlotowemu silnika).
- f) Korpus rozcieńczalnika 1 podgrzewa się do 60°C ± 15°C, jak pokazano na rysunku A7-3.
- g) Rozcieńczalnikiem będzie powietrze lub azot, filtrowanym przez HEPA i zawierającym mniej niż 10 ppm CO₂.
- h) Rozcieńczalnik podgrzewa się tak, aby temperatura próbki rozcieńczonej nvPM wynosiła 60°C ± 15°C na wylocie rozcieńczalnika 1 (T_2).
- i) Wnikanie cząstek rozcieńczalnika 1 powinno spełniać minimalne wymagania przedstawione w tabeli A7-2.

Tabela A7-2: Minimalne wymagania dotyczące frakcji przenikania cząstek (sprawności transmisji) rozcieńczalnika 1

Wielkość ruchliwości cząstek (średnica)	15nm	30nm	50nm	100nm
Minimalne frakcja przenikania cząstek	80%	90%	90%	9%



Rysunek A7-3. Przekrój przykładowego wlotu rozcieńczalnika 1 typu wyporowego z interfejsem grzewczym

2.5.1 **Zalecenie.** – Aby zminimalizować wpływ na działający zakres DF_1 , spadek ciśnienia w przewodzie odpowietrzania rozcieńczalnika 1 powinien być ograniczony do minimum, na ile jest to praktycznie możliwe.

2.5.2 **Zalecenie.** – Należy wdrożyć funkcję bezpieczeństwa, aby zapobiec przegrzaniu podgrzewacza rozcieńczalnika, gdy rozcieńczalnik nie płynie.

2.6 Przewód gazowy

2.6.1 Analizatory GL i emisji gazowych muszą spełniać specyfikacje w dodatku 3 i uzupełnieniach do dodatku 3.

Uwaga. – Część odbiorcza (sekcja 1) systemu pobierania próbek i pomiaru nvPM jest zgodna ze specyfikacjami w dodatku 3.

2.6.2 W celu określenia nvPM EI, pomiary GL stężeń gazowych CO, HC i NOx przeprowadza się jednocześnie.

Uwaga. – Wytyczne znajdują się w Środowiskowym Podręczniku Technicznym (Doc 9501), tom II - Procedury certyfikacji silników statków powietrznych w zakresie emisji.

2.6.3 W celu określenia DF_{1S} należy wykonać pomiar GL stężenia CO₂ (suchy, półsuchy lub mokry) jednocześnie z pomiarami nvPM.

2.7 Nadmiar przewodu do próbkowania

2.7.1 Ciśnienie ciągu do próbkowania na wlocie rozcieńczalnika 1 (P1) należy utrzymywać na poziomie zbliżonym do lokalnego ciśnienia otaczającego powietrza za pomocą odpowiedniego zaworu regulacji ciśnienia o wystarczającej powierzchni wewnętrznej. Całkowicie zamknięty zawór powinien być w stanie utrzymać podciśnienie na poziomie -75 kPa w stosunku do otoczenia.

2.7.2 **Zalecenie.** – Opcjonalny zawór odcinający, z wystarczającą powierzchnią wewnętrzną, aby uniknąć przeciwcisnienia w systemie, należy umieścić za zaworem regulacji ciśnienia, aby zapobiec wyciekom w warunkach podciśnienia wewnątrz rozdzielacza 1.

3. SEKCJA 3: WYLOT ROZCIEŃCZALNIKA 1 - WLOT SEPARATORA CYKLONU

3.1 Ciąg do próbkowania musi spełnić następujące wymagania:

- a) Materiał ciągu do pobierania próbek powinien być elektrycznie uziemionym PTFE zawierającym węgiel.
- b) **Zalecenie.** – *Przewód do pobierania próbek powinien spełniać wymagania antystatyczne określone w normie ISO 8031.*
- c) ID ciągu do próbkowania musi wynosić od 7,59 mm do 8,15 mm.

Uwaga. – Uwzględniając tolerancje produkcyjne, specyfikacja ID ciągu do próbkowania odpowiada dostępnym w handlu średnicom zewnętrznym ciągu 3/8 cala i 7/16 cala, oba o grubości ścianki 0,035 cala; i średnicy 10 mm przy 1 mm grubości ścianki.

- d) Ciąg będzie miał długość $24,5 \text{ m} \pm 0,5 \text{ m}$, nie będzie miał zbędnych łączników i maksymalnie będzie składać się z trzech odcinków.
- e) Promień krzywizny skróconego ciągu próbkowania powinien być większe niż 0,5 m.
- f) Temperaturę ciągu pobierania próbek należy utrzymywać na poziomie $60^{\circ}\text{C} \pm 15^{\circ}\text{C}$ przez aktywne ogrzewanie.
- g) Przepływ próbki należy utrzymywać na poziomie $25 \text{ slpm} \pm 2 \text{ slpm}$.

4. CZĘŚĆ 4: WLOT DO SEPARATORA CYKLONOWEGO - WLOT PRZYRZĄDU

4.1 Separator cyklonowy

Separator cyklonowy powinien spełniać następujące wymagania:

- a) Separator cyklonowy powinien być wykonany ze stali nierdzewnej.
- b) Separator cyklonowy podgrzewa się do $60^{\circ}\text{C} \pm 15^{\circ}\text{C}$.
- c) ID wlotu i wylotu separatora cyklonowego powinno być mniejsze niż 15% w stosunku do ID ciągu próbkowania na wlocie i wylocie.
- d) Możliwości separatora cyklonowego przy natężeniu przepływu próbki wynoszącym 25 slpm muszą być zgodne z następującymi specyfikacjami:
 - 1) punkt odcięcia: $D50 = 1,0 \mu\text{m} \pm 0,1 \mu\text{m}$;

- 2) ostrość: (D16 / D84) 0,5 mniejsza lub równa 1,25; i
- 3) spadek ciśnienia: ΔP mniejszy lub równy 2 kPa.

4.2 Rozdzielacz 2

Rozdzielacz 2 powinien spełniać następujące wymagania:

- a) Rozdzielacz 2 powinien być wykonany ze stali nierdzewnej.
- b) Rozdzielacz 2 podgrzewa się do $60^{\circ}\text{C} \pm 15^{\circ}\text{C}$.
- c) Rozdzielacz 2 rozdziela próbkę na trzy ścieżki, aby rozcieńczoną próbkę nvPM dostarczyć do:
 - 1) nvPMmi;
 - 2) VPR; i
 - 3) Ścieżka gromadzenia przepływu.
- d) Dopływy do rozdzielacza muszą być pod najbardziej ostrymi kątami, jak to praktycznie możliwe, nie przekraczającymi 35° .
- e) Wszystkie ścieżki przepływu nvPM powinny być tak krótkie, jak to możliwe.
- f) Geometria Rozdzielacza 2 musi spełniać następujące wymagania:
 - 1) brak progów skierowanych do przodu na ścianie wewnętrznej;
 - 2) brak zmiany ID wylotu Rozdzielacza 2 na wlot nvPMmi; i
 - 3) brak zmiany ID wylotu Rozdzielacza 2 na wlot nVPR.

4.3 Interfejs systemu pomiarowego

Ciągi pobierania próbek do nvPMmi i VPR muszą spełniać następujące wymagania:

- a) Materiał ciągu do pobierania próbek powinien być wykonany ze stali nierdzewnej lub elektrycznie uziemionego PTFE z obciążeniem węglowym.
- b) **Zalecenie.** – *Jeżeli ciąg do pobierania próbek jest wypełniony węglem i uziemionym PTFE, powinien spełniać wymagania antystatyczne określone w ISO 8031.*
- c) Ciąg do pobierania próbek podgrzewa się do $60^{\circ}\text{C} \pm 15^{\circ}\text{C}$.
- d) Brak zmiany ID między ciągiem próbkowania a wlotami do przyrządu.
- e) Każda całkowita długość ciągu od wlotu do separatora cyklonowego do wlotu nvPMmi i VPR powinna być możliwie najkrótsza i nie może przekraczać 3 m.

5. CZĘŚĆ 5: POMIAR nvPM

5.1 Ścieżka gromadzenia przepływu

5.1.1 Elementy ścieżki gromadzenia przepływu muszą spełniać następujące wymagania:

- a) Pompa główna i regulator przepływu do utrzymania stałego całkowitego natężenia przepływu próbki (suma natężenia przepływu gromadzącego się przepływu, nvPMmi i VPR) na poziomie $25 \text{ slpm} \pm 2 \text{ slpm}$ do 10 kPa poniżej temperatury otoczenia, przez sekcję 3.
- b) Analizator CO₂ do ciągłego pomiaru stężenia CO₂ za rozcieńczalnikiem 1, [CO₂] dil1, podczas pomiaru nvPM.

Uwaga 1. – W zależności od konfiguracji pobierania próbek może występować wiele pomp i sterowników przepływu.

Uwaga. – Wytyczne znajdują się w Środowiskowym Podręczniku Technicznym (Doc 9501), tom II - Procedury certyfikacji silników statków powietrznych w zakresie emisji.

5.1.3.1 **Zalecenie.** – Filtry cząstek stałych należy umieszczać przed regulatorami przepływu, aby zapobiec uszkodzeniu ich elementów.

5.1.2 Jeżeli w nvPMmi brakuje pomiaru ciśnienia próbki, ciśnienie należy mierzyć na wylocie rozdzielacza 2 na ścieżce gromadzenia przepływu.

5.1.3 Analizator CO₂ musi spełniać następujące wymagania:

- a) Analizator CO₂ umieszcza się za regulatorem przepływu.
- b) Analizator CO₂ musi spełniać specyfikacje wydajności podane w uzupełnieniu B do dodatku 3 pod nazwami Analizatory CO i CO₂ oraz analizator CO₂, z wyjątkiem a).

5.1.3.2 **Zalecenie.** – Całkowity zakres analizatora CO₂ powinien być około dziesięć razy mniejszy niż zakres analizatora CO₂ używany w GL.

UZUPEŁNIENIE B DO DODATKU 7. SPECYFIKACJA PRZYRZĄDU DO POMIARU MASY $nvPM$ I KALIBRACJI

Uwaga. – W tym załączniku masa wolnego węgla (EC) jest używana jako substytut masy $nvPM$. Wytyczne znajdują się w Środowiskowym Podręczniku Technicznym (Doc 9501), tom II - Procedury certyfikacji silników statków powietrznych w zakresie emisji.

Uwaga. – Pełny opis metody referencyjnej pomiaru współczynnika przenikalności cieplno-optycznej (TOT) znajduje się w sekcji 2 niniejszego załącznika. Ta metoda jest powszechnie stosowana przez laboratoria kalibracyjne; nie oczekuje się, że producent silników lotniczych zastosuje tę metodę.

Uwaga. – W tym załączniku zastosowano następujące odniesienie ISO: Międzynarodowa Organizacja Normalizacyjna, Jakość powietrza - Definicja i określenie charakterystyk działania automatycznego systemu pomiarowego (ISO 9169: 2006).

1. SPECYFIKACJE

Każda marka i model $nvPM$ mi musi otrzymać certyfikat od producenta przyrządu lub innego kompetentnego testującego kalibrującego laboratorium potwierdzający, że:

- a) posiada zakres pomiarowy od $0 \mu g / m^3$ do $1000 \mu g / m^3$ lub większy;
- b) posiada rozdzielczość $1 \mu g / m^3$ lub lepszą;
- c) jest niewrażliwy na lotne cząstki stałe; i

Uwaga 1. – Lotne cząstki stałe to spaliny ze spalania, które ulatniają się w temperaturach niższych lub równych $350^\circ C$.

Uwaga 2. – Ta specyfikacja jest spełniona, gdy $nvPM$ mi spełnia wymagania dotyczące zastosowania w tabeli A7-3.

- d) spełnia specyfikacje wydajności podane w Tabeli A7-3.

Uwaga 1. – Odniesienia do ISO 9169 w Tabeli A3-7, które są oznaczone gwiazdką, odnoszą się do sekcji, w których zastosowano modyfikacje jak opisano w sekcji 4 niniejszego załącznika..

