

Elżbieta Jankowska, Małgorzata Pośniak

AEROZOLE EMITOWANE W PROCESACH WYSOKOTEMPERATUROWYCH

Wytyczne do oceny narażenia zawodowego

Warszawa 2012

CIOP  PIB

Opracowano i wydano w ramach programu wieloletniego „Poprawa bezpieczeństwa i warunków pracy” (I, II etap) finansowanego w zakresie badań naukowych i prac rozwojowych ze środków Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego/Narodowego Centrum Badań i Rozwoju oraz zadań służb państwowych przez Ministerstwo Pracy i Polityki Społecznej.

Koordinator programu: Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy

Autorki

dr inż. Elżbieta Jankowska, dr Małgorzata Pośniak – Zakład Zagrożeń Chemicznych, Pyłowych i Biologicznych CIOP-PIB

Projekt okładki

Jolanta Maj

© Copyright by Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy,
Warszawa 2011

ISBN 978-83-7373-115-8

CIOP  **PIB**

Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy
ul. Czerniakowska 16, 00-701 Warszawa
tel. (22) 623 36 98, fax (22) 623 36 93, 623 36 95, www.ciop.pl

Spis treści

1.	Wprowadzenie	5
2.	Spaliny silników Diesla.....	5
3.	Dymy spawalnicze	8
4.	Ocena narażenia na cząstki stałe emitowane w procesach wysokotem- peraturowych – stan obecny.....	10
4.1.	Zasady pobierania próbek powietrza do oznaczania pyłu całkowi- tego i pyłu respirabilnego zawartego w aerozolach wysokotempe- raturowych	10
4.2.	Zalecenia dotyczące pobierania i oznaczania cząstek stałych emi- towanych podczas spalania oleju napędowego w silnikach Diesla i podczas spawania.....	13
4.3.	Ocena narażenia na cząstki stałe emitowane podczas spalania oleju napędowego w silnikach Diesla i podczas spawania	21
5.	Kompleksowa ocena narażenia na cząstki stałe emitowane w proce- sach wysokotemperaturowych (metoda filtracyjno-wagowa i metody zliczania)	22
5.1.	Określanie stężeń masowych frakcji cząstek – metoda filtracyjno- -wagowa	23
5.2.	Określanie stężeń i rozkładów wymiarowych cząstek – metody zliczania	26
6.	Przykładowe wyniki badań stężeń i rozkładów wymiarowych cząstek frakcji stałych emitowanych podczas spalania oleju napędowego w sil- nikach Diesla i podczas spawania	29
7.	Podsumowanie	37
8.	Bibliografia	38

1. Wprowadzenie

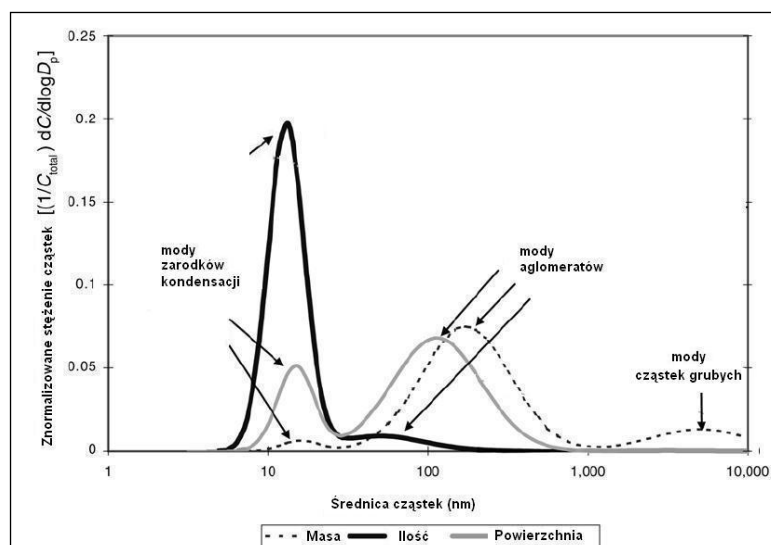
Z badań jednoznacznie wynika, że podczas procesów wysokotemperaturowych do powietrza są emitowane cząstki bardzo drobne, przede wszystkim o wymiarach nanometrowych. Na cząstkach tych mogą się osadzać substancje chemiczne, co może intensyfikować szkodliwe działanie tych cząstek na organizm ludzki. Aktualnie dużo uwagi poświęca się badaniu emisji gazów i par substancji chemicznych w tych procesach [1, 3, 5, 10, 13-17]. Natomiast aerozole wysokotemperaturowe należą do mało rozpoznanych szkodliwych czynników występujących w środowisku pracy i życia.

Podczas typowych procesów wysokotemperaturowych aerozole są emitowane jako dymy spawalnicze, gazy spalinowe, produkty termicznej obróbki np. tworzyw sztucznych itp. Ich skład jakościowy i ilościowy zależy od warunków procesowych, w tym temperatury, ciśnienia i obecności tlenu. Poniżej przedstawiono ogólną charakterystykę aerozoli emitowanych w procesach wysokotemperaturowych najczęściej występujących w środowisku pracy i życia, tzn. spalin z silników Diesla i dymów spawalniczych.

2. Spaliny silników Diesla

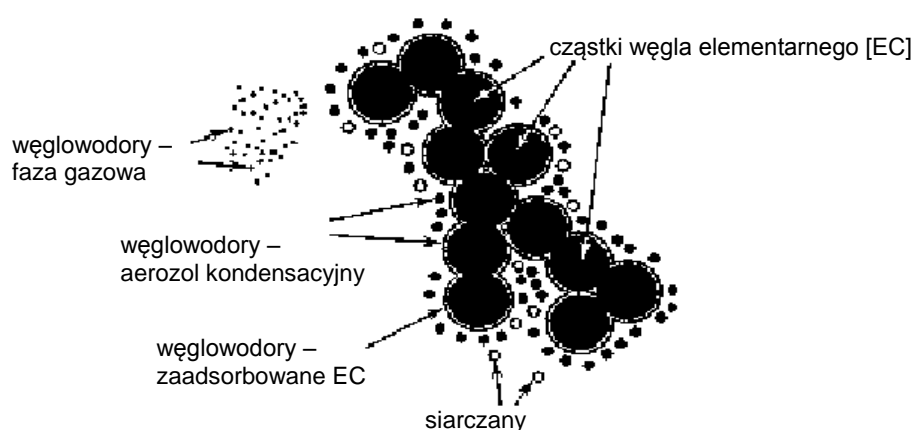
Spaliny silników Diesla to wieloskładnikowe mieszaniny kilkuset związków chemicznych powstające w wyniku niedoskonałego spalania oleju napędowego i silnikowego, a także zawartych w nich modyfikatorów i zanieczyszczeń. Te niepożądane produkty spalania wydzielają się do atmosfery w postaci gazów i par, jak również cząstek stałych. W skład fazy gazowej wchodzi węglowodory alifatyczne i ich nitrowe pochodne, węglowodory aromatyczne, a także tlenki azotu, siarki oraz węgla.

Emisja cząstek stałych o różnych wymiarach i kształcie jest zjawiskiem charakterystycznym dla spalin silników Diesla. Typowy kształt rozkładu wymiarowego cząstek spalin Diesla przedstawiono na rysunku 1 [18].



Rys. 1. Typowy kształt rozkładu wymiarowego cząstek spalin silników Diesla w odniesieniu do ich ilości, masy oraz powierzchni właściwej [18]

Ponad 90% cząstek aerozolu powstającego w wyniku spalania oleju napędowego to cząstki ultradrobne. Na wielkość emisji tych cząstek ma wpływ wiele czynników, między innymi zawartość siarki w paliwie, liczba cetanowa oraz gęstość paliwa. Trzonem tych cząstek jest węgiel elementarny, na którym są zaadsorbowane związki organiczne stanowiące fazę rozpuszczalną w rozpuszczalnikach organicznych oraz szereg związków nieulegających ekstrakcji (rys. 2).



Rys. 2. Schemat budowy cząstek spalin silników Diesla [2]

W skład organicznej frakcji rozpuszczalnej, stanowiącej około 15-45% masy cząstek stałych, wchodzi frakcje:

- parafinowa: mieszanina węglowodorów alifatycznych $C_5 - C_{40}$
- aromatyczna: mieszanina węglowodorów aromatycznych, wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych i ich pochodnych, octanów, aldehydów
- kwasowa: mieszanina fenolu i jego pochodnych
- zasadowa: anilina i jej pochodne, pirydyna i jej pochodne
- przejściowa: dioksan, metoksyfenantren.