Uwaga 2. – Specyfikacje wydajności odzwierciedlają ograniczenia wielkości, które można zweryfikować przy użyciu termicznej transmitancji optycznej (TOT) jako referencyjnej metody pomiaru. Metoda TOT została opisana w sekcji 2.

Uwaga 3. – Tylko specyfikacja dokładności jest wymagana i stosowana w corocznej procedurze kalibracji opisanej w sekcji 5 niniejszego dodatku.

Uwaga 4. – Stosowalność jest określana zgodnie z procedurą podaną w sekcji 3 niniejszego dodatku.

Tabela A7-3. Specyfikacje wydajności dla przyrządów masy nvPM (nvPMmi)

<i>Specyfikacja wydajności</i>	<i>Wartość (równa lub mniejsza niż)</i>	<i>Metoda oznaczania</i>
Powtarzalność	10 µg/m ³	ISO* 6.4.5.3
Pełzanie zera	10 µg/m ³ /hr	ISO 6.6 (tylko dla CO)
Liniowość	15 µg/m ³	ISO* 6.4.5.4
Granica wykrywalności (LOD)	1 µg/m ³	ISO* 6.4.5.5
Czas wzrostu	2 sekundy	ISO 6.3
Interwał próbkowania	1 sekunda	ISO 2.1.7
Dokładność (Zgodność ze stężeniem masy WE oznaczonej z TOT)	± 10%	Nachylenie regresji liniowej między stężeniem masy nvPMmi a stężeniem masy EC określonym z TOT po kalibracji (tabela A7-5)
Stosowalność	± 16%	Walidacja na wylotowej turbinie statku powietrznego

2. METODA TERMICZNEJ

2.1 Informacje ogólne

2.1.1 Analizator TOT powinien być albo przyrządem laboratoryjnym (z detektorem płomieniowo-jonizacyjnym (FID)), albo przyrządem półciągłym (z niedyspersyjnym detektorem podczerwieni NDIR)).

2.1.2 Metoda TOT wykorzystuje profil temperaturowy określony w Tabeli A7-4.

Uwaga. – Wytyczne dotyczące metody TOT znajdują się w Środowiskowym Podręczniku Technicznym (Doc 9501), tom II - Procedury certyfikacji silników statków powietrznych w zakresie emisji.

2.2 Odczynniki i materiały

2.2.1 Należy zastosować następujące odczynniki:

- wodne roztwory sacharozy o czystości odczynnikowej (99% lub więcej), rozcieńczone ultraczystą H₂O typu I lub jej odpowiednikiem, w celu uzyskania 0,1–3 mg C na mililitr roztworu;
- He - czystość 5,0 (powyżej 99,999%);
- H₂ - czystość 5,0 (powyżej 99,999%);
- zero powietrza (z mniej niż 0,2 ppm węglowodorów);

- e) certyfikowana mieszanka 10% O₂ w He;
- f) certyfikowana mieszanka 5% CH₄ w He.

2.2.2 Należy zastosować następujący materiał:

- a) w przypadku przyrządu laboratoryjnego, metalowy przebijak dostarczony wraz z przyrządem do usuwania prostokątnej części filtra 1,0 cm² lub 1,5 cm²;
- b) w przypadku instrumentu półciągnącego metalowy przebijak dostarczony z instrumentem do usuwania dwóch okrągłych filtrów 2,0 cm²;
- c) Filtry z włókna kwarcowego Pall Tissuquartz™ lub równoważne; i
- d) strzykawka 10 mikrolitrów

2.2.3 Przygotowanie filtra

W zależności od używanego przyrządu filtry należy przygotować w następujący sposób:

- a) do ręcznego pobierania próbek i analizy wszystkie filtry z włókna kwarcowego przed pobraniem próbek są wstępnie wypalane w piecu muflowym w temperaturze 550 ° C lub wyższej przez 12 godzin lub powyżej lub równej 800°C przez 1–2 godziny i przechowywane w szczelnym pojemniku, lub;
- b) w przypadku analizatora półciągnącego filtry do pomiaru ustawia się, wykonując co najmniej jeden pełny cykl pomiarowy, jak opisano w tabeli A7-4.

Wymagany profil temperaturowy dla cyklu analizy metodą TOT

<i>Gaz nośny</i>	<i>Temperatura (°C)</i>	<i>Czas utrzymywania w temperaturze (w sekundach)</i>
100 procent He	310	80
	475	80
	615	80
	870	110
	550	45
10 procent O ₂ w He	550	45
	625	45
	700	45
	775	45
	850	45
	870	60
	930	120
5 procent CH ₄ w He	0	120

2.3 Przygotowanie próbki

2.3.1 Filtr do pobierania próbek należy umieścić na czystej powierzchni z folii aluminiowej.

Uwaga. – Do czyszczenia powierzchni folii można użyć alkoholu izopropylowego lub acetonu. W takim przypadku przed użyciem pozostawić resztki rozpuszczalnika do odparowania z powierzchni. Alternatywnie, folię przed użyciem można wyczyścić przez wypalanie w piecu mufowym.

2.3.2 Reprezentatywną część filtra należy wybić. Przy obchodzeniu się z filtrem należy stosować dobrą praktykę laboratoryjną.

2.4 Kalibracja i kontrola próbki

2.4.1 Czujnik temperatury kontrolujący temperaturę pieca kalibruje się przy użyciu identyfikowalnego standardu transferu w ciągu 1 roku przed przeprowadzeniem jakichkolwiek analiz TOT.

2.4.2 Jeżeli używany jest instrument laboratoryjny, należy skalibrować reakcję FID. Kalibracja musi spełniać następującą procedurę:

- a) Przygotować zewnętrzny wzorzec kalibracyjny składający się z roztworu sacharozy w wodzie wolnej od elementów organicznych.
- b) Rozprowadzić w przebijakach z nowego, czystego, wcześniej wypieczonego filtra kwarcowego 10 mikrolitrów roztworu.
- c) Przeanalizuj co najmniej trzy próbki metodą ślepej próby i trzy próbki z roztworem sacharozy, aby upewnić się, że kalibracja przyrządu wykazuje 95–105% odzysk teoretycznej masy C (μgC zmierzone / μgC rozproszone).

2.4.3 Jeżeli używany jest przyrząd półciągły, należy skalibrować odpowiedź NDIR. Kalibracja musi spełniać następującą procedurę:

- a) Przygotować zewnętrzny wzorzec kalibracyjny składający się z roztworu sacharozy w wodzie wolnej od elementów organicznych.
- b) Rozprowadzić w przebijakach z oddzielnego, wstępnie kondycjonowanego filtra „łódeczkowego” umieszczonego na dnie kwarcowej pół-rurki 10 mikrolitrów roztworu.
- c) Przeanalizuj co najmniej trzy próbki metodą ślepej próby i trzy próbki z roztworem sacharozy, aby upewnić się, że kalibracja przyrządu wykazuje 95–105% odzysk teoretycznej masy C (μgC zmierzone / μgC rozproszone).

2.4.4 Jeżeli dla analizy filtrów potrzeba więcej niż jednego dnia, to każdego dnia przeprowadza się pojedynczą kontrolę jakości, zwykle z użyciem podstawowego roztworu sacharozy, rozprowadzając go na filtrze i odpowiednio analizując. Wyniki powinny mieścić się w przedziale 95–105% teoretycznej masy C.

Uwaga. – Metody ślepej próby to wcześniej wypalony filtr kwarcowy bez dodatku sacharozy, ale traktowany w ten sam sposób.

2.5 Pomiary

Pomiar należy uzyskać, stosując następującą procedurę:

- a) Analizator TOT powinien działać zgodnie z zaleceniami producenta.
- b) Umieścić porcję próbki w piecu do próbek.

- c) Określić masę EC i OC w μg .

Uwaga. – Wyniki analizatora TOT są podawane w $\mu\text{g} / \text{cm}^2 \text{ C}$.

- d) Końcowe wyniki próbek należy zawsze korygować do ślepej próby:
- 1) w przyrządzie laboratoryjnym ślepa próba składa się z wstępnie wypalonych filtrów z włókna kwarcowego, które są obsługiwane w ten sam sposób, co próbki, z tym wyjątkiem, że przez filtr nie przepływa powietrze. Ładunek masy EC na jednostkę powierzchni większy lub równy $0,3 \mu\text{g} / \text{cm}^2$ w ślepych próbkach oznacza zanieczyszczenie;
 - 2) w przypadku analizatora półciągięgo pomiar zestawu filtrów wewnętrznych wykonuje się bez przepuszczania próbki gazu przez filtry.
- e) Końcowe wyniki próbek należy zawsze korygować pod kątem artefaktów OC w fazie gazowej. W przypadku tej korekty warunki robocze (czas trwania i natężenie przepływu) muszą być takie same, jak te stosowane do pobierania próbek. W zależności od używanego przyrządu procedura wygląda następująco:
- 1) do analiz laboratoryjnych należy zastosować konfigurację pobierania próbek składającą się z filtra teflonowego, po którym znajduje się wcześniej wypalony zapasowy filtr kwarcowy lub wcześniej wypalony filtr kwarcowy, po którym znajduje się wcześniej wypalony zapasowy filtr kwarcowy, z zapasowym filtrem kwarcowym zgodnie z opisem w Tabeli A7-4. Wszelkie OC znalezione na filtrach zapasowych należy odjąć od OC znalezionych na filtrach próbek;
 - 2) w przypadku analiz półciągiętych, filtr teflonowy należy umieścić w konfiguracji pobierania próbek przed analizatorem. Wszelkie OC stwierdzone podczas tego pomiaru należy odjąć od OC znalezionego podczas pomiaru próbki.

2.6 Obliczenia

Przyrząd laboratoryjny:

- a) pomnożyć podany wynik obciążenia EC ($\mu\text{g} / \text{cm}^2$) przez powierzchnię osadu filtra (cm^2), aby obliczyć całkowitą masę EC (μg) na każdej próbce filtra (W_{EC});
- b) wykonać takie same obliczenia jak w a) dla ślepej próby i obliczyć masę znaną w średniej ślepej próbce (W_{b}); i
- c) obliczyć stężenie masowe EC (C_{EC}) w objętości powietrza pobranego w warunkach STP, V (m^3):

$$C_{\text{EC}} = \frac{W_{\text{EC}} - W_{\text{b}}}{V} \quad (\mu\text{g}/\text{m}^3)$$

Uwaga 1. – Przyrząd półciągiły podaje stężenie masy EC jako raportowany wynik.

Uwaga. – Wytyczne dotyczące metody TOT znajdują się w Środowiskowym Podręczniku Technicznym (Doc 9501), tom II – Procedury certyfikacji silników statków powietrznych w zakresie emisji.

3. PROCEDURA WYKAZANIA ZGODNOŚCI ZE SPECYFIKACJĄ WYDAJNOŚCI

Uwaga. – Procedura opisana w tej sekcji jest stosowana do wykazania zgodności ze specyfikacjami technicznymi każdej marki i modelu nvPMmi.

Specyfikacje wydajności wymienione w tabeli A7-3 należy zademonstrować za pomocą metody TOT, jak opisano w sekcji 2 niniejszego dodatku. Pomiary należy wykonywać przy użyciu dwóch następujących źródeł: źródła aerozolu spalania z płomieniem dyfuzyjnym oraz źródła spalin silnika turbogazowego nvPM.

3.1 Pomiar z wykorzystaniem źródła aerozolu z płomieniem dyfuzyjnym

3.1.1 Układ pomiarowy zawiera:

- a) źródło aerozolu z płomieniem dyfuzyjnym do spalania;
- b) układ rozcieńczania wykorzystujący rozcieńczalnik przefiltrowany na filtrze HEPA do kontroli docelowych stężeń masowych EC;
- c) separator cyklonowy z punktem odcięcia 1 μm przed oprzyrządowaniem TOT i nvPMmi;
- d) zespół rozgałęźnika spełniający wymagania pkt 4.2 d) i f) Uzupełnienia A do niniejszego dodatku;

Uwaga. – Równoważna procedura znajduje się w Środowiskowym Podręczniku Technicznym (Doc 9501), tom II - Procedury certyfikacji silników statków powietrznych w zakresie emisji.

- e) rura ze stali nierdzewnej lub antystatyczna do podłączenia ręcznego próbnika z filtrem kwarcowym lub półciąglym analizatora EC / OC i nvPMmi. Wszystkie przewody muszą być z tego samego materiału, tej samej długości i o tej samej temperaturze od punktu podziału do wlotów przyrządu; i
- f) **Zalecenie.** – *Jeśli używane są rurki antystatyczne, należy spełnić wymagania antystatyczne określone w ISO 8031.*

3.1.2 W zależności od używanego do pomiaru TOT przyrządu należy spełnić następujące wymagania:

- a) jeżeli stosuje się ręczne pobieranie próbek i analizator laboratoryjny, jeden wcześniej wypalony filtr kwarcowy w uchwycie ze stali nierdzewnej ze zwiężającą się sekcją wlotową o kącie połówkowym $\leq 12,5^\circ$ działającym przy prędkości powierzchniowej filtra mniejszej lub równej 0,5 m/s w rzeczywistych warunkach pracy. Średnica osadu filtra powinna być wystarczająco duża, aby umożliwić pobranie co najmniej jednego przebijaka z każdego filtra. Analizie poddany zostanie przynajmniej jeden przebijak z każdej pobranej próbki z filtra kwarcowego; lub
- b) jeżeli używany jest półciągly analizator TOT, to powinien pracować przy prędkości powierzchniowej filtra mniejszej lub równej 0,5 m / s.

3.1.3 Pomiary należy wykonywać na stopniowanych poziomach docelowego stężenia masy EC określonego w tabeli A7-5. Osiągnięte stężenia masy EC muszą mieścić się w granicach 20% określonych docelowych stężeń masy.

3.1.4 Na każdym poziomie stężenia próbki należy pobierać przez podobny okres w celu ustalenia ładowania powtarzalnego filtra EC. Obciążenie filtra EC powinno wynosić $12 \pm 5 \mu\text{g} / \text{cm}^2$.

3.1.5 Czas uśredniania określony w ISO 9169 musi być taki sam jak czas zbierania we filtrze.

3.1.6 Średnia zawartość EC określona metodą TOT ma być większa lub równa 80% całkowitego C.

3.1.7 Stężenia masy EC pozyskane z metody TOT i stężenia mas nvPMmi należy wykorzystać do

określenia parametrów podanych w sekcji 4 niniejszego dodatku, które wykazują zgodność ze specyfikacjami wydajności w tabeli A7-3.

3.1.8 **Zalecenie.** – Dla corocznej kalibracji należy przetestować trzy punkty przy 50 µg / m³.

Tabela A7-5. Parametry obciążenia masą EC dla próbek kalibracyjnych

Docelowe stężenie (µg / m ³)	Świadectwo uznania liczba testów	Coroczna kalibracja liczba testów
0 (ślepa próba)	6	3
50	6	o
100	6	3
250	0	3
500	6	3

3.2 Pomiar z wykorzystaniem źródła spalin silnika turbogazowego nvPM

3.2.1 Punkty 3.1.4–3.1.5 należy powtórzyć dla źródła gazów spalinowych nvPM z silnika turbogazowego przy użyciu układu pomiarowego określonego w pkt 3.1.1 c), d), e) i 3.1.2 z układem rozcieńczania wykorzystującym rozcieńczalnik przefiltrowany na filtrze HEPA.

Uwaga. – Należy zastosować wystarczające rozcieńczenie, aby zapobiec kondensacji wody w ciągu próbkowania.

3.2.2 Należy uzyskać co najmniej cztery punkty danych dla co najmniej trzech różnych poziomów ciągu z podwójnymi pomiarami wykonanymi na jednym z poziomów ciągu przy użyciu systemu pobierania próbek nvPM określonego powyżej. Pomiary należy przeprowadzać przy co najmniej trzech stężeniach docelowych, każde co najmniej o współczynnik 1,5 niezależnie od następnego, co najmniej jedno stężenie powinno przekraczać 120 µg / m³ i co najmniej jedno stężenie poniżej 120 µg / m³. Obciążenie filtra EC dla tych czterech punktów danych powinno wynosić od 2,5 µg / cm² do 17 µg / cm².

3.2.3 Stężenia masy EC uzyskane z metody TOT i stężenia masy nvPMmi należy wykorzystać do określenia możliwości zastosowania, jak podano w tabeli A7-3 w celu wykazania zgodności ze specyfikacjami wydajności.

3.2.4 Paliwem do badań silnika powinno być jedno z paliw do silników turbinowych wymienionych w *Podręczniku zaopatrzenia w paliwa do silników odrzutowych w lotnictwie cywilnym* (Doc 9977), rozdział 3, 3.2. W co najmniej czterech punktach danych stosuje się to samo paliwo.

4. OBLICZANIE WYDAJNOŚCI PRZYRZĄDU

4.1 Parametry wydajności nvPMmi pełzanie zera, czas narastania i częstotliwość próbkowania określa się zgodnie z normą ISO 9169, odpowiednio, pkt 6.6, 6.3 i 2.1.7.

4.2 Parametr powtarzalności nvPMmi przy 95-procentowym przedziale ufności określa się, stosując 6 kolejnych pomiarów na każdym poziomie stężenia, jako:

$$s_{r1}^2 = s_{t1}^2 - \Delta^2 \cdot s_{c1}^2$$

gdzie

$$s_{Y_i}^2 = \frac{\sum_{j=1}^n (Y_{ij} - \bar{Y}_i)^2}{(n-1)}$$

- s_{C_i} odchylenie standardowe nad j C_{ij} dla poziomu i
 Y_{ij} wynik pomiaru przyrządem materiału odniesienia C_{ij}
 C_{ij} j -tę przypadkiem stężenia materiału odniesienia na poziomie i
 $\bar{Y}_i$ średnia nad j z $Y_{i,j}$
 n liczba kolejnych pomiarów na każdym poziomie stężenia (minimum 6)
 Δ nachylenie funkcji regresji zastosowanej w przypadku braku odpowiedniego testu wyznaczonego z następujących równań:

$$E_{ij} = Y_{ij} - (\Gamma + \Delta \times C_{ij})$$

$$E_i = \frac{\sum_{j=1}^n E_{ij}}{n}$$

gdzie

E_{ij} stanowi różnicę pomiędzy C_{ij} i Y_{ij} ;

E_i to średnia nad j z E_{ij} ; i

Γ jest punktem przecięcia z funkcją regresji stosowaną w przypadku braku odpowiedniego testu.

Uwaga. – Jeżeli tak określona powtarzalność jest ujemna, co wskazuje, że nie można odróżnić wariancji pomiaru od zmienności materiału odniesienia, badanie należy powtórzyć, zwracając dodatkową uwagę na stabilność źródła materiału odniesienia (płomień dyfuzyjny źródła przepływu nvPM i ustawienie ciśnienia) oraz dokładność określenia poziomu materiału odniesienia (metody obciążenia TOT i procedury). W przeciwnym razie parametr powtarzalności można określić jako „znacznie lepszy niż $\Delta \cdot s_{C_i}^2$ ”

4.3 Liniowość nvPMmi określa się zgodnie z normą ISO 9169, pkt 6.4.5.4, ale pozostałości określa się w następujący sposób:

$$E_i = \frac{\sum_{j=1}^n E_{ij}}{n}$$

4.4 LOD nvPMmi określa się zgodnie z normą ISO 9169, pkt 6.4.5.5. Jeżeli przyrząd nie dokonuje pomiaru, gdy w próbce nie ma cząstek stałych, należy zastosować wyższe stężenie masy nvPM, C_{LOD} , nieco powyżej zera, tak aby przyrząd dawał regularne odczyty. W tym przypadku LOD określa się jako:

$$Y_{LOD,0.95} = \bar{Y}_{LOD} - C_{LOD} + 2 \times t_{v,0.95} \times s_{LOD}$$

gdzie

$Y_{LOD,0.95}$ to granica wykrywalności przy 95-procentowym przedziale pewności;

Y_{LOD} jest średnią wartością $Y_{LOD, j}$;

C_{LOD} jest średnią wartością $C_{LOD, j}$;

$t_{v, 0,95}$ to dwustronny współczynnik Studenta przy 95% pewności, stopień $v = n-1$;

s_{LOD} to odchylenie standardowe związane ze średnim poziomem Y_{LOD} .

Uwaga. - Materiał odniesienia może nie być taki sam w kolejnych pomiarach wykonywanych w czasie uśrednianym. W związku z tym każde określenie wartości materiału odniesienia może być inne, chociaż dobrze znane, jak określono metodą TOT. Definicje ISO 9169 zostały zmodyfikowane w celu uwzględnienia takiej zmienności.

5. KALIBRACJA

5.1 Co roku należy kalibrować NVPMmi przy użyciu metody TOT i konfigurować system określonej w pkt 3.1.1 i 3.1.2. niniejszego dodatku.

5.2 Pomiary należy wykonywać na różnych poziomach docelowego stężenia masy EC określonego w tabeli A7-5. Osiągnięte stężenia masy EC powinny zawierać się w granicach $\pm 20\%$ określonych, docelowych stężeń masy.

5.3 Na każdym poziomie stężenia próbki należy pobierać przez podobny okres w celu ustalenia powtarzalnego obciążenia filtra EC. Obciążenie filtra EC powinno wynosić $12 \pm 5 \mu\text{g} / \text{cm}^2$.

5.4 Czas uśredniania określony w ISO 9169 musi być taki sam jak czas zbierania przez filtr.

5.5 Stężenia masy EC z metody TOT i stężenia masy nvPMmi wykorzystuje się do ustalenia najlepszego dopasowania dla punktów danych zebranych podczas kalibracji przyrządów. Do określenia współczynnika skalowania b w celu dostosowania stężeń masy nvPM zgłaszanych przez nvPMmi stosuje się liniową metodę najmniejszych kwadratów w następujący sposób:

$$b = \frac{\sum x_i y_i}{\sum x_i^2}$$

gdzie

x_i jest i -tym pomiarem nvPMmi;

y_i oznacza stężenie masy TOT EC; i

b to nachylenie najlepiej dopasowanego ciągu.

Uwaga 1. – Po zastosowaniu współczynnika skalowania b , nachylenie regresji liniowej testów EC względem odczytów przyrządu skorygowanego o b jest matematycznie równe 1,0, a wymóg dotyczący nachylenia w tabeli A7-3 zostanie spełniony przez definicję.

Uwaga 2. – Ze względu na spodziewane niepewności co do powtarzalności testów TOT EC, powtórzenie powyższego procesu w tym samym lub innym laboratorium może spowodować inne nachylenie bez zmiany reakcji przyrządu. Specyfikacje dokładności w tabeli A7-3 mają na celu uwzględnienie takiej zmienności.

5.6 Zalecenie. – *Przed każdą coroczną kalibracją należy dokonać analizy działania każdego przyrządu do pomiaru masy w stanie „rzeczywistym (stwierdzonym)” przy stężeniu masy EC wynoszącym $100 \mu\text{g} / \text{m}^3$ podanym w tabeli A7-5. Ocena ta pozwoli na śledzenie wcześniejszych kalibracji przyrządu i pozwoli na porównanie istniejących i nowych stałych kalibracji.*

UZUPEŁNIENIE C DO DODATKU 7. SPECYFIKACJE I KALIBRACJA PRZYRZĄDU DO USUWANIA CZĄSTEK LOTNYCH I POMIARU LICZBY nvPM

1. SPECYFIKACJE

1.1 Specyfikacje VPR

1.1.1 Każda marka i model środka do usuwania lotnych cząstek stałych (VPR) musi otrzymać certyfikat od producenta przyrządu lub innego kompetentnego laboratorium testującego i wzorcującego, potwierdzając, że spełnia on specyfikacje wydajności podane w niniejszym uzupełnieniu.

1.1.2 Współczynnik rozcieńczenia VPR (DF_2) musi spełniać następujące wymagania:

- a) DF_2 należy wyregulować tak, aby utrzymać stężenie liczby cząstek stałych w trybie pojedynczego zliczania licznika cząstek kondensacyjnych (CPC) i obniżyć temperaturę próbki do między 10°C a 35°C na wlocie CPC.
- b) Zmienność DF_2 musi być mniejsza niż 10%.