Frakcja nierozpuszczalna poza węglem zawiera również związki siarki, metale (ołów, platynę, glin, wapń, bar) oraz wodę związaną z siarczanami [10, 14, 15].

Proporcje pomiędzy węglem pochodzenia organicznego i nieorganicznego w spalinach zależą od bardzo wielu czynników, a przede wszystkim od rodzaju oleju napędowego, typu silnika, trwania cyklu spalania, stanu technicznego silnika, sposobu pracy operatora/kierowcy oraz zastosowanych urządzeń ograniczających emisję. Z reguły węgiel elementarny stanowi większą część masy cząstek stałych spalin silników Diesla (DCS) niż rozpuszczalna frakcja organiczna [10].

Spaliny z silników Diesla zostały uznane przez ekspertów Międzynarodowej Agencji Badań nad Rakiem (IARC) za czynnik prawdopodobnie rakotwórczy dla ludzi – grupa 2A [5]. Najwięcej danych potwierdza zależność pomiędzy występowaniem nowotworów złośliwych płuc a narażeniem na te spaliny.

Prawdopodobnie główną przyczyną nowotworów płuc, przede wszystkim gruczolaków i gruczolakoraków, są submikronowe cząstki stałe spalin, na których powierzchni są zaadsorbowane substancje chemiczne, m.in. mutagenne i rakotwórcze, w tym wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne i ich nitrowe pochodne rozpuszczalne w rozpuszczalnikach organicznych oraz lipidowych składnikach surfaktantów płucnych ssaków. Cząstki te łatwo się wchłaniają i gromadzą w pęcherzykach płucnych. Również wyniki badań epidemiologicznych wskazują na statystycznie istotne zwiększenie występowania raka pęcherza, raka okrężnicy, odbytnicy i żołądka oraz szpiczaka mnogiego i mięsaka siateczkowo-komórkowego [5].

Badania toksykologiczne [10, 18] potwierdzają rakotwórcze działanie węgla elementarnego zawartego w spalinach silników Diesla. Jednocześnie nie można wykluczyć, że

związki chemiczne wchodzące w skład tych spalin, a przede wszystkim wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne i ich nitrowe pochodne, oddziałują szkodliwie na pracowników zawodowo narażonych na spaliny silników Diesla.

3. Dymy spawalnicze

Procesy spawania wiążą się z występowaniem substancji niebezpiecznych. Podczas spawania i procesów pokrewnych w materiałach dodatkowych, materiale podstawowym (spawanym), powłokach ochronnych materiału podstawowego, gazach ochronnych i otaczającym powietrzu, pod wpływem wysokiej temperatury lub promieniowania UV, zachodzą procesy fizykochemiczne, takie jak odparowywanie, utlenianie, kondensacja, rozkład, piroliza, spalanie, w wyniku których powstają dymy/pyły (cząstki stałe) i gazy.

W procesie spawania, który jest procesem termicznym, cząstki stałe tworzą się na skutek kondensacji par częściowo połączonej z procesami chemicznymi (np. utlenianie) lub przez niepełne spalanie substancji organicznych. Cząstki stałe powstające w tym procesie mają kształt kulisty i najczęściej są to cząstki ultradrobne i drobne. Występują w postaci cząstek pojedynczych oraz łańcuchów i aglomeratów. Cząstki ultradrobne powstają zwłaszcza w procesach lutowania i spawania w osłonie gazów ochronnych (elektrodą nietopliwą). Większe cząstki powstają podczas stosowania metody spawania elektrodą otuloną bądź drutem proszkowym z odparowania żuźla [13].

W procesach spawania w wyniku kondensacji par lub w reakcjach chemicznych powstają również mgły, tj. aerozole cieczy – rozproszone/zawieszone w powietrzu cząstki substancji ciekłych. Najczęściej są to skondensowane pary substancji wydzielających się przy spawaniu materiałów pokrytych różnego rodzaju powłokami ochronnymi.

Skład chemiczny dymów spawalniczych jest uzależniony od wielu czynników, przede wszystkim od typu stosowanego spawania oraz spawanych materiałów (tzw. materiałów podstawowych). W tabeli 1. podano wielkość emisji pyłu całkowitego oraz procentową zawartość metali i ich związków w tym pyłe w zależności od zastosowanej metody spawa-

nia – spawanie łukowe (MMA), spawanie łukowe w otulinie gazu obojętnego (MIG) lub w osłonie gazu aktywnego (MAG) [13].

Tabela 1. Emisja pyłu całkowitego oraz skład chemiczny pyłu powstającego podczas spawania elektrodami otulonymi i w osłonach gazów ochronnych [13]

Metoda spawania	Elektroda/ drut	Średnica elektro- dy/drutu mm	Emisja pyłu mg/s	Zawartość składników w pyłe, % (m/m)					
				Fe	Mn	Si	Cr	Ni	F
MMA/MS elektrody do spawania stali o podwyższonej wytrzymałości	rutyłowa	2,5÷5,0	10,4÷27,4	33÷48	6÷8,5	6÷8	-	-	-
	zasadowa	3,25÷5,0	12,4÷34,3	29÷35	4÷6,5	1÷2,3	-	-	10÷19
	kwaśna	2,5÷6,0	16,9÷32,4	33÷46	5÷9	5÷6	-	-	-
MMA/SS elektrody do spawania stali wysokosto- powych	rutyłowa	3,25÷5,0	8,4÷21,8	20÷23	8÷20	1,7÷8	7÷11	2÷3	-
	zasadowa	3,25÷5,0	9,2÷19,3	11÷15	5÷22	0,3÷2	3÷22	0,8÷7,7	12÷23
MMA elektrody do spawania i napawania żeliwa		3,25÷5,0	9,7÷24,3	3,6÷18	0,1÷13	0,8÷10	-	7,3÷18,3	5,6÷8
MAG/MS w osłonie CO ₂ druty do spawania stali węglowych i niskostopowych		1,2	2,4÷14,0	52,9	9,9	5,4	-	-	-
		1,6	3,0÷16,0	53,2	8,3	5,0	-	-	-
MIG/SS w osłonie Ar druty do spawania stali wysokostopowych		1,2	0,8÷5,9						-
		1,6	1,5÷6,3	38,0	12,0	5,0	20,2	5,0	-

Poza metalami i ich związkami w procesach spawania wydzielają się:

- tlenki azotu, tlenek węgla
- fosgen (COCl₂) – tworzy się w wyniku rozkładu termicznego z chlorowanych węglowodorów wchodzących w skład substancji stosowanych do czyszczenia powierzchni metali (głównie stopów niezelaznych i niektórych stali wysokostopowych) przed spawaniem

- związki organiczne powstające podczas spawania materiałów pokrytych powłokami ochronnymi, takimi jak: farby, lakiery, tworzywa sztuczne, poliuretany i inne powłoki antykorozyjne. W wyniku cięcia tlenowego palnikiem metali pokrytych powłokami antykorozyjnymi zawierającymi chlor mogą się wydzielać dioksyny i dibenzofurany (PCDDs/ PCDFs).

4. Ocena narażenia na cząstki stałe emitowane w procesach wysokotemperaturowych – stan obecny

Ocena narażenia zawodowego związanego z występowaniem w powietrzu na stanowiskach pracy cząstek stałych pochodzących z procesów wysokotemperaturowych jest procesem złożonym. Wymaga co najmniej:

- pobrania próbek powietrza zawierających cząstki stałe pochodzące z aerozoli wysokotemperaturowych
- określenia stężeń cząstek zawartych w pyłu całkowitym i/lub respirabilnym pyłu
- obliczenia wskaźników narażenia na cząstki w odniesieniu do całodziennego czasu pracy oraz porównania uzyskanych wartości wskaźników narażenia z wartościami dopuszczalnymi lub zalecanymi stężeniami.