1.1.3 Część ogrzewaną, która odparowuje substancje lotne, należy utrzymywać w temperaturze $350^\circ\text{C} \pm 15^\circ\text{C}$.

1.1.4 Jeżeli VPR składa się z wielu podgrzewanych etapów, dodatkowe regulatory temperatury powinny wynosić $\pm 15^\circ\text{C}$ temperatur roboczych określonych przez producenta VPR.

1.1.5 Kontrola ciśnienia próbki musi spełniać następujące wymagania:

- a) Urządzenie do kontroli ciśnienia powinno umożliwiać dostarczenie rozcieńczonej próbki do CPC w granicach $\pm 15\text{ kPa}$ ciśnienia otoczenia (wydech CPC).
- b) Ciśnienie nie może przekraczać 105 kPa.

1.1.6 Minimalny dopuszczalny udział procentowy przenikania cząstek stałych w VPR dla każdego ustawienia rozcieńczenia musi być zgodny ze specyfikacjami wymienionymi w tabeli A7-6.

Tabela A7-6. Minimalne dopuszczalne frakcje przenikania VPR przy czterech średnicach cząstek

Średnica ruchliwości elektrycznej cząstki, D_m	15 nm	30nm	50nm	100nm
Minimalna frakcja przenikania, $\eta_{\text{VPR}}(D_m)$	0,30	0,55	0,65	0,70

1.1.7 Skuteczność VPR do usuwania lotnych substancji (VRE) musi być taka, aby ponad 99,5% cząstek tetrakantanu ($\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{38}\text{CH}_3$, o czystości większej niż 95%) o stężeniu na wlocie wynoszącym co najmniej 10000 cząstek / cm^3 o średnicy ruchliwości elektrycznej 30 nm są usuwane. Skuteczność VRE należy zademonstrować, gdy VPR pracuje przy minimalnym rozcieńczeniu i temperaturze roboczej zalecanej przez producenta.

1.1.8 Jeżeli w VPR stosuje się katalityczny środek do usuwania powłok, rozcieńczalnik powinien zawierać co najmniej 10% O_2 .

1.2 Interfejs VPR do CPC

Rurka łącząca wylot VPR z wlotem CPC musi spełniać następujące wymagania:

- a) Materiał powinien przewodzić prąd elektryczny.
- b) Rurka ma średnicę wewnętrzną większą lub równą 4 mm.
- c) Próbką będzie przebywać w rurce przez czas krótszy lub równy 0,8 sekundzie.

1.3 Specyfikacje CPC

1.3.1 Każda marka i model CPC musi otrzymać certyfikat od producenta przyrządu lub innego kompetentnego laboratorium testującego i kalibracyjnego potwierdzający, że spełnia podane poniżej specyfikacje wydajności.

1.3.2 Dozwolona jest funkcja poprawki koincydencji do maksymalnie 10% poprawki. Funkcja poprawki koincydencji nie wykorzystuje żadnego algorytmu do korygowania lub definiowania wydajności liczenia.

1.3.3 Liczenie cząstek powinno spełniać następujące wymagania:

- a) Tryb liczenia będzie liczeniem pojedynczym. Użycie CPC w trybie fotometrycznym jest niedozwolone. Zatem, aby zapewnić tryb zliczania pojedynczego, DF należy w razie potrzeby zwiększyć.
- b) Dokładność zliczania powinna wynosić $\pm 10\%$ od 2000 cząstek/cm³ do górnego progu trybu zliczania pojedynczych cząstek w odniesieniu do identyfikowalnej normy (ISO 27891).
- c) Sprawność zliczania musi być większa lub równa 50% przy średnicy ruchliwości elektrycznej 10 nm i większej lub równej 90% przy średnicy ruchliwości elektrycznej 15 nm.
- d) Skuteczność zliczania należy ustalić za pomocą oleju Emery w aerozolu.

1.3.4 Szybkość gromadzenia danych musi być większa lub równa 1,0 Hz przy minimalnej przerwie 30 sekund po ustabilizowaniu silnika.

1.3.5 Stężenie liczbowe cząstek stałych należy podać jako cząstki/cm³ w warunkach STP. Jeżeli podana wartość nie odpowiada warunkom STP, bezwzględne ciśnienie wlotowe CPC mierzy się z dokładnością lepszą niż 2%, tak aby stężenie liczbowe można było skorygować do warunków STP, zgodnie z wytycznymi producenta.

1.3.6 Rozdzielczość powinna być lepsza niż 0,1 cząsteczek/cm³ przy stężeniach poniżej 100 cząstek/cm³.

1.3.7 Czas narastania powinien być krótszy niż 4 sekundy.

1.3.8 Przepływ próbki musi być przepływem pełnym. Nie jest dozwolony żaden wewnętrzny podział przepływu.

1.3.9 Płynem roboczym jest n-butanol.

1.3.10 Odpowiedź jest liniowa.

1.4 Wymagania systemu

T_{90} od wlotu VPR do CPC jest równe lub mniejsze niż 10 sekund.

2. KALIBRACJA

2.1 VPR

Zalecenie. – *Przed każdą kalibracją VPR, VPR powinien być sprawdzony w stanie „rzeczywistym (stwierdzonym)” przy pojedynczym ustawieniu DF_2 , typowym dla tego używanego do pomiarów w silnikach turbinowych statków powietrznych. Walidacja powinna obejmować współczynnik rozcieńczenia VPR przy wybranym ustawieniu DF_2 , określenie frakcji przenikania i VRE.*

2.1.1 Kalibracja DF_2 musi spełniać następujące wymagania:

- a) DF_2 kalibruje się przy każdym ustawieniu rozcieńczenia VPR zgodnie z definicją producenta VPR.
- b) **Zalecenie.** – *Kalibracja DF_2 powinna być wykonana przez kompetentne laboratorium przy użyciu gazów śladowych, takich jak CO_2 , lub pomiarów przepływu.*

2.1.2 Kalibracja frakcji przenikania cząstek stałych VPR musi spełniać następujące wymagania:

- a) Frakcje przenikania cząstek VPR mierzy się w $350^\circ C$ z cząstkami stałymi o średnicach ruchliwości elektrycznej 15 nm, 30 nm, 50 nm i 100 nm dla każdego ustawienia rozcieńczenia VPR. Do VPR należy dostarczyć co najmniej 5000 cząstek/ cm^3 w czterech rozmiarach. Jeśli do wytwarzania cząstek wykorzystywana jest sadza, urządzenie do termicznej obróbki wstępnej podgrzane do $350^\circ C$ może być potrzebne, aby dostarczyć do VPR tylko nvPM.
- b) Stężenia cząstek należy mierzyć przed i za VPR za pomocą CPC, który ma co najmniej 90% skuteczność zliczania cząstek o średnicy ruchliwości elektrycznej większej lub równej 15 nm.
- c) Stosunek przenikania VPR określa się w następujący sposób:

$$\eta_{VPR}(D_m) = \frac{DF_2 \times N_{out}(D_m)}{N_{in}(D_m)}$$

gdzie

$N_{in}(D_m)$ oznacza stężenie liczbowe cząstek stałych przed licznikiem dla cząstek D_m ; i

$N_{in}(D_m)$ oznacza stężenie liczbowe cząstek stałych za licznikiem dla cząstek D_m ; i

- d) $N_{in}(D_m)$ i $N_{out}(D_m)$ odnoszą się do tych samych warunków T i P.
- e) **Zalecenie.** – *VPR należy kalibrować jako kompletną jednostkę.*

2.1.3 VPR VRE

- a) VRE określa się za pomocą CPC, który ma co najmniej 90% skuteczność zliczania dla cząstek o średnicy ruchliwości elektrycznej większej lub równej 15 nm, zgodnie z następującym wzorem:

$$VRE(D_{30}) = 100 \times \left[1 - \frac{DF_2 \times N_{out}(D_{30})}{N_{in}(D_{30})} \right]$$

gdzie

VRE (D_{30}) to VRE dla cząstek D_{30} ;

$N_{in}(D_{30})$ oznacza stężenie liczbowe cząstek stałych przed licznikiem dla cząstek D_{30} ;

$N_{in}(D_{30})$ oznacza stężenie liczbowe cząstek stałych za licznikiem dla cząstek D_{30} ; i

D_{30} to średnica ruchliwości elektrycznej cząstki.

- b) $N_{in}(D_{30})$ i $N_{out}(D_{30})$ odnoszą się do tych samych warunków T i P.

2.2 Kalibracja CPC

2.2.1 Kalibracja CPC musi być zgodna ze standardową metodą kalibracji (ISO 27891): poprzez porównanie odpowiedzi kalibrowanego CPC z reakcją skalibrowanego elektrometru aerozolowego przy jednoczesnym próbkowaniu kalibracyjnych cząstek stałych sklasyfikowanych elektrostatycznie.

2.2.2 **Zalecenie.** – *Przed każdą kalibracją CPC CPC powinien być sprawdzony w stanie „rzeczywistym (stwierdzonym)”*.

2.2.3 Kalibrację i walidację należy przeprowadzić przy użyciu procedur opisanych poniżej:

- a) Skuteczność wykrywania CPC kalibruje się przy użyciu cząstek o średnicy ruchliwości elektrycznej 10 nm i 15 nm. CPC musi mieć skuteczność zliczania większą lub równą 50% przy 10 nm i większą lub równą 90% przy 15 nm.
- b) Aerosol kalibracyjny to olej Emery.

UZUPEŁNIENIE D DO DODATKU 7. SPECYFIKACJE DLA DODATKOWYCH DANYCH

Zgodnie z wymaganiami 3.2 dodatku 7, należy dane podać w tabelach A7-7 i A7-8.

Tabela A7-7 Wymagania środowiskowe nvPM

<i>Wymagana dane</i>	<i>Jednostka</i>
Stężenie masy nvPM w otoczeniu ($\text{nvPM}_{\text{mass STP}}$)	$\mu\text{g}/\text{m}^3$
Stężenie liczby nvPM w otoczeniu ($\text{DF}_2 \times \text{nvPM}_{\text{num STP}}$)	cząsteczki/ cm^3

Tabela A7-8 Wymagania dotyczące systemu pobierania próbek nvPM i parametrów pomiarowych

<i>Parametr</i>	<i>Jednostka</i>
Temperatura na wlocie sondy ($T_{\text{engine_exit}}$) (Równoważne z przewidywaną temperaturą spalin na wylocie z silnika E_{DT} uzyskaną w oparciu o wydajność)	$^{\circ}\text{C}$
Zmierzona temperatura na wlocie rozcieńczalnika 1 (T_1)	$^{\circ}\text{C}$
Indywidualne natężenia przepływu (Zmierzona sekcja 3 i sekcja 4; ocena praktyczna sekcja 1, sekcja 2)	slpm
Indywidualne średnice wewnętrzne rurki dla sekcji 1 do 4	mm
Indywidualne długości dla sekcji 1 do 4	m
Indywidualne temperatury ścianek rurki dla sekcji 1 do 4	$^{\circ}\text{C}$
Całkowity kąt zagięcia przewodu zasysającego w sekcji 1	stopnie
Separator cyklonowy punkt cięcia D_{50} (specyfikacja producenta)	nm
Ostrość separatora cyklonowego (specyfikacja producenta)	ułamek dziesiętny
Cztery wartości przenikania Rozcieńczalnika 1 (Uzupełnienie A, Tabela A7-2)	ułamek dziesiętny
Cztery wartości przenikania kalibracji VPR (Uzupełnienie C, tabela A7-6)	ułamek dziesiętny
Dwa efektywne liczenia kalibracja CPC	ułamek dziesiętny
Współczynnik rozcieńczenia pierwszego stopnia, DF_1	
Współczynnik rozcieńczenia drugiego stopnia (VPR), DF_2	
Stężenie masy cząstek skorygowane o DF_1 : $\text{DF}_1 \times \text{nvPM}_{\text{mass STP}}$	$\mu\text{g}/\text{m}^3$
Stężenie liczby cząstek skorygowane o DF_1 i DF_2 : $\text{DF}_1 \times \text{DF}_2 \times \text{nvPM}_{\text{num STP}}$	cząsteczki/ cm^3

UZUPEŁNIENIE E DO DODATKU 7. PROCEDURY DZIAŁANIA SYSTEMU

1. KONTROLA SZCZELNOŚCI PRZEWODU GAZOWEGO I CZĘŚCI ODBIORCZEJ

1.1 Procedura sprawdzania szczelności

Przed serią prób silnika, należy sprawdzić pod kątem wycieków część odbierającą i GL, stosując następującą procedurę:

- a) Oddziel GL od części pomiarowej nvPM za pomocą zaworu odcinającego 1, zaworu regulującego ciśnienie P_1 i opcjonalnego zaworu odcinającego, jeśli jest zainstalowany.
- b) Oddziel sondę i analizatory.
- c) Podłącz i uruchom pompę próżniową, aby sprawdzić natężenie przepływu wycieku.
- d) Pompa próżniowa powinna charakteryzować się próżnią bez przepływu wynoszącą -75 kPa w odniesieniu do ciśnienia atmosferycznego; jego pełne natężenie przepływu nie może być mniejsze niż 26 l / min przy standardowej temperaturze i ciśnieniu.

1.2 Wymóg sprawdzenia szczelności

Natężenie przepływu wycieku powinno być mniejsze niż $0,4$ slpm.

2. KONTROLA CZYSTOŚCI PRZEWODU GAZOWEGO I CZĘŚCI ODBIORCZEJ

Ta próba jest wykonywana jest tylko w przypadku korzystania z metody pomiaru całkowitego gazu nvPM EI.

2.1 Procedura sprawdzania czystości

Część odbiorcza i GL należy sprawdzić pod kątem czystości, stosując następującą procedurę:

- a) Oddziel GL od części pomiarowej nvPM za pomocą zaworu odcinającego 1 i zaworu regulującego ciśnienie P_1 .
- b) Oddziel GL od sondy i podłącz ten koniec przewodu próbkowania do źródła gazu zerowego.
- c) Rozgrzej system do temperatury roboczej potrzebnej do wykonania pomiarów HC.
- d) Uruchom pompę przepływu próbki i ustaw natężenie przepływu na takie, jakie zastosowano podczas prób emisji silnika.
- e) Zapisz odczyt analizatora HC.

2.2 Wymóg sprawdzenia czystości

2.2.1 Odczyt HC nie może przekraczać 1% poziomu emisji na biegu jałowym silnika lub 1 ppm (obie wartości wyrażone jako węgiel), w zależności od tego, która z tych wartości jest większa.

2.2.2 **Zalecenie.** – Zaleca się monitorowanie jakości powietrza wlotowego na początku i na końcu próby silnika oraz co najmniej raz na godzinę podczas próby. Jeśli poziomy HC są uważane za znaczące, należy je wziąć pod uwagę.

3. KONTROLA CZYSTOŚCI/SZCZELNOŚCI CZĘŚCI PRZESYŁOWEJ

Uwaga 1. – Sprawdzenie czystości może zakończyć się niepowodzeniem z powodu zanieczyszczonych elementów części przenoszącej lub nieszczelności części przenoszącej i / lub pomiarowej.

Uwaga 2. – Wyciek z systemu spowoduje wciągnięcie cząstek powietrza z otoczenia do systemu.

3.1 Procedura sprawdzania czystości/ szczelności

3.1.1 Przed serią badań silnika część przenoszącą należy sprawdzić pod kątem czystości i szczelności, stosując następującą procedurę:

- a) Przepuść przefiltrowany rozcieńczalnik przez rozcieńczalnik 1 przy zamkniętym zaworze odcinającym 1.
- b) Natężenia przepływu w każdej ścieżce rozdzielacza 2 muszą być równe natężeniom przepływu stosowanym podczas prób silnika.
- c) Ustaw DF₂ na najniższe ustawienie VPR.

3.1.2 Gdy mierzona masa i stężenie nvPM są stabilne, zapisywać dane przez co najmniej 30 sekund.

Uwaga. – Schemat przepływu dla sprawdzenia czystości części przenoszącej pokazano na rysunku A7-4.

DODATEK 8. OPRZYRZĄDOWANIE I TECHNIKI POMIAROWE DLA EMISJE NIELOTNYCH CZĄSTEK STAŁYCH

Uwaga 1. – Procedury określone w tym dodatku dotyczą wyznaczania próbkowania nielotnych cząstek stałych (nvPM) i współczynników poprawki strat w układzie pomiarowym, z wyłączeniem strat termoforetycznych części odbierającej, które uwzględnione są w dodatku 7 w raportowaniu danych.

Uwaga 2. – Wdrożenie systemu pobierania próbek i pomiaru nvPM wymaga długiego, do 35 m, przewodu do pobierania próbek i obejmuje kilka elementów systemu pobierania próbek i pomiaru, co może powodować znaczną utratę cząstek rzędu 50% w przypadku masy nvPM i 90% procent dla numeru nvPM. Straty cząstek są zależne od wielkości, a zatem zależą od warunków pracy silnika, technologii spalania i ewentualnie innych czynników. Procedury określone w tym załączniku pozwalają na oszacowanie strat cząstek.

Uwaga 3. – Metoda opisana w tym dodatku wykorzystuje dane i pomiary określone w dodatku 7 i uzupełnieniach do dodatku 7. Symbole i definicje, które nie zostały zdefiniowane w tym dodatku, są zdefiniowane w dodatku 7 i uzupełnieniach.

1. POSTANOWIENIA OGÓLNE

1.1 W systemie pobierania próbek i pomiaru nvPM cząstki są tracone do ścian systemu próbkowania przez mechanizmy osadzania. Straty te są zarówno zależne od wielkości, jak i niezależne. Utrata termoforetyczna części odbierającej niezależna od wielkości określona jest w dodatku 7, 6.2.1.

1.2 Całkowita utrata cząstek w systemie pobierania próbek i pomiaru w technologii nvPM, z wyłączeniem utraty termoforetycznej części odbieranej, jest określana jako utrata systemu.

1.3 Należy wziąć pod uwagę rozkład wielkości nvPM, ponieważ mechanizmy utraty cząstek są zależne od wielkości cząstek. Te straty zależne od rozmiaru cząstek są określane ilościowo w kategoriach frakcji cząstek o danej wielkości, które przenikają przez układ pobierania próbek i pomiaru.

2. DEFINICJE, SKRÓTY I SYMBOLE

2.1 Definicje

W przypadku użycia następujących wyrażen w tym dodatku, mają one znaczenie przypisane im poniżej:

Aerodynamiczna średnica cząstki. Średnica równoważnej kuli o jednostkowej gęstości (1g/cm^3) z taką samą prędkością osiadania jak przedmiotowa cząstka, określana również jako „średnica aerodynamiczna”.

Właściwe laboratorium. Laboratorium testujące i kalibracyjne, które ustanawia, wdraża i utrzymuje system jakości odpowiedni do zakresu swojej działalności, zgodnie z normą Międzynarodowej Organizacji Normalizacyjnej ISO / IEC 17025: 2005, z okresowymi zmianami, lub równoważną normą oraz którego program kalibracji wyposażenia jest zaprojektowany i obsługiwany w taki sposób, aby zapewnić, że kalibracje i pomiary wykonane przez laboratorium są zgodne z Międzynarodowym Układem Jednostek (SI). Formalna akredytacja laboratorium zgodnie z ISO / IEC 17025: 2005 nie jest wymagana.

Separator cyklonowy. Oddzielanie cząstek większych niż zalecana średnica aerodynamiczna za pomocą środków obrotowych i grawitacyjnych. Określona średnica aerodynamiczna punktu odcięcia jest związana z procentem cząstek, które przenikają przez separator cyklonowy.

Średnica ruchliwości cząstki elektrycznej. Średnica kuli, która porusza się z dokładnie taką samą ruchliwością w polu elektrycznym jak dana cząstka.

Nielotne cząstki stałe (nvPM). Emitowane cząsteczki, które występują na płaszczyźnie wylotowej dyszy wydechowej silnika turbogazowego, które nie ulatniają się po podgrzaniu do temperatury 350°C.

Utrata cząstek. Utrata cząstek podczas transportu przez komponent systemu do pobierania próbek lub pomiarowego lub z powodu działania przyrządu. Utrata w systemie pobierania próbek i pomiaru jest spowodowana różnymi mechanizmami osadzania, z których niektóre są zależne od wielkości cząstek.

Stężenie masy cząstek. Masa cząstek na jednostkę objętości próbki.

Wskaźnik emisji masy cząstek. Masa emitowanych cząstek stałych na jednostkę masy zużytego paliwa.

Stężenie liczby cząstek stałych. Liczba cząstek na jednostkę objętości próbki.

Wskaźnik emisji liczby cząstek stałych. Liczba cząstek emitowanych na jednostkę masy zużytego paliwa.

Rozkład wielkości cząstek. Lista wartości lub funkcja matematyczna, która przedstawia stężenie liczby cząstek według wielkości.

Frakcja przenikania. Stosunek stężenia cząstek stałych za i przed elementem układu pobierania próbek.

2.2 Skróty

CPC	Licznik cząstek kondensacji
EENEP	Płaszczyzna wylotu dyszy wydechowej silnika
nvPMmi	Przyrząd do pomiaru masy nielotnych cząstek stałych
nvPMni	Przyrząd do pomiaru liczby nielotnych cząstek stałych
nvPM	Nielotne cząstki stałe (patrz definicja)
slpm	Standardowe litry na minutę (litry na minutę przy STP)
STP	Stan przyrządu przy standardowej temperaturze 0°C i ciśnieniu 101,325 kPa
VPR	Środek do usuwania lotnych cząstek

2.3 Symbole

C_c	$1 + \frac{2\lambda}{D_m} \times (1.165 + 0.483 \times e^{-\frac{0.997D_m}{2\lambda}})$, bezwymiarowy współczynnik poprawki poślizgu Cunninghama
D	$\frac{k_B \times (273.15 + T_1) \times C_c}{3 \times \pi \times \mu \times D_m \times 10^{-4}} \times 10^7$, współczynnik dyfuzji cząstek, cm^2 / s
DF_1	Współczynnik rozcieńczenia pierwszego stopnia
D_m	Średnica cząstek nvPM, odnosi się do średnicy ruchliwości elektrycznej, z wyjątkiem separatora cyklonowego, w którym średnica cząstek jest średnicą aerodynamiczną, nm
D_{mg}	Średnia geometryczna średnicy rozkładu wielkości nvPM, nm
δ	Suma kwadratu względnych różnic między zmierzonymi i obliczonymi stężeniami nvPM i liczbami skorygowanymi o rozcieńczenie
EI_{mass}	Wskaźnik emisji masy nvPM skorygowany o straty termoforetyczne i skład paliwa, w miligramach/kg paliwa
EI_{num}	Wskaźnik emisji liczby nvPM skorygowany o straty termoforetyczne i skład paliwa, w liczbie/kg paliwa
$F_{lgm}(D_m)$	Funkcja rozkładu logarytmiczno-normalnego z parametrami geometrycznego odchylenia standardowego, σ_g i średniej geometrycznej średnicy, D_{mg}
$F_N(D_m)$	Funkcja rozkładu logarytmiczno-normalnego liczby cząstek stałych EENEP
ID_{ti}	Średnica wewnętrzna n-tego odcinka przewodu próbkowania, mm
k_B	$1,3806 \times 10^{-16}$, stała Boltzmana, $(\text{g} \times \text{cm}^2) / (\text{s}^2 \times \text{K})$
K_{SL_mass}	Współczynnik korygujący EI_{mass} dla strat w systemie bez poprawki na straty termoforetyczne elementu odbiorczego
K_{SL_num}	Współczynnik korygujący EI_{num} dla strat w systemie bez poprawki na straty termoforetyczne elementu odbiorczego
λ	$67.3 \times \left(\frac{273.15 + T_1}{296.15}\right)^2 \times \left(\frac{101.325}{P_1}\right) \times \left(\frac{406.55}{T_1 + 383.55}\right)$, średnia swobodna droga gazu nośnego, nm
μ	Lepkość gazu nośnego, $\text{g} / \text{cm} \times \text{s}$
$nvPM_{num_EP}$	Szacowane stężenie liczby nvPM na płaszczyźnie wylotu spalin z silnika nie skorygowane o straty termoforetyczne w części odbiorczej
$nvPM_{mass_STP}$	Stężenie rozcieńczonej masy nvPM w warunkach urządzenia STP, mikrogramy/ m^3
$nvPM_{num_STP}$	Stężenie rozcieńczonej liczby nvPM w warunkach urządzenia STP, mikrogramy/ m^3
$\eta_{mass}(D_m)$	Całkowita frakcja przenikania systemu pobierania próbek i pomiaru dla nvPMmi bez strat termoforetycznych w części odbiorczej przy ruchliwości elektrycznej cząsteczki o wielkości D_m