4.1. Zasady pobierania próbek powietrza do oznaczania pyłu całkowitego i pyłu respirabilnego zawartego w aerozolach wysokotemperaturowych

Pobieranie próbek powietrza w celu określania stężenia pyłu całkowitego i/lub respirabilnego cząstek emitowanych w procesach wysokotemperaturowych może być wykonane za pomocą przyrządów stacjonarnych (pobieranie próbki w określonym stałym

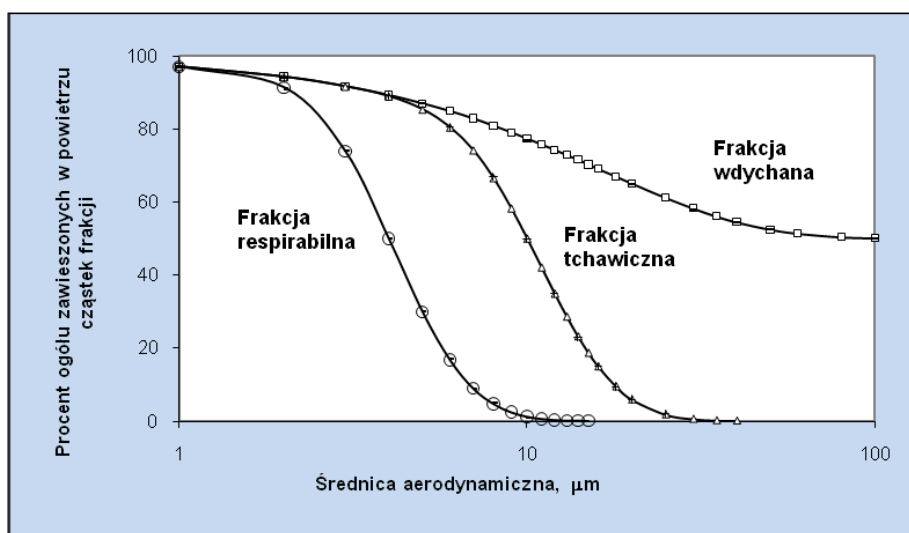
punkcie środowiska pracy) lub za pomocą przyrządów indywidualnych, zainstalowanych na pracowniku i wyposażonych w głowicę pomiarową usytuowaną w strefie oddychania (możliwie blisko dróg oddechowych pracownika). Dozymetria indywidualna jest oczywiście metodą preferowaną, gdyż najlepiej odzwierciedla narażenie pracowników na szkodliwe działanie pyłów podczas całego dnia pracy. Zasady pobierania próbek powietrza w środowisku pracy oraz interpretacji uzyskanych wyników są określone w normie PN-Z-04008-7:2002/Az1:2004 [35]. Strategia pomiarowa i wytyczne do oceny narażenia na pyły są przedstawione w normie PN-EN 689:2002 [26].

W celu oceny narażenia na cząstki emitowane na stanowiskach pracy podczas procesów wysokotemperaturowych wykonuje się pomiary stężeń pyłu całkowitego [39] i/lub pyłu respirabilnego [40]. Próbki do badań są pobierane z wykorzystaniem metody filtracyjno-wagowej [39, 40]. Zgodnie z definicją przedstawioną w rozporządzeniu ministra pracy i polityki społecznej [19] za pył całkowity uważa się zbiór wszystkich cząstek otoczonych powietrzem w określonej objętości. Pył respirabilny to zbiór cząstek przechodzących przez selektor wstępny o charakterystyce przepuszczalności wg wymiarów cząstek, opisanej logarytmiczno-normalną funkcją prawdopodobieństwa ze średnią wartością średnicy aerodynamicznej $3,5 \pm 0,3 \mu\text{m}$ i z odchyleniem standardowym $1,5 \pm 0,1$. Jednym z parametrów pyłów, odnoszących się do ich szkodliwego działania, jest zawartość wolnej krystalicznej krzemionki. W Polsce zawartość wolnej krystalicznej krzemionki jest oznaczana zgodnie z metodami opisanymi w normach [36-38]. Należy jednak podkreślić, że obecnie, w związku z działaniami podjętymi w kierunku ustanowienia wartości NDS dla frakcji respirabilnej krzemionki (kwarc, krystobalit), została opracowana nowa metoda opublikowana w kwartalniku PiMOŚP [11].

Zgodnie z normą europejską (EN 481:1993 [20], PN-EN 481:1998 [24]) i międzynarodową (ISO 7708:1995 [21], PN-ISO 7708:2001 [23]), w celu oceny narażenia na pyły na stanowiskach są pobierane frakcje pyłów o określonych średnicach aerodynamicznych cząstek zawieszonych w powietrzu, a mianowicie (rys. 3.):

- *frakcja wdychana* – udział masowy wszystkich cząstek zawieszonych, wdychanych przez nos i usta
- *frakcja tchawiczna* – udział masowy cząstek frakcji wdychanych wnikających poza krtań

- *frakcja respirabilna (pęcherzykowa)* – udział masowy cząstek frakcji wdychanych docierających (wnikających) aż do bezrzęskowych dróg oddechowych.



Rys. 3. Frakcja wdychana, tchawiczna i respirabilna w procentach ogółu zawieszonych w powietrzu cząstek [23, 24]

Z uwagi na fakt, że aktualnie w Polsce są prowadzone prace zmierzające do wdrożenia metod pobierania trzech frakcji pyłów, Międzyresortowa Komisja ds. Najwyższych Dopuszczalnych Stężeń i Natężeń Czynników Szkodliwych dla Zdrowia w Środowisku Pracy zweryfikowała definicje podane w normie [24] i przyjęła następujące definicje frakcji:

- *frakcja wdychalna* – frakcja aerozolu wnikażąca przez nos i usta, która po zdeponowaniu w drogach oddechowych stwarza zagrożenie dla zdrowia
- *frakcja torakalna* – frakcja aerozolu wnikażąca do dróg oddechowych w obrębie klatki piersiowej, która stwarza zagrożenie dla zdrowia po zdeponowaniu w obszarze tchawiczo-oskrzelowym i obszarze wymiany gazowej
- *frakcja respirabilna* – frakcja aerozolu wnikażąca do dróg oddechowych, która stwarza zagrożenie dla zdrowia po zdeponowaniu w obszarze wymiany gazowej

z uwagami, że:

- definicja frakcji wdychalnej odpowiada definicji pyłu całkowitego
- definicja frakcji respirabilnej odpowiada definicji pyłu respirabilnego

- do pobierania próbek aerozoli frakcji wdychalnej, torakalnej oraz respirabilnej należy stosować przyrządy spełniające wymagania wynikające z przyjętych definicji
- do 2015 r. pobieranie próbek aerozoli w środowisku pracy może być również realizowane z zastosowaniem przyrządów stosowanych do pobierania próbek pyłu całkowitego oraz pyłu respirabilnego.

4.2. Zalecenie dotyczące pobierania i oznaczania cząstek stałych emitowanych podczas spalania oleju napędowego w silnikach Diesla i podczas spawania

Dokumentami normatywnymi bezpośrednio związanymi z badaniami pod kątem oceny narażenia na cząstki stałe zawarte w spalinach silników Diesla i dymach spawalniczych są:

- PN-EN 14530:2010 *Powietrze na stanowiskach pracy – Oznaczanie cząstek stałych ze spalin silników Diesla – Wymagania ogólne*
- PN-EN ISO 10882-1:2012 *Zdrowie i bezpieczeństwo przy spawaniu i procesach pokrewnych – Pobieranie próbek cząstek zawieszonych w powietrzu i gazów w strefie oddychania spawacza – Część 1: Pobieranie próbek cząstek zawieszonych w powietrzu.*

Spalanie oleju napędowego w silnikach Diesla - metody badań

W normie PN-EN 14530:2010 [33] określono wymagania dotyczące pobierania próbek i analizy przy oznaczaniu cząstek stałych, pochodzących ze spalin silników Diesla w powietrzu na stanowiskach pracy. Przedmiotem pomiarów są średnie ważone stężenia składników cząstek stałych ze spalin silników Diesla (DPM), to znaczy węgiel organiczny (OC), węgiel elementarny (EC), węgiel całkowity (TC). W normie PN-EN 14530:2010 [33] przyjęto następujące definicje dla składowych cząstek stałych ze spalin silników Diesla:

- *węgiel organiczny (OC)* – związki organiczne, które mogą być usunięte z rdzeni sadzowych i które są składnikami cząstek stałych, pochodzących ze spalin silników Diesla (DPM)
- *węgiel elementarny (EC)* – rdzenie sadzowe, pozostałe po usunięciu węgla organicznego
- *węgiel całkowity (TC)* – suma węgla organicznego i elementarnego.

Narzędziem docelowym rakotwórczego działania cząstek stałych zawartych w spalinach silników Diesla jest pęcherzykowy obszar płuc, dlatego przedmiotem pobierania próbek jest jedynie frakcja respirabilna, określona zgodnie z normą PN-EN 481:1998 [24]. Z uwagi na fakt, że mediana masy aerodynamicznej średnicy cząstek stałych zawartych w spalinach silników Diesla wynosi około 100 nm, pobieranie frakcji respirabilnej zapewnia całkowicie pobieranie tych cząstek. *OC*, *EC* lub *TC* są oznaczane po przekształceniu w ditlenek węgla, który następnie analizuje się ilościowo za pomocą odpowiedniej metody.