$\eta_{mm}(D_m)$	Całkowita frakcja przenikania systemu pobierania próbek i pomiaru dla nvPMmi bez strat termoforetycznych w części odbiorczej przy ruchliwości elektrycznej cząsteczki o wielkości D_m
$\eta_i(D_m)$	Frakcja przenikania dla n-tego składnika układu do pobierania próbek i pomiaru przy ruchliwości elektrycznej cząsteczki o wielkości D_m
$\eta_{bi}(D_m)$	Frakcja przenikania łuku przewodu dla n-tego składnika układu do pobierania próbek i pomiaru przy ruchliwości elektrycznej cząsteczki o wielkości D_m
P_i	Ciśnienie gazu nośnego w n-tym odcinku przewodu do pobierania próbek, kPa
ρ	Zakładana gęstość efektywna nvPM, g/cm ³
ρ_{gas}	$\frac{29 \times P_i}{8814 \times (273.15 + T_i)}$, gęstość gazu nośnego, g/cm ³
σ_g	Zakładane geometryczne odchylenie standardowe rozkładu logarytmiczno-normalnego
Q_i	Przepływ gazu nośnego w n-tym segmencie przewodu do pobierania próbek, slpm
Re	$\frac{2 \times \rho_{gas} \times Q_i}{3 \times \pi \times \mu \times ID_{H^*}}$, gaz nośny wg numeru Reynoldsa
$R_{MN}(D_m)$	Obliczony stosunek oszacowanego stężenia masy nvPM do oszacowanego stężenia liczby nvPM
T_i	Temperatura gazu nośnego w n-tym odcinku przewodu do pobierania próbek, ° C

3. Wymagane dane

3.1 Emisje nvPM

W celu obliczenia współczynników poprawek strat systemowych potrzebne są następujące stężenia, jak określono w dodatku 7:

- a) stężenie masy nvPM: $nvPM_{mass_STP}$;
- b) stężenie numeru nvPM: $nvPM_{num_STP}$.

3.2 Inne informacje

Do wykonania obliczeń wymagane są dodatkowe informacje wymienione w uzupełnieniu D do dodatku 7.

4. METODYKA I PROCEDURA OBLICZENIOWA KORYGUJĄCA STRATY W SYSTEMIE nvPM.

4.1 Omówienie

Uwaga. – Ogólny schemat metodologii szacowania współczynników poprawek strat w systemie jest pokazany na rysunku A8-1.

4.1.1 Współczynniki poprawek strat systemowych szacuje się na podstawie następujących założeń: EENEP nvPM jest reprezentowane przez stałą wartość efektywnej gęstości nvPM, rozkład logarytmiczno-normalny, stałą wartość geometrycznego odchylenia standardowego, brak koagulacji, ograniczającej masę i liczbę stężenia nvPM jako opisano w sekcji ograniczeń metody obliczeniowej oraz minimalną sumaryczną wartości odcięcia wielkości cząstki wynoszącej 10 nm.

4.1.1.1 Stosowana metodologia poprawek strat w systemie powinna wykorzystywać efektywną gęstość cząstek $1\text{g}/\text{cm}^3$.

4.1.1.2 W stosowanej metodologii poprawek strat w systemie należy zastosować monomodalny rozkład logarytmiczno-normalny ze standardowym odchyleniem geometrycznym 1,8.

4.1.1.3 Stosowana metodologia poprawek strat w systemie nie uwzględnia zmniejszenia stężenia liczby nvPM w wyniku koagulacji.

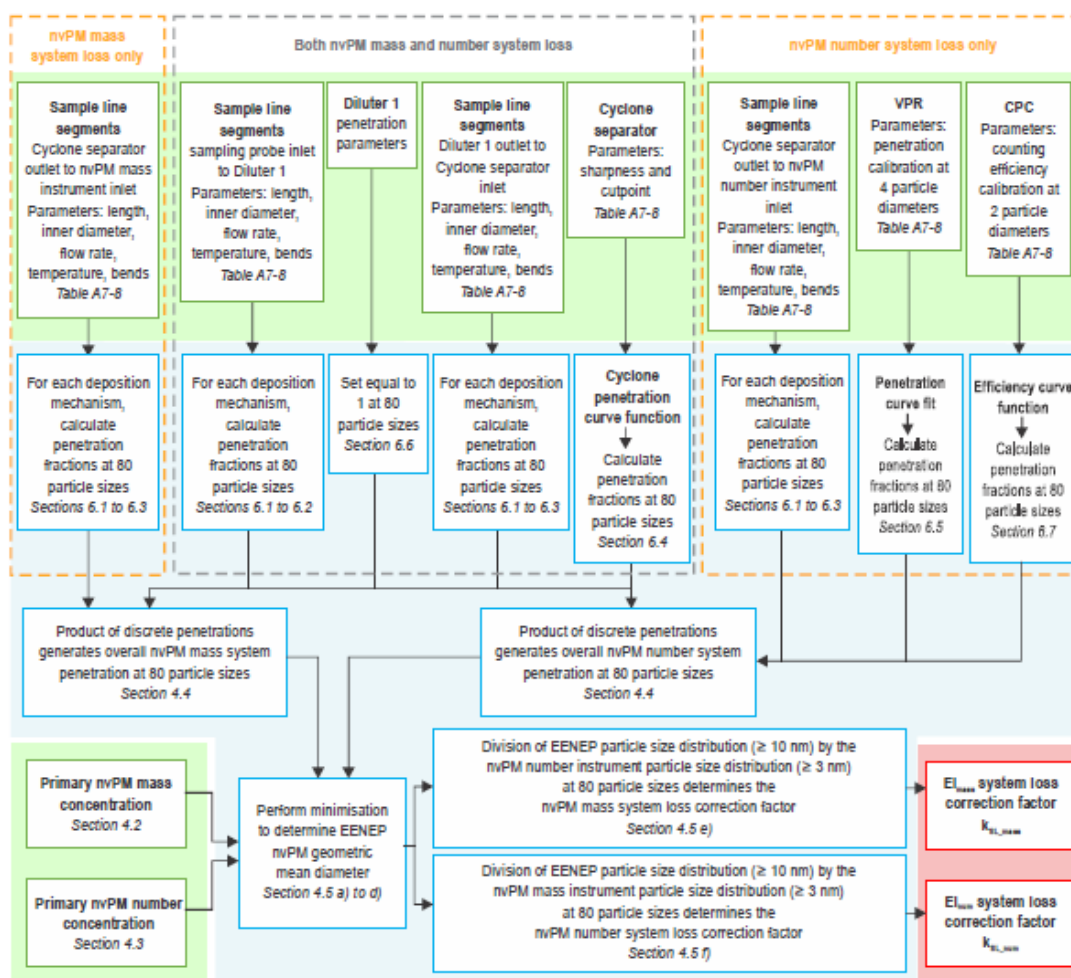
4.1.1.4 Jeżeli stężenie EENEP liczby nvPM obliczone stosując:

$$k_{SL_num} \times k_{thermo} \times DF_1 \times DF_2 \times nvPM_{num_STP}$$

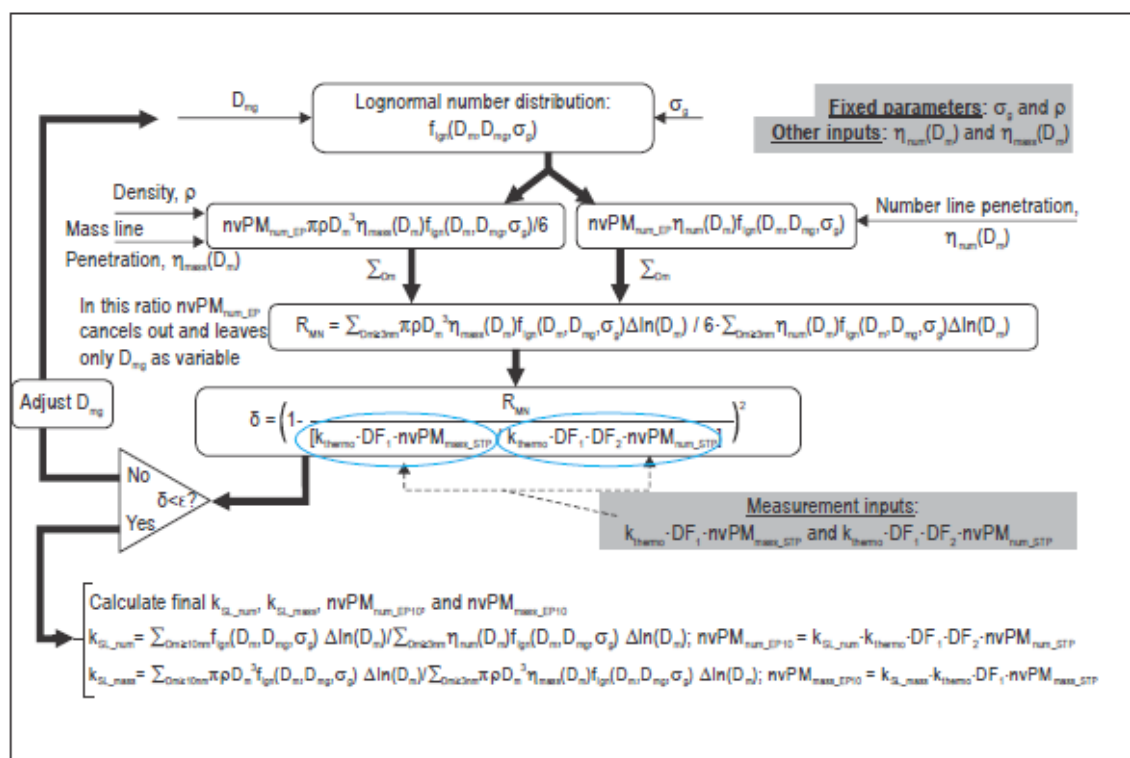
jest większe niż 10^8 cząsteczek/ cm^3 , może wystąpić koagulacja, i należy to zgłosić władzy certyfikującej.

Uwaga 1. – Stosowana metodologia poprawek strat w systemie nie uwzględnia przenikania. Nie jest to uważane za istotne dla systemów pomiarowych nvPM zgodnych z Dodatkiem 7.

Uwaga 2. – Ilustracja iteratywnej procedury obliczeniowej jest pokazana na rysunku A8-2.



Rysunek A8-1. Schemat blokowy metodyki dla poprawek strat w systemie nvPM. Zielone bloki pokazują parametry wejściowe modelu, niebieskie pokazują obliczenia modelu, a czerwone z konturem pokazują obliczeniowe współczynniki poprawek strat w systemie na wyjściu.



Rysunek A8-2. Schemat iteratywnej procedury obliczeniowej do wyznaczania współczynników poprawek strat w systemie

4.2 Stężenie masy pierwotnej nvPM

Pierwotne stężenie masy nvPM ($nvPM_{mass}$) oblicza się za pomocą następującego równania zdefiniowanego w dodatku 7:

$$nvPM_{mass} = k_{thermo} \times DF_1 \times nvPM_{mass_STP}$$

4.3 Stężenie liczby pierwotnej nvPM

Pierwotne stężenie liczby nvPM ($nvPM_{num}$) reprezentuje liczbę cząstek stałych na jednostkę objętości próbki spalin silnika, skorygowaną o współczynnik rozcieńczenia pierwszego stopnia (DF_1) i współczynnik rozcieńczenia drugiego stopnia (DF_2) oraz utratę termoforetyczną cząstek stałych. Oblicza się go za pomocą następującego równania:

$$nvPM_{num} = k_{thermo} \times DF_1 \times DF_2 \times nvPM_{num_STP}$$

4.4 Funkcje przenikania nvPM

- 4.4.1 Frakcja przenikania systemu pobierania próbek jest iloczynem funkcji indywidualnego przenikania i funkcji wydajności zliczania. Tabela A8-1 zawiera wymagane funkcje przenikania nvPM i zliczania wydajności i należy ją obliczyć przy użyciu procedur opisanych w sekcji 6.

4.4.2 Przenikanie układu próbkowania dla nvPMmi dla cząstki o średnicy D_m wynosi:

$$\eta_{\text{mass}}(D_m) = \eta_1 \times \eta_{b1} \times \eta_2 \times \eta_{b2} \times \eta_a \times \eta_{ba} \times \dots \times \eta_{\text{dil}} \times \eta_{\text{cyc}}$$

4.4.3 Przenikanie układu próbkowania dla nvPMni dla cząstki o średnicy D_m wynosi:

$$\eta_{\text{num}}(D_m) = \eta_1 \times \eta_{b1} \times \eta_2 \times \eta_{b2} \times \eta_a \times \eta_{ba} \times \dots \times \eta_{\text{dil}} \times \eta_{\text{cyc}} \times \eta_{\text{VPR}} \times \eta_{\text{CPC}}$$

4.4.4 Niezależne od rozmiaru przenikanie termoforetyczna układu próbkowania masy i liczby nvPM wynosi:

$$\eta_{\text{thermo}} = \eta_{\text{th1}} \times \eta_{\text{th2}} \times \eta_{\text{tha}} \times \dots$$

Uwaga. – Utrata termoforetyczna części odbiorczej, k_{thermo} , jest określona w Dodatku 7, 6.2.1 i nie jest objęta niniejszym obliczeniem.

Tabela A8-1. Wymagane frakcje przenikania składnika systemu pobierania próbek i pomiaru nvPM

Symbol	Opis funkcji transportu cząstek w systemie pobierania próbek i pomiaru nvPM
$\eta_i(D_m)$	Frakcja przenikania dyfuzyjnego dla n-tego składnika układu do pobierania próbek
$\eta_{bi}(\Theta_i)$	Frakcja przenikania spowodowana zgięciami w n-tym segmencie układu próbkowania
η_{thi}	Frakcja przenikania w wyniku termoforezy w n-tym segmencie układu próbkowania
$\eta_{\text{dil}}(D_m)$	Frakcja przenikania rozcieńczalnika 1
$\eta_{\text{cyc}}(D_m)$	Frakcja przenikania separatora cyklonowego
$\eta_{\text{VPR}}(D_m)$	Frakcja przenikania VPR
$\eta_{\text{CPC}}(D_m)$	Efektywność zliczania CPC

4.5 Obliczanie współczynników poprawek strat w systemie

Współczynniki poprawek strat systemu dla masy nvPM ($k_{\text{SL_mass}}$) i liczby nvPM ($k_{\text{SL_num}}$) oblicza się za pomocą procedury iteracyjnej:

- a) Oszacuj początkową wartość średniej geometrycznej średnicy za pomocą równania:

$$D_{\text{mg}} = \sqrt[3]{\frac{6 \times DF_1 \times \text{nvPM}_{\text{mass_STP}}}{\pi \times p \times DF_1 \times DF_2 \times \text{nvPM}_{\text{num_STP}}}} \times 10^3$$

Uwaga.— Średnia arytmetyczna średnicy obliczona za pomocą powyższego równania zapewnia początkową wartość średniej geometrycznej średnicy D_{mg} dla procedury iteracyjnej. Używając jednostek zdefiniowanych dla danych wejściowych, obliczona średnica cząstek będzie w nm.

- b) Korzystając z wartości D_{mg} z kroku a), oblicz szacunkowy stosunek masy nvPM do liczby nvPM, $R_{MN}(D_{mg})$, korzystając z równania:

$$R_{MN}(D_{mg}) = \frac{\sum_{D_m > 100nm} \eta_{mass}(D_m) \times \frac{1}{\sigma} e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{\ln(D_m) - \ln(D_{mg})}{\ln(\sigma)} \right)^2} \times \Delta \ln(D_m)}{\sum_{D_m > 100nm} \eta_{num}(D_m) \times e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{\ln(D_m) - \ln(D_{mg})}{\ln(\sigma)} \right)^2} \times \Delta \ln(D_m)}$$

gdzie funkcje wykładnicze pochodzą z funkcji rozkładu logarytmiczno-normalnego,

$$f_{ign}(D_m) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \ln(\sigma_g)} \times e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{\ln(D_m) - \ln(D_{mg})}{\ln(\sigma_g)} \right)^2}$$

$\Delta \ln(D_m) = \frac{1}{n} \times \frac{1}{\log_{10}(e)}$, jest szerokością pojemnika dla rozmiaru w podstawowym logarytmie naturalnym; e to liczba Eulera, a n to liczba pojemników dla rozmiaru cząstek na dekadę.

- c) Określić do kwadratu względną różnicę, δ , między zmierzonym i oszacowanym stosunkiem masy do liczby nvPM, stosując:

$$\delta = \left\{ 1 - \frac{R_{MN}(D_{mg}) \times 10^{-9}}{[(k_{thermo} \times DF_1 \times nvPM_{mass_STP}) / (k_{thermo} \times DF_1 \times DF_2 \times nvPM_{num_STP})]} \right\}^2$$

- d) Powtórz krok b) i c), zmieniając D_{mg} , aż δ zmniejszy się do mniej niż 1×10^{-9} . D_{mg} skojarzone z tą zminimalizowaną wartością δ należy wykorzystać do obliczenia współczynników poprawek strat w systemie.

- e) Oblicz współczynnik poprawek strat masy w układzie nvPM za pomocą równania:

$$k_{SL_mass} = \frac{\sum_{D_m > 100nm} D_m^3 \times e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{\ln(D_m) - \ln(D_{mg})}{\ln(\sigma)} \right)^2} \times \Delta \ln(D_m)}{\sum_{D_m > 100nm} \eta_{mass}(D_m) \times D_m^3 \times e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{\ln(D_m) - \ln(D_{mg})}{\ln(\sigma)} \right)^2} \times \Delta \ln(D_m)}$$

Mnożenie EI_{mass} przez k_{SL_mass} daje indeks emisji nvPM skorygowany o utratę w systemie.

- f) Oblicz współczynnik poprawek strat liczby w układzie nvPM, korzystając z równania:

$$k_{SL_num} = \frac{\sum_{D_m > 100nm} e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{\ln(D_m) - \ln(D_{mg})}{\ln(\sigma)} \right)^2} \times \Delta \ln(D_m)}{\sum_{D_m > 100nm} \eta_{num}(D_m) \times e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{\ln(D_m) - \ln(D_{mg})}{\ln(\sigma)} \right)^2} \times \Delta \ln(D_m)}$$

Mnożenie EI_{num} przez k_{SL_num} daje indeks emisji nvPM skorygowany o utratę w systemie.

- g) W obliczeniach należy zastosować co najmniej 80 odrębnych rozmiarów wielkości cząstek od 3 do 1 000 nm lub minimalną liczbę pojemników dla rozmiaru, które dadzą równoważne wyniki, zgodnie z ustaleniami władz certyfikujących.

Uwaga 1. – Dla 80 odrębnych rozmiarów, liczba pojemników dla rozmiaru na dekadę, n , wynosi 32 (patrz definicja $\Delta \ln (D_m)$ powyżej).

Uwaga 2. – Sumy służące do obliczenia współczynników poprawek strat w systemie rozpoczynają się od 10 nm w liczniku i 3 nm w mianowniku.

Uwaga 3. – Procedura obliczeniowa może być wdrożona przy użyciu komercyjnie dostępnego oprogramowania.

5. RAPORTOWANIE I OGRANICZENIA

Uwaga 1. – Wykazano, że metoda obliczania współczynnika poprawki strat w systemie opisana w dodatku 8, sekcja 4, daje akceptowalne wyniki w szerokim zakresie stężeń masy i liczby nvPM obserwowanych w emisjach nvPM silników turbinowych. Istnieją jednak zakresy stężeń masy i liczby nvPM, które zostały zidentyfikowane, w przypadku których dane wejściowe do analizy mogą nie być zgodne z metodą obliczeniową w celu uzyskania dobrych jakościowo wyników.

Uwaga 2. – Jakiegokolwiek odchylenia od założeń przyjętych w metodzie obliczeniowej, zgodnie z wymaganiami sekcji 4.1.1 niniejszego dodatku, mogą prowadzić do zmian współczynników poprawki strat w systemie. Podobnie, różnice w danych dostarczonych do metody obliczeniowej spowodują zmianę współczynników poprawki strat w systemie. Różnice w danych mogą wynikać z rozkładu wielkości cząstek, systemu pobierania próbek lub przyrządów. Ponadto artefakty systemu pobierania próbek i pomiarów, takie jak ewentualne osypywanie się ścian przy niskim stężeniu, mogą powodować nieprawidłowy współczynnik poprawki strat w systemie. Ograniczenia metody wynikają raczej z różnic w danych wejściowych niż z metody obliczeniowej.

5.1 Odpowiednie zakresy stężeń masy

Uwaga. – Jeżeli surowe stężenia masy nvPM przy nvPMmi (nieskorygowane o rozcieńczenie) są poniżej 3 mikrogramów/m³, należy ostrzec o stosowaniu tej metody do oszacowania współczynników poprawki strat w systemie z powodu możliwych niepewności związanych z określeniem stężenia masy nvPM przy tak niskich wartościach.

5.1.1 Jeżeli surowe stężenia masy nvPM przy nvPMmi (nieskorygowane o rozcieńczenie) są poniżej 3 mikrogramów/m³, wnioskujący potwierdzi, że przewidywane EENEP D_{mg} mieści się w odpowiednim zakresie w 5.3.

5.1.2 **Zalecenie.** – W przypadkach, w których obliczenia na podstawie niniejszego dodatku lub inne równoważne metody nie zapewniają rozsądnych wartości, jak podano w 5.3 (np. gdy metodologia strat w systemie oblicza średnią geometryczną EENEP mniejszą niż 7 nm lub większą niż 100 nm), lub gdy metodologia strat w systemie nie jest zbieżna, należy zastosować alternatywne sposoby szacowania współczynników poprawki strat w systemie dla trybów pracy LTO, pod warunkiem uzyskania zgody jednostki certyfikującej.

Uwaga. – Obecnie nie są znane żadne ograniczenia dotyczące wysokich stężeń masy nvPM, o ile zostanie sprawdzone, że odczyty stężenia masy nvPM mieszczą się w zakresie zastosowanych nvPMmi.

5.2 Odpowiednie zakresy stężeń liczby

5.2.1 Jeżeli stężenie liczby nvPM zmierzone w nvPMni, skorygowane o rozcieńczenie (zarówno DF_1 , jak i DF_2) i utratę termoforetyczną części odbiorczej okaże się mniejsze lub równe zmierzonemu stężeniu liczby ², wnioskujący potwierdzi, że przewidywana wartość EENEP D_g mieści się w mającym zastosowanie zakresie podanym w 5.3.

² Patrz Dodatek 7, Uzupełnienie E.

5.2.2 Zalecenia. – W przypadkach, w których obliczenia na podstawie niniejszego dodatku lub inne równoważne metody nie zapewniają rozsądnych wartości, jak podano w 5.3 (np. gdy metodologia strat w systemie oblicza średnią geometryczną EENEP mniejszą niż 7 nm lub większą niż 100 nm), lub gdy metodologia strat w systemie nie jest zbieżna, należy zastosować alternatywne sposoby szacowania współczynników poprawki strat w systemie dla trybów pracy LTO, pod warunkiem uzyskania zgody władzy certyfikującej.