Norma umożliwia użytkownikom wybór procedury do określania narażenia zawodowego na cząstki stałe pochodzące ze spalin silników Diesla zgodnie z jednolitym podejściem i uzyskiwanie bezpośrednio porównywalnych wyników. Zaleca się, by wyniki powtarzanych pomiarów były wysokiej jakości i pochodziły z pomiarów w komorze do badań aerozoli spalin silników Diesla lub z porównań międzylaboratoryjnych. Zaleca się stosowanie dobrych materiałów referencyjnych dla procedury analitycznej.

Wymagania procedury do oznaczeń wykonywanych zgodnie z normą PN-EN 14530:2010 [33] są ściśle powiązane z zaleceniami zawartymi w następujących normach:

- PN-EN 481:1998 *Atmosfera miejsca pracy – Określenie składu ziarnowego dla pomiaru cząstek zawieszonych w powietrzu*
- PN-EN 482:2012 *Powietrze na stanowiskach pracy – Wymagania ogólne dotyczące charakterystyki procedur pomiarów czynników chemicznych*
- PN-EN 689:2002 *Powietrze na stanowiskach pracy – Wytyczne oceny narażenia inhalacyjnego na czynniki chemiczne przez porównanie z wartościami dopuszczalnymi i strategia pomiarowa*

- PN-EN 1232:2002 *Powietrze na stanowiskach pracy – Pompki do pobierania próbek czynników chemicznych metodą dozymetrii indywidualnej – Wymagania i metody badań*
- PN-EN 12919:2004 *Powietrze na stanowiskach pracy – Pompy o strumieniu objętości ponad 5 l/min do pobierania próbek czynników chemicznych – Wymagania i metody badań*
- PN-EN 13205:2004 *Powietrze na stanowiskach pracy – Ocena funkcjonowania przyrządów do pomiaru stężeń pyłu zawieszonego w powietrzu.*

Wymagania odnoszące się do poszczególnych etapów procedury stosowanej do badań zgodnie z normą PN-EN 14530:2010 [33] są przedstawione w tabeli 2.

Przebieg procedury pomiarowej do oznaczania DPM na stanowiskach pracy można zobrazować w sposób przedstawiony na rysunku 4 [33].

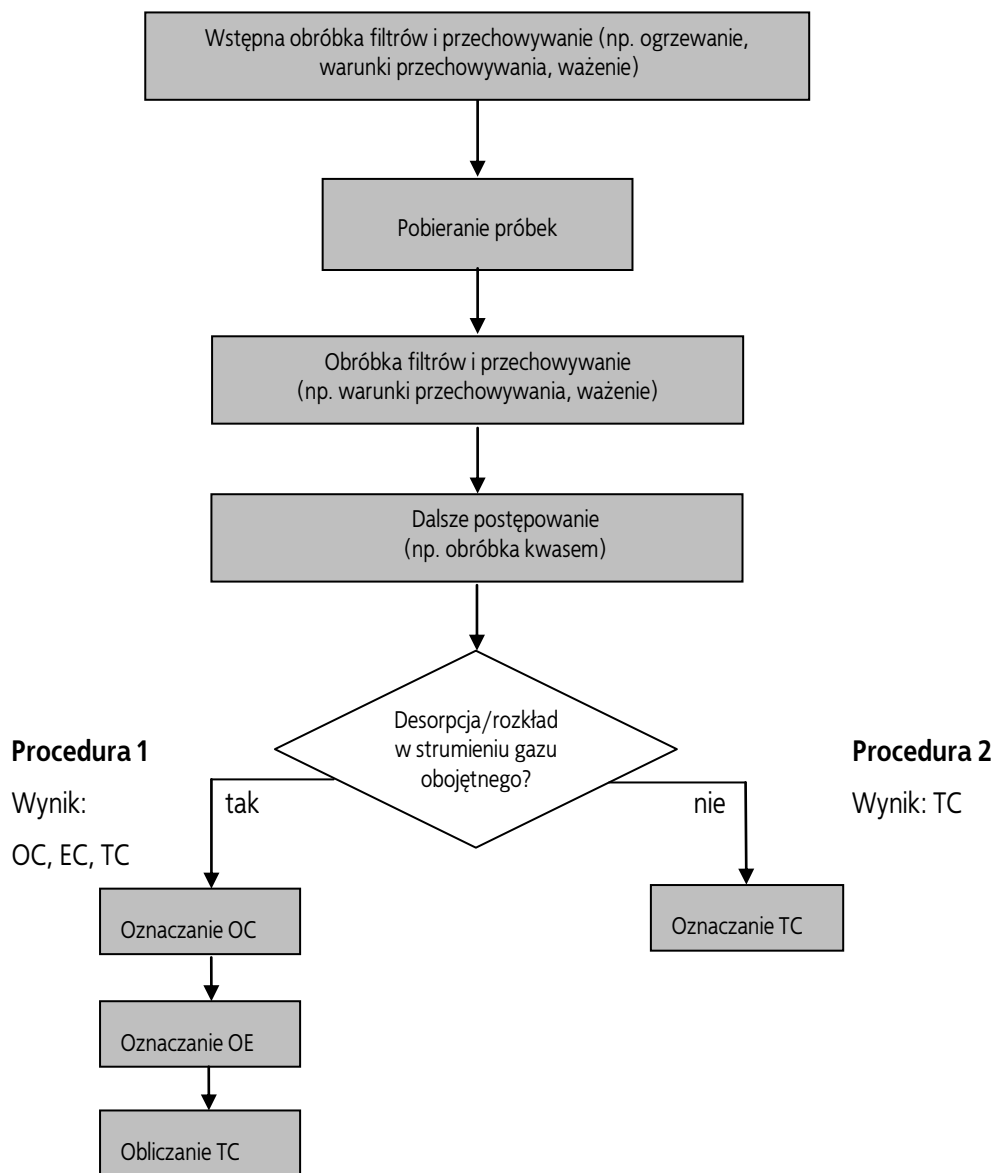
W praktyce możliwy jest podział obciążonego filtra na dwie lub więcej części (w zależności od rozmiaru filtra i zastosowanego urządzenia do pobierania próbek) i przeprowadzenie procedur 1. i 2. dla tej samej próbki.

Protokół z badań powinien zawierać co najmniej następujące informacje:

- pełny opis wszystkich etapów procedury/parametrów stosowanych podczas analitycznego oznaczania z powołaniem się na normę [33]
- odpowiednie wartości: LOD, LOQ i całkowitej niepewności
- opis próbki (materiał filtra, średnica itp.)
- komentarz do niespodziewanych (odbiegających) wyników podczas oznaczania analitycznego, jeśli ma to miejsce.

Tabela 2. Wymagania w zależności od etapu procedury stosowanej do oznaczania cząstek stałych ze spalin silników Diesla zgodnie z normą PN-EN 14530:2010 [33]

Cecha	Wymagania	Metody badania	
Pobieranie próbek cząstek stałych	Pobierana frakcja cząstek	frakcja respirabilna zgodnie z konwencją według PN-EN 481:1998	PN-EN 13205:2004, rozdz. 5.
	Dokładność	PN-EN 13205:2004, rozdz. 4.2	PN-EN 13205:2004, rozdz. 5.
	Wartości dla czystego filtra (próbka ślepa) i rozproszenie	stosować materiał odpowiedni pod względem poziomów wartości próbek ślepych i rozproszenia	przeprowadzić pełną procedurę pomiarową dla każdej nowej partii czystych filtrów
	Stabilność strumienia objętości	wg PN-EN 1232:2002 i PN-EN 12919:2004	—
Oznaczanie analityczne	Maksymalne obciążenie DPM na filtrze	określić maksymalne obciążenie DPM na filtrze	powtórzyć procedurę pomiarową i sprawdzić efekty pamięci
	Granica wykrywalności i granica oznaczalności	udokumentowana przez laboratorium	* przeprowadzić pełny etap analizy, co najmniej sześciokrotnie dla czystych filtrów; LOD (granica wykrywalności) obliczana jest jako trzykrotna wartość standardowego odchylenia otrzymanych wyników * przeprowadzić pełny etap analizy co najmniej sześciokrotnie dla czystych filtrów; LOQ (granica oznaczalności) obliczana jest jako dziesięciokrotna wartość standardowego odchylenia otrzymanych wyników
	Funkcja kalibracyjna	liniowa w zakresie procedury pomiarowej	stosować odpowiedni test statystyczny
	Współczynnik zmienności procedury	10% w zakresie pomiarowym procedury (od LOQ do maksymalnego obciążenia)	przeprowadzić pełny etap analizy co najmniej sześciokrotnie dla identycznych stężeń odpowiedniej substancji testowej (np. kwasu szczawowego) dla trzech różnych „punktów” (np. w „niskim”, „średnim”, „wysokim” obszarze zakresu procedury pomiarowej); alternatywnie można go wyznaczyć na podstawie danych z kalibracji filtrów. Wymaga to minimum dziesięciu równoodległych próbek z co najmniej dwoma oznaczeniami dla każdego stężenia
	Wydajność odzysku	95 ±105%	przeprowadzić pełny etap analizy co najmniej sześciokrotnie dla znanej ilości odpowiedniej substancji testowej (np. kwasu szczawowego)
	Wartość próby ślepej dla przyrządu	udokumentowana przez laboratorium, stała w granicach 20%	przeprowadzić etap analizy do końca, co najmniej sześciokrotnie bez jakiegokolwiek próbki
Całkowita procedura pomiarowa	Całkowita niepewność	30 ± 50% zgodnie z PN-EN 482:2012	stosować próbki ślepe lub próbki wg PN-EN 482:2012, rozdz. 6.3.
	Przechowywanie	maksymalny czas przechowywania powinien być określony i udokumentowany przez laboratorium (maksymalne odchylenie po przechowywaniu nie powinno przekraczać 5%)	stosować identyczne próbki (np. wycinki o znanej powierzchni odpowiedniego jednorodnego filtra z próbką) i przeprowadzić etap analizy przed i po wymaganym okresie przechowywania
	Wartość próby ślepej dla przyrządu	traktować jak próbki badane, zaleca się co najmniej 3 próbki w serii pomiarowej	przeprowadzić pełną procedurę pomiarową, a w przypadku próbek ślepych terenowych postępować zgodnie z pisemną procedurą danego laboratorium
	Jednostki wyniku	wyniki w mg m ⁻³	—
	Określony zakres pomiarowy	zgodnie z EN PN-EN 482:2012	—
Inne wymagania	Identyfikacja próbki	oznakowanie próbek musi być jednoznaczne	—



Rys. 4. Zasada prowadzenia procedury pomiarowej do oznaczania DPM na stanowiskach pracy [33]

Spawanie – metody badań

W normie PN-EN ISO 10882-1:2012 [30] przedstawiono procedurę pobierania cząstek z powietrza w strefie oddychania pracownika, który wykonuje spawanie lub procesy pokrewne. Przedstawiono informacje dotyczące istotnych norm, w których zostały określone wymagania i metody badania powietrza na stanowiskach pracy oraz wytyczne w zakresie strategii pomiaru i oceny. W normie [30] określono również procedurę pomiarów grawimetrycznych do indywidualnego narażenia na cząstki generowane podczas spawania i procesów pokrewnych oraz operacji towarzyszących spawaniu. Ponadto podano odniesienia do odpowiednich metod analizy chemicznej, określonych w innych normach, do ustalenia indywidualnego narażenia na wybrane czynniki chemiczne obecne w pyłe spawalniczym i innych cząstkach generowanych podczas operacji towarzyszących spawaniu. Poziom "tła" cząstek obecnych w powietrzu na stanowisku pracy wpływa na indywidualne narażenie, dlatego uwzględniono również znaczenie pobierania próbek w ustalonych punktach.

Badanie zgodnie z normą PN-EN ISO 10822-1:2012 [30] polega na pobieraniu cząstek zawieszonych w powietrzu poprzez odciąganie znanej objętości powietrza przez filtr zamontowany w próbniku skonstruowanym do pobierania odpowiedniej frakcji cząstek [24]. Podczas indywidualnych pomiarów próbnik jest umieszczony w strefie oddychania pracownika, która znajduje się wewnątrz przyłbicy spawacza, kiedy przyłbica jest używana. Narażenie na cząstki pochodzące z procesu spawania i procesów pokrewnych oraz operacji towarzyszących spawaniu może być określone poprzez analizę grawimetryczną próbki, natomiast narażenie na wybrane czynniki chemiczne w pyłe spawalniczym oraz cząstkach pochodzących z operacji towarzyszących spawaniu poprzez chemiczną analizę próbki.

W normie PN-EN ISO 10882-1:20012 [30] zostały przedstawione wymagania dotyczące:

- wyposażenia do pobierania próbek: próbników, filtrów, aspiratorów, przepływomierza, termometru, barometru i wyposażenia pomocniczego (rurek elastycznych, pasów do mocowania aspiratorów, pincet do wkładania i wyjmowania filtrów oraz kaset do transportu filtrów)

- aparatury do ważenia: wagi analitycznej, neutralizatora ładunku elektrostatycznego.

Wymagania dotyczące badania zgodnie z normą PN-EN ISO 10882-1:2012 [30] są ściśle powiązane z zaleceniami zawartymi w następujących normach: PN-EN 481:1998 [24], PN-EN 482:2012 [25], PN-EN 689:2002 [26], PN-EN 1232:2002 [27], PN-EN 1540:2012 [28], PN-EN ISO 4063:2011 [29], PN-EN 13205:2004 [32], PN-EN 15051:2006 [34].

Procedury stosowane do oceny narażenia osób na działanie pyłu spawalniczego i innych cząstek zawieszonych w powietrzu, wytwarzanych przy operacjach towarzyszących spawaniu, powinny być zgodne z postanowieniami normy PN-EN 482:2012 [25]. Strategia pomiarów i strategia ogólna oceny narażenia powinny być zgodne z zaleceniami normy PN-EN 689:2002 [26].

Pomiary mogą być wykonywane w strefie oddychania spawacza, w celu określenia narażenia indywidualnego lub w punktach ustalonych np. w celu scharakteryzowania „tła” cząstek zawieszonych w powietrzu na stanowisku pracy.

W normie PN-EN ISO 10882-1:2012 [30] przedstawiono informacje nt. wyboru warunków pomiaru i charakteru pomiarów. Pomiary mogą być wykonywane jako:

- pomiary rozpoznawcze średniego stężenia ważonego w czasie – podczas reprezentatywnych etapów spawania w początkowych etapach badania dla otrzymania jasnej informacji o poziomie i charakterze narażenia
- pomiary najgorszego przypadku:
 - jeśli wyniki tych pomiarów wskazują, że narażenie jest znacznie poniżej dopuszczalnej wartości narażenia, wskazuje to, że zapobieganie jest właściwe i pomiary średniego stężenia ważonego w czasie w celu porównania z wartościami dopuszczalnymi nie są konieczne
 - jeśli wyniki tych pomiarów wskazują, że narażenie jest znacznie wyższe od dopuszczalnej wartości narażenia, to środki mające temu zapobiegać są niewystarczające; w takiej sytuacji środki zapobiegawcze należy zmodernizować, a pomiary powtórzyć po wprowadzeniu ulepszeń
- pomiary dla porównania z wartościami dopuszczalnymi, pomiary średniego stężenia ważonego w czasie – powinny być wykonywane podczas szeregu reprezentatywnych etapów spawania w czasie pracy; najlepsze oszacowanie średniego

stężenia ważonego w czasie otrzymuje się, pobierając próbki ze strefy oddychania przez cały okres spawania

- pomiary w krótkich okresach – jeżeli jest to właściwe, powinny być wykonywane pomiary w celu porównania z wartościami dopuszczalnymi chwilowymi dla krótkich okresów i skojarzone pomiary okresowe – przez czas pobierania próbek równy okresowi zalecanemu, który zwykle wynosi 15 min lub mniej (informacje nt. minimalnego czasu pobierania próbek są przedstawione w punkcie 9.1.3.1 normy PN-EN ISO 10882-1:2012 [30]).

Procedura określania stężenia pyłu spawalniczego i obliczania średniego stężenia ważonego w czasie w pyłe spawalniczym obejmuje:

- przygotowanie i kondycjonowanie filtrów
- przygotowanie do pobierania próbek
- wybranie pozycji pobierania próbek
- pobieranie próbek
- transport filtrów po pobraniu próbek
- określenie stężenia pyłu spawalniczego w próbce jako masy pyłu spawalniczego zebranego na filtrze w odniesieniu do objętości zassanego powietrza
- obliczenie średniego stężenia ważonego w czasie pyłu spawalniczego z wyników pomiarów wykonanych podczas reprezentatywnych etapów spawania.