Uwaga. – W przypadku nvPMni nie ma obecnie znanych ograniczeń dotyczących niskich stężeń liczby nvPM. Producenci CPC podają, że CPC LOD wynosi około 1 cząstki / cm³. Pomiary stężeń o dużej liczbie są ograniczone przez wymóg, aby CPC pozostawał w trybie zliczania pojedynczego. Jeśli stężenia EENEP liczby nvPM przekraczają 108 cząstek / cm³, może wystąpić koagulacja cząstek. Koagulacja nie jest uwzględniana w metodzie obliczania strat systemowych.

5.3 Mające zastosowanie przewidywane średnie geometryczne średnice

Uwaga. – Przewiduje się, że średnia geometryczna średnicy nvPM przy EENEP z turbin gazowych statków powietrznych będzie w zakresie od 7 do 100 nm.

5.3.1 Jeżeli metoda obliczania strat w systemie przewiduje średnią geometryczną średnicę EENEP, która jest mniejsza niż 7 nm lub większa niż 100 nm i/lub jeżeli metoda obliczania strat w systemie przewiduje średnią geometryczną średnicę EENEP, przy czym kryterium zbieżności nie jest spełnione (δ jest większe niż 1×10^{-9}), wyniki dla k_{SL_mass} i k_{SL_num} należy zweryfikować z władzami certyfikującymi.

5.3.2 Zalecenie. – W przypadkach, w których obliczenia na podstawie niniejszego dodatku lub inne równoważne metody nie zapewniają rozsądnych wartości (np. gdy metodologia strat w systemie oblicza średnią geometryczną EENEP mniejszą niż 7 nm lub większą niż 100 nm), lub gdy metodologia strat w systemie nie jest zbieżna, należy zastosować alternatywne sposoby szacowania współczynników poprawki strat w systemie dla trybów pracy LTO, pod warunkiem uzyskania zgody władzy certyfikującej.

Uwaga. – Obliczone średnie geometryczne średnic EENEP < 20 nm spowodują niedoszacowanie współczynników strat w systemie z powodu minimalnego sumarycznego odcięcia wielkości cząstek. Niedoszacowanie może być znaczące dla k_{SL_num} , gdy EENEP Dmg ≤ 10 nm.

6. PROCEDURA WYZNACZANIA FRAKCJI PRZENIKANIA POSZCZEGÓLNYCH ELEMENTÓW UKŁADU POBORU I POMIARU nvPM

Aby oszacować wydajność transportu nvPM dla cząstek o różnych rozmiarach, należy obliczyć frakcje przenikania dla każdego składnika systemu pobierania próbek i pomiaru nvPM, dla co najmniej 80 odrębnych rozmiarów cząstek lub minimalnej liczby odrębnych rozmiarów cząstek, które dadzą równoważny wynik, zgodnie z ustaleniami władz certyfikujących, w zakresie od 3 do 1 000 nm.

Uwaga 1. – Tam, gdzie oblicza się funkcje ciągłe w celu oszacowania frakcji przenikania, funkcje te nie mogą spaść poniżej zera.

Uwaga 2. – Parametry systemu pomiaru i pobierania próbek nvPM wymagane do wykonania obliczeń frakcji przenikania w niniejszym dodatku są zawarte w dodatku 7, uzupełnienie D.

6.1 Odcinkowe frakcje przenikania dyfuzyjnego

Wartości przenikania, η (D_m), dla strat dyfuzyjnych w odcinkach systemu pobierania próbek przy wielkości cząstek ruchliwości elektrycznej D_m oblicza się za pomocą wyrażenia:

$$\eta_i(D_m) = e^{-\frac{\pi \times ID_{ti} \times L_i \times V_{d,diff}}{Q_i}}$$

gdzie

L_i	długość n-tego odcinka linii próbkowania, m
$V_{d,diff}$	$0,0118 \times Re^{7,8} \times Sc^{1,5} \times D/ID_{ti}$, prędkość osadzania, cm/s
$Sc = \frac{\mu}{\rho_{gas} D} \times 10^3$	numer gazu nośnego, wg. Schmidta
ID_{ti}	wewnętrzna średnica n-tego odcinka przewodu próbkowania, mm
Q_i	przepływ gazu nośnego w n-tym odcinku przewodu próbkowania, slpm

6.2 Frakcje przenikania na łukach odcinków

Frakcje przenikania na łuku rozróżnia się dla przepływu turbulentnego, Re jest większe niż 5 000, i dla przepływu laminarnego, Re jest mniejsze lub równe 5 000, gdzie Re jest liczbą Reynoldsa. W przypadku przepływu laminarnego (włącznie z reżimem przejściowym) przenikanie spowodowane łukami w przewodach transportujących próbki dla każdego odcinka przy ruchliwości elektrycznej cząstek o wielkości D_m oblicza się jako:

$$\eta_{bi}(D_m) = 1 - 0.01745 \times Stk \times \Theta_{bi}$$

W przypadku przepływu turbulentnego, przenikanie spowodowane łukami w przewodach transportujących próbki oblicza się jako

$$\eta_{bi}(D_m) = e^{-0.04927 \times Stk \times \Theta_{bi}}$$

gdzie

$$Stk = \frac{Q_i \times C_p \times \rho \times D_m^2 \times 10^{-3}}{27 \times \pi \times \mu \times ID_{ti}^2}, \text{ bezwymiarowa liczba Stokesa}$$

Θ_{bi} całkowity kąt łuków n-tego odcinka przewodu próbkowania, stopnie

6.3 Odcinkowe straty termoforetyczne

Gradyenty termiczne występujące, ponieważ temperatury ścian przewodu próbkowania są niższe niż temperatury gazu, powodują dodatkowe osadzanie się cząstek, straty termoforetyczne, na powierzchni przewodu próbkowania. Straty termoforetyczne, z wyjątkiem tych w części odbiorczej, są obliczane według:

$$\eta_{thi} = \left[\frac{T_{linei} + 273.15}{T_{gasi} + 273.15} \right]^{Pr \times K_{th}} \times \left[1 + \left(\frac{T_{gasi} + 273.15}{T_{linei} + 273.15} - 1 \right) \times e^{-\frac{\pi \times ID_i \times h_{gas} \times L_i}{\rho_{gas} \times Q_i \times C_p}} \right]^{Pr \times K_{th}}$$

gdzie

T_{gasi}	temperatura próbki gazu w ° C
T_{linei}	temperatura ściany przewodu w ° C
h_{gas}	współczynnik konwekcyjnego przenikania ciepła gazu nośnego (W/(m ² K))

C_p	ciepło właściwe gazu nośnego o stałym ciśnieniu (J / (kg K))
Pr	liczba Prandtl'a

$$K_{th} = \frac{2 \times C_g \times C_c}{1 + 3 \times C_m \times K_n} \left[2 + \frac{1}{\left(\frac{k_{gas}}{k_p} \right) + C_t \times K_n} \right]^{-1}, \text{współczynnik termoferyczny}$$

C_s	1,17, współczynnik poślizgu
C_m	1,14, przepływ sadzy
C_t	2,18, współczynnik termiczny
K_{gas}	przewodność cieplna gazu nośnego ($Wm^{-1}K^{-1}$)
K_n	$2\lambda / D_m$, liczba Knudsena
k_p	$0,2 Wm^{-1}K^{-1}$, przewodnictwo cieplne cząstki

Uwaga. – Straty termoforetyczne części odbiorczej i VPR są uwzględniane, jak określono w Dodatku 7, 6.2.1 i 6.5 niniejszego załącznika. System zgodny ze specyfikacjami zawartymi w dodatku 7 wykorzystuje narzędzia i odcinki, które obecnie nie wymagają korekty ze względu na straty termoforetyczne, a zatem η_{th} będzie równe 1,0.

6.4 Funkcja przenikania separatora cyklonowego

Funkcję przenikania separatora cyklonowego szacuje się za pomocą następującego wyrażenia:

$$\eta_{cyc}(D_m) = 1 - \int_{x>0}^{D_m} \frac{e^{-\frac{(\ln x - \mu_{cyc})^2}{2\sigma_{cyc}^2}}}{x\sigma_{cyc}\sqrt{2\pi}} dx$$

gdzie

μ_{cyc}	$\ln(D_{50})$; i
σ_{cyc}	$\ln(D_{16}/D_{84})^{0,5}$

Uwaga 1. – Nowoczesne komputerowe arkusze kalkulacyjne mają skumulowany rozkład logarytmiczno-normalny wbudowany w bibliotekę funkcji, który może być użyty do wygenerowania funkcji przenikania separatora cyklonowego.

Uwaga 2. – Dla większości zastosowań silników turbogazowych D_m będzie mniejsze niż 300 nm. W takich przypadkach funkcja przenikania separatora cyklonowego będzie faktycznie równa 1,0.

6.5 Funkcja przenikania VPR

Uwaga. – Zamiast funkcji określonej na podstawie opisanej poniżej procedury obliczeniowej można zastosować płynną funkcję zapewnianą przez laboratorium kalibracyjne, która ma wyniki zgodności (R^2 większe niż 0,95) dla czterech punktów VPR przenikania kalibracji.

Straty cząstek w VPR są spowodowane zarówno dyfuzją, jak i termoforezą. Współczynnik termoforetyczny η_{PRth} jest stałą. Współczynnik dyfuzji η_{PRdi} jest określany na podstawie standardowych strat cząstek w wyniku dyfuzji w przepływie laminarnym. Całkowitą funkcję przenikania VPR szacuje się za pomocą wyrażenia:

$$\eta_{VPR} = \eta_{VPRth} \times \begin{cases} 1 - 5,5 \times \psi^2 + 3,77 \times \psi & \psi < 0,007 \\ 0,819 \times e^{-11,5\psi} + 0,0975 \times e^{-70,1\psi} + 0,0325 \times e^{-179\psi} & \psi > 0,007 \end{cases}$$

gdzie

$\Psi = \frac{D \times L_{VPR} \times 100}{Q_{VPR}}$	, parametr osadzania
L_{VPR}	efektywna długość VPR, m
Q_{VPR}	przepływ gazu nośnego w VPR, slpm
T_{VPR}	temperatura VPR, °C
η_{VPRth}	strata termoforetyczna VPR

Funkcję penetracji VPR (η_{VPR}) należy dopasować do czterech zmierzonych punktów przenikania, zmieniając efektywną długość VPR (L_{VPR}) i współczynnik strat termoforetycznych (η_{VPRth}). Dopasowanie oblicza się poprzez zminimalizowanie δ_{VPR} , względnej sumy kwadratów różnicy między zmierzonym przenikaniem VPR, $\eta_{VPRmeas}$ i obliczoną funkcją penetracji.

$$\delta_{VPR} = \sqrt{\sum_{D_m} \left(\frac{\eta_{VPRmeas}(D_m) - \eta_{VPR}(D_m)}{\eta_{VPRmeas}(D_m)} \right)^2}$$

Wykazano, że wartość δ_{VPR} mniejsza niż 0,08 zapewnia dobre dopasowanie do zmierzonych przenikań.

6.6 Funkcja przenikania rozpuszczalnika 1

Dla wszystkich wielkości cząstek należy stosować stałą przenikalność rozcieńczalnika 1, $\eta_{dil}(D_m) = 1$.

6.7 Skuteczność liczenia CPC

Stała funkcja skutecznego liczenia CPC zostanie określona przy użyciu dwóch sprawności zliczania CPC podanych z dwuparametrową funkcją sigmoidalną z użyciem wyrażenia:

$$\eta_{CPC} = 1 - e^{-\ln(2) \times \left[\frac{D_m - D_0}{D_{50} - D_0} \right]}$$

gdzie

$$D_0 = \frac{\alpha_{10} D_{15} - \alpha_{15} D_{10}}{\alpha_{10} - \alpha_{15}}$$

$$D_{50} = \frac{(\alpha_{15} + 1) D_{10} - (\alpha_{10} + 1) D_{15}}{\alpha_{15} - \alpha_{10}}$$

$$\alpha_i = \frac{\ln(1 - \eta_{CPC,i})}{\ln(2)}, i = 10 \text{ nm or } 15 \text{ nm}$$

$$D_{10} = 10 \text{ nm}$$

$$D_{15} = 15 \text{ nm}$$

$\eta_{CPC,10}$, skuteczność zliczania przy 10nm; i

$\eta_{CPC,15}$, skuteczność zliczania przy 10nm.

- KONIEC -