Raport z badań powinien zawierać co najmniej:

- dane podstawowe: dotyczące spawacza i osoby wykonującej pomiary, lokalizacji miejsca, gdzie są prowadzone prace przez spawacza, rodzaju produkcji, pozycji spawacza, stosowanej wentylacji, wyposażenia ochronnego układu oddechowego, innych trwających operacji spawania lub procesów pokrewnych, schemat lub fotografię
- dane procesu: dotyczące rodzaju spawania, materiałów spawalniczych, materiałów podstawowych, pokryć powierzchni lub zanieczyszczeń drutu czy blachy, parametrów spawania
- dane dotyczące pobierania próbek i wyniki.

4.3. Ocena narażenia na cząstki stałe emitowane podczas spalania oleju napędowego w silnikach Diesla i podczas spawania

Określone w ciągu całego dnia pracy wartości stężeń pyłu całkowitego i/lub respirabilnego cząstek zawartych w aerozolach wysokotemperaturowych stanowią podstawę do obliczenia wskaźników narażenia na te frakcje stałe. Obliczone wskaźniki narażenia są następnie porównywane z najwyższymi dopuszczalnymi wartościami (NDS). W tabeli 3. przedstawiono wartości NDS obowiązujące w Polsce dla frakcji cząstek stałych w odniesieniu do typowych aerozoli wysokotemperaturowych, takich jak spaliny silników Diesla i dym spawalniczy [19].

Tabela 3. Wartości najwyższych dopuszczalnych stężeń frakcji stałych zawartych w typowych aerozolach wysokotemperaturowych [19]

Nazwa czynnika szkodliwego dla zdrowia	Najwyższe dopuszczalne stężenie (NDS), mg/m ³
Spaliny silnika Diesla – pył respirabilny	0,5
Cząstki stałe zawarte w dymach spawalniczych w zależności od zawartości wolnej (krystalicznej) krzemionki w pyłe	
Pyły zawierające wolną (krystaliczną) krzemionkę powyżej 50% – pył całkowity – pył respirabilny	2 0,3
Pyły zawierające wolną (krystaliczną) krzemionkę 2÷50% – pył całkowity – pył respirabilny	4 1
Inne nietrujące pyły przemysłowe – w tym zawierające wolną (krystaliczną) krzemionkę poniżej 2% – pył całkowity	10

Wartości te są wykorzystywane do oceny narażenia zawodowego pracowników zatrudnionych w środowisku, w którym występują w powietrzu cząstki stałe zawarte w spalinach silników Diesla lub w dymach spawalniczych. W przypadku emisji spalin silników Diesla i dymów spawalniczych powinna być również określana zawartość węgla

elementarnego i wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych (WWA) w cząstkach spalin zgodnie z zaleceniami norm PN-EN 14530: 2005 [33] i PN-Z-04240-5:2006 [41] oraz metali i metaloidów w cząstkach stałych dymów spawalniczych zgodnie z metodami określonymi w piśmiennictwie [4, 22].

5. Kompleksowa ocena narażenia na cząstki stałe emitowane w procesach wysokotemperaturowych (metoda filtracyjno-wagowa i metody zliczania)

Z uwagi na znaczną szkodliwość dla człowieka cząstek stałych emitowanych w procesach wysokotemperaturowych oraz rozwój nowych technik pomiarowych umożliwiających badanie parametrów tych cząstek w ujęciu kompleksowym poniżej omówiono zasady takiego ujęcia badań.

W ujęciu kompleksowego podejścia do oceny narażenia na cząstki ultradrobne i drobne emitowane w procesach wysokotemperaturowych istotnymi parametrami, oprócz stężeń masowych określonych metodą filtracyjno-wagową, są między innymi takie parametry cząstek jak ich rozkłady wymiarowe oraz stężenie liczbowe i stężenie powierzchniowe cząstek. Wiedza na ten temat jest szczególnie ważna z uwagi na fakt, że szkodliwe działanie na organizm człowieka cząstek ultradrobnych może mieć inny charakter niż działanie cząstek o większych wymiarach, które podczas oddychania są zatrzymywane przede wszystkim w pęcherzykach płucnych. Cząstki ultradrobne mogą przenikać do krwi i w konsekwencji ulegać przemieszczeniu do różnych organów wewnętrznych człowieka, wywołując negatywne skutki zdrowotne. Szczególnie dotyczy to cząstek o wymiarach poniżej 100 nm, które są uważane za bardzo niebezpieczne dla zdrowia człowieka.

Uwzględniając powyższe należy przyjąć, że ocena narażenia na cząstki emitowane w procesach wysokotemperaturowych powinna być prowadzona w sposób kompleksowy

i obejmować zarówno analizę stężeń masowych określonych metodą filtracyjno-wagową, jak również analizę rozkładów wymiarowych cząstek oraz ich stężeń liczbowych i stężeń powierzchniowych, z zastosowaniem metod zliczania. Wyniki badań stężeń masowych metodą filtracyjno-wagową dostarczą informacji nt. masy cząstek przedostających się do obszaru pęcherzyków płucnych człowieka, natomiast wyniki badań pozostałych parametrów cząstek będą podstawą do scharakteryzowania cząstek pod kątem możliwości ich przenikania do krwi (rozkład wymiarowy i stężenie liczbowe) oraz możliwości zaadsorbowania znacznych ilości substancji niebezpiecznych zawartych np. w spalinach silników Diesla (stężenie powierzchniowe cząstek). Należy jednak podkreślić, że podstawą metod stosowanych do oznaczenia rozkładów wymiarowych, stężeń liczbowych oraz stężeń powierzchniowych cząstek z reguły nie są pomiary odnoszące się do średnicy aerodynamicznej cząstek, która jest najbardziej istotna z uwagi na ocenę procesu osadzania się cząstek w układzie oddechowym człowieka. Niemniej jednak uzyskiwane wyniki dostarczają bardzo istotnych informacji dotyczących charakterystyki cząstek w momencie ich rzeczywistej emisji oraz zmienności tej emisji w czasie [6, 8, 9].

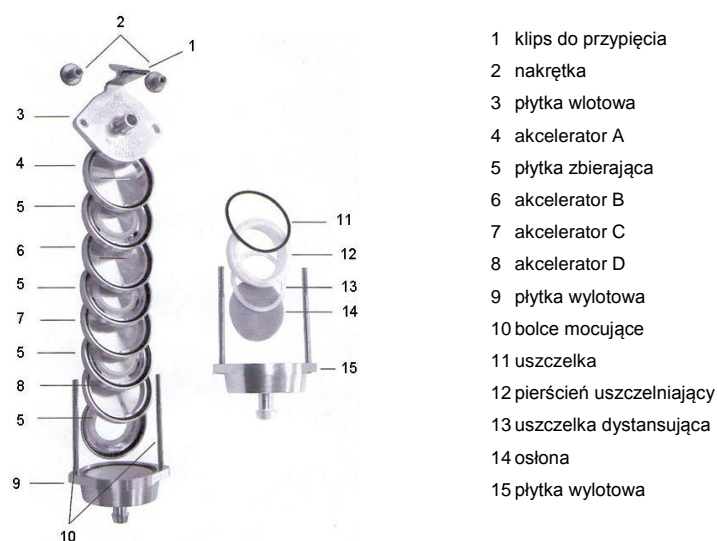
5.1. Określanie stężeń masowych frakcji cząstek – metoda filtracyjno-wagowa

Do pobierania i oznaczania stężeń masowych cząstek stałych zawartych w aerozolach wysokotemperaturowych mogą być stosowane próbniki umożliwiające pobieranie frakcji pyłów zgodnie z wymaganiami norm [24, 26, 35, 39, 40] – patrz pkt 4.1. W przypadku, gdy istotne są dane dotyczące większej liczby frakcji wymiarowych cząstek, można stosować np. próbniki typu PCIS – Sioutas Personal Cascade Impactor (rys. 5.), do oznaczania frakcji cząstek PM_{10} , $PM_{2.5}$, PM_1 , $PM_{0.5}$, $PM_{0.25}$, które wymagają stosowania pompki, umożliwiających pobieranie próbek ze strumieniem objętości 9-10 dm³/min – np. pompki SKC 100-3000 (rys. 6.).

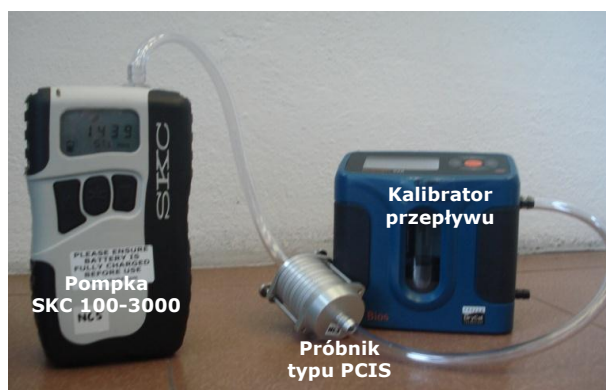
Metoda filtracyjno-wagowa do określania stężeń frakcji, w tym frakcji: PM_{10} , $PM_{2.5}$, PM_1 , $PM_{0.5}$ i $PM_{0.25}$ cząstek emitowanych w procesach wysokotemperaturowych, polega na zassaniu zapyłonego powietrza z zadaniem strumieniem objętości w określonym czasie

i wydzieleniu cząstek frakcji stałych na filtrach znajdującym się w próbnikach pomiarowych, np. typu PCIS (rys. 7.).

Każdorazowo przed przeprowadzeniem pomiaru należy wyregulować strumień objętości powietrza zasysanego przez pompkę z wykorzystaniem systemu kalibracyjnego (np. wg rys. 6.).



Rys. 5. Próbnik typu PCIS [<http://www.skinc.com>]



Rys. 6. Układ do kalibracji przepływu powietrza przez system do pobierania frakcji PM_{10} , $PM_{2.5}$, PM_1 , $PM_{0.5}$, $PM_{0.25}$ stałych cząstek aerozoli wysokotemperaturowych



Rys. 7. Próbnik typu PCIS wraz z filtrami przed pobraniem próbek frakcji stałych aerozoli wysokotemperaturowych

Przed pomiarem filtry powinny być kondycjonowane do czasu uzyskania ich stałej masy, a następnie ważone z zastosowaniem mikrowagi

z dokładnością, jaka jest wymagana w tej metodzie badawczej [<http://www.skinc.com>]. Próbniki z filtrami powinny być podłączone do pompki gętkimi rurkami. Podczas pomiarów należy kontrolować strumień objętości pobieranych frakcji cząstek oraz czas ich pobierania. Filtry z pobranymi frakcjami cząstek (rys. 8.) powinny być również kondycjonowane do stałej masy, a następnie ważone.



Rys. 8. Filtry z pobranymi próbkami frakcji stałych spalin silników Diesla

Stężenia masowe (C_m) mierzonych frakcji cząstek aerozoli wysokotemperaturowych należy obliczać

jako stosunek mas frakcji cząstek zatrzymanych na odpowiednich filtrach do objętości zassanego powietrza, korzystając ze wzoru:

$$C_m = \frac{m_2 - m_1}{V} \times 1000$$

w którym:

m_2 – masa filtru po pobraniu próbki, mg,

m_1 – masa filtru przed pobraniem próbki, mg,

V – objętość próbki aerozoli wysokotemperaturowych, obliczona jako iloczyn strumienia objętości pobieranych aerozoli i czasu pobierania, dm^3 .

5.2. Określanie stężeń i rozkładów wymiarowych cząstek – metody zliczania

Z uwagi na fakt, że podczas oceny narażenia na cząstki drobne zawarte w aerozolach wysokotemperaturowych istotne znaczenie mogą mieć informacje nt. różnych parametrów fizycznych cząstek (stężeń masowych, stężeń liczbowych, stężeń powierzchniowych cząstek oraz ich rozkładów wymiarowych) metoda badań powinna uwzględniać kompleksowe podejście do tego zagadnienia [12]. Na rynku są obecnie dostępne różne przyrządy umożliwiające określanie ww. parametrów. Jednakże ze względu na fakt, że podczas badań, których przykłady przedstawiono w rozdziale 6., stosowano określone rodzaje aparatury pomiarowej, poniżej szerzej omówiono ich parametry pracy.

Dzięki jednoczesnemu zastosowaniu różnych przyrządów można określać poszczególne parametry cząstek, takie jak:

- stężenie liczbowe, stężenie powierzchniowe, stężenie masowe i rozkład wymiarowy cząstek z zakresu $5 \div 661$ nm: np. z użyciem systemu analizy wymiarowej cząstek SMPS (TSI -CPC 3022A, DMA: 3080L i 3085)
- stężenie liczbowe oraz rozkład wymiarowy cząstek z zakresu $0,3 \div 20$ μ m: np. z użyciem licznika optycznego GRIMM Dust Monitor 1.108
- stężenie liczbowe cząstek z zakresu $20 \div 1000$ nm: np. z zastosowaniem kondensacyjnego licznika cząstek drobnych P-TRAK (TSI 8525)
- stężenie masowe cząstek z zakresu $0,1 \div 10$ μ m: np. z użyciem miernika DUST-TRAK Aerosol Monitor (TSI 8520)
- stężenie powierzchniowe cząstek z zakresu $10 \div 1000$ nm: np. z użyciem przyrządu AERO-TRAK 9000 (TSI).

Stężenia i rozkład wymiarowy cząstek - SMPS

Stężenie liczbowe, stężenie powierzchniowe i stężenie masowe oraz rozkład wymiarowy cząstek $5 \div 661$ nm mogą być określane z zastosowaniem systemu analizy wymiarowej cząstek – SMPS, zawierającego licznik kondensacyjny CPC, TSI model 3022A oraz analizatory ruchliwości elektrycznej cząstek DMA – model 3080L lub nano DMA model 3085.

Kondensacyjny licznik CPC umożliwia pomiar stężenia liczbowego do 10^7 cząstek/cm³. Dokładność zliczania licznika wynosi $\pm 10\%$ dla stężeń do 5×10^5 cząstek/cm³ i $\pm 20\%$ dla stężeń $5 \times 10^5 \div 10^7$ cząstek/cm³. Licznik (CPC) umożliwia jedynie zliczanie cząstek bez odnoszenia określanych stężeń liczbowych do ich wymiarów. W analizatorze ruchliwości elektrycznej cząstek DMA cząstki są klasyfikowane według ich elektrycznej ruchliwości, która jest funkcją wymiaru cząstki i liczby ładunków elektrycznych na niej zdeponowanych. Analizatory ruchliwości elektrycznej cząstek (DMA) w zależności od ich konstrukcji (long DMA czy nano DMA) oraz strumienia objętości powietrza ($0,3 \div 1,5$ dm³/min) umożliwiają klasyfikację cząstek w zakresie $5 \div 661$ nm. Odchylenie standardowe (quasi) monodispersyjnych aerozoli otrzymywanych z użyciem DMA jest mniejsze od 1,3.

Każdorazowo po uruchomieniu systemu SMPS oraz przed każdym pomiarem należy sprawdzać zliczenia zerowe licznika CPC. W czasie pomiaru na wyświetlaczu licznika CPC oraz na komputerze należy kontrolować aktualne wartości stężenia liczbowego mierzonych cząstek. Dane są zapisywane w pamięci przyrządu i mogą być analizowane z użyciem programu komputerowego.

Stężenie i rozkład wymiarowy cząstek - GRIMM

Stężenie liczbowe oraz rozkład wymiarowy cząstek z zakresu $0,3 \div 20$ μm mogą być określane z zastosowaniem licznika optycznego GRIMM Dust Monitor model 1.108. Licznik ten umożliwia pomiar stężenia liczbowego do 2×10^6 cząstek/dm³ z niedokładnością $\pm 2\%$, dla piętnastu frakcji wymiarowych z zakresu $0,3 \div 10$ μm . Licznik GRIMM działa na zasadzie rozproszenia strumienia światła laserowego przy przepływie zanieczyszczonego powietrza przez komorę pomiarową. Wielkość i charakterystyka rozproszenia klasyfikowana jest przez analizator drgań wysokiej częstotliwości, co umożliwia określenie liczby i wielkości cząstek.

Każdorazowo po uruchomieniu licznika przyrząd jest automatycznie kalibrowany. Pomiary są wykonywane przy strumieniu objętości powietrza równym $1,2$ dm³/min. W czasie pomiaru na wyświetlaczu licznika należy kontrolować aktualne wartości stężenia liczbowego dla dwóch wybranych przedziałów średnic cząstek. Wyniki pomiarów są gro-

madzone na magnetycznej karcie pamięci i mogą być transmitowane do komputera za pomocą czytnika kart, w który jest wyposażony przyrząd.

Stężenie liczbowe cząstek - P-TRAK

Stężenie liczbowe cząstek z zakresu $20 \div 1000$ nm można ustalić z zastosowaniem licznika kondensacyjnego P-TRAK Ultrafine Particle Counter, TSI model 8525. P-TRAK umożliwia określenie stężenia liczbowego do 5×10^5 cząstek/cm³ przy niedokładności $\pm 5\%$. Zasada działania licznika opiera się na zjawisku kondensacji par alkoholu izopropylowego na cząstkach, dzięki czemu przekształcają się one w większe cząstki, na których następuje rozpraszanie światła laserowego. Wytworzone impulsy światła wykrywane są przez fotodetektor i zliczane w celu określenia stężenia liczbowego cząstek. Strumień objętości badanej próbki powietrza wynosi $100 \text{ cm}^3/\text{min}$.

Przed przystąpieniem do pomiarów w liczniku należy zamocować kasetę z knotem nasączonym alkoholem izopropylowym oraz układ wlotowy, w którym jest umieszczany filtr wlotowy zapobiegający przedostawaniu się do układu pomiarowego większych cząstek. Każdorazowo po uruchomieniu licznika należy sprawdzać jego wskazania zerowe. Wyniki pomiarów są rejestrowane w pamięci licznika P-TRAK. Dane są analizowane z użyciem programu TRAKPRO3.20.

Stężenie masowe cząstek - DUST-TRAK

Stężenie masowe cząstek z zakresu $0,1 \div 10 \text{ }\mu\text{m}$ może być określane z zastosowaniem miernika DUST TRAK Aerosol Monitor, TSI model 8520. Zasada działania jest oparta na zjawisku rozproszenia światła laserowego na cząstkach zawieszonych w powietrzu zasysanym do miernika. Konstrukcja miernika umożliwia pomiar aktualnego stężenia masowego cząstek w zakresie $0,001 \div 100 \text{ mg}/\text{m}^3 \pm 1\%$, przy strumieniu objętości powietrza zasysanego do miernika ustawionym w zakresie $1,4 \div 2,4 \text{ dm}^3/\text{min}^1$. Pomiary można przeprowadzać dla frakcji cząstek $0,1 \div 10 \text{ }\mu\text{m}$ lub dla frakcji $0,1 \div 4 \text{ }\mu\text{m}$ – po zastosowaniu selektora wstępnego.

Po każdym uruchomieniu miernika należy wykonać regulację jego wskazania zerowego oraz ustawić wymagany strumień objętości zasysanego powietrza. Na ekranie miernika

DUST-TRAK należy kontrolować wartości aktualnie mierzonego stężenia masowego. Wyniki pomiarów są rejestrowane w pamięci przyrządu. Dane są analizowane z użyciem programu TRAKPRO3.20.

Stężenie powierzchniowe cząstek - AERO-TRAK

Stężenie powierzchniowe cząstek $10 \div 1000$ nm może być określane z użyciem miernika AERO-TRAK 9000 Nanoparticle Aerosol Monitor, TSI. AERO-TRAK umożliwia określanie stężenia powierzchniowego cząstek w odniesieniu do ich dwóch frakcji wymiarowych, tzn. frakcji tchawiczno-oskrzelowej, wnikającej głębiej poprzez krtań, lecz niedostającej się aż do bezrzęskowych dróg oddechowych (TB-Tracheobronchial) i frakcji przenikającej do pęcherzyków płucnych (A-Alveolar). Przyrząd umożliwia pomiar stężenia powierzchniowego cząstek, odpowiednio, dla frakcji TB – $1 \div 2500 \mu\text{m}^2/\text{cm}^3$, a dla frakcji A – $1 \div 10000 \mu\text{m}^2/\text{cm}^3$. Dokładność pomiaru w odniesieniu do obydwu frakcji dla cząstek $20 \div 200$ nm wynosi $\pm 20\%$.

Próbki aerozoli należy zasysać do miernika poprzez cyklon, który umożliwia oddzielenie frakcji o wymiarach większych od $1 \mu\text{m}$ przed wprowadzeniem badanej próbki do przyrządu. Wyniki pomiarów są rejestrowane w pamięci miernika AERO-TRAK i analizowane z użyciem programu komputerowego.

6. Przykładowe wyniki badań stężeń i rozkładów wymiarowych cząstek frakcji stałych emitowanych podczas spalania oleju napędowego w silnikach Diesla i podczas spawania

Poniżej przedstawiono przykładowe wyniki badań uzyskanych w ramach realizacji prac badawczych w CIOP-PIB [7, 8].

Spalanie oleju napędowego w silnikach Diesla

Badania przeprowadzono w garażu blaszanym, wolno stojącym, o wymiarach: długość – 5 m, szerokość – 3 m, wysokość – 2 m, przy zamkniętych oknach i drzwiach, przy czym powietrze z zewnątrz przedostawało się do garażu przez nieszczelności, typowe dla takich konstrukcji garażu. Spaliny generowano z zastosowaniem silnika Diesla z samochodu Skoda Fabia TDI z roku 2007. Silnik pracuje w systemie zasilania typu Common Rail. Podczas badań stosowano olej napędowy pochodzący od jednego dostawcy. Stanowisko przygotowano w ramach realizacji projektu badawczego zamawianego nr PBZ-MEiN-3/2/2006, pt. „Inżynieria procesów ograniczania emisji oraz utylizacji gazów szkodliwych i ciepłarnianych” (umowa nr G004/T02/2007, zadanie VII.2). Badania przeprowadzono podczas symulacji trzech 4-godzinnych okresów potencjalnego narażenia pracowników przebywających w garażu na cząstki emitowane z silnika Diesla. Punkty pomiarowe były umiejscowione od źródła emisji spalin w odległości około 3,8 m i na wysokości około 1 m od podłoża garażu. Przykładowe wyniki badań stężeń masowych frakcji PM_{10} , $PM_{2.5}$, PM_1 , $PM_{0.5}$, $PM_{0.25}$ cząstek z zastosowaniem próbników typu PCIS z pompkami SKC 100-3000 przedstawiono w tabeli 4. Natomiast przykładowe wyniki badania parametrów cząstek metodami zliczania przedstawiono, odpowiednio:

- na rysunku 9.: wyniki badania stężeń liczbowych dla cząstek z zakresu $0,4 \div 0,5 \mu\text{m}$, $0,5 \div 1 \mu\text{m}$, $1 \div 3 \mu\text{m}$ i $3 \div 10 \mu\text{m}$ z zastosowaniem licznika optycznego GRIMM
- na rysunku 10.: wyniki badania stężeń masowych cząstek $0,1 \div 10 \mu\text{m}$ z zastosowaniem miernika DUST-TRAK
- na rysunku 11.: wyniki badania stężeń powierzchniowych cząstek $10 \div 1000 \text{ nm}$ z zastosowaniem AERO-TRAK.

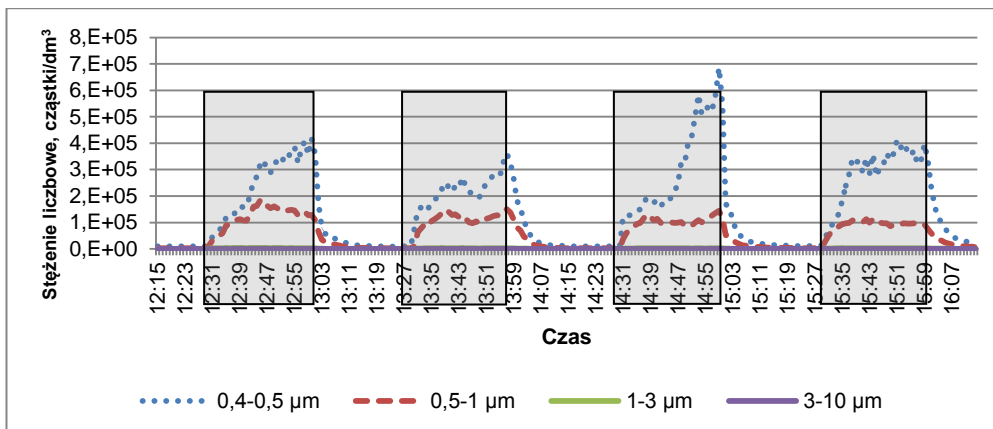
Z danych przedstawionych w tabeli 4. wynika, że średnie wartości stężeń dla mierzonych frakcji wymiarowych cząstek PM_{10} , $PM_{2.5}$, PM_1 , $PM_{0.5}$, $PM_{0.25}$ zawierały się w zakresie $1,24 \div 1,37 \text{ mg/m}^3$. Porównanie średnich udziałów frakcji drobniejszych w odniesieniu do frakcji PM_{10} wykazało, że udziały te mieściły się w zakresie 91÷95%.

Tabela 4. Średnie stężenia masowe cząstek zawartych w spalinach silnika Diesla, określone metodą filtracyjno-wagową z użyciem pompki SKC z próbnikiem PCIS do pomiaru PM₁₀, PM_{2,5}, PM₁, PM_{0,5}, PM_{0,25}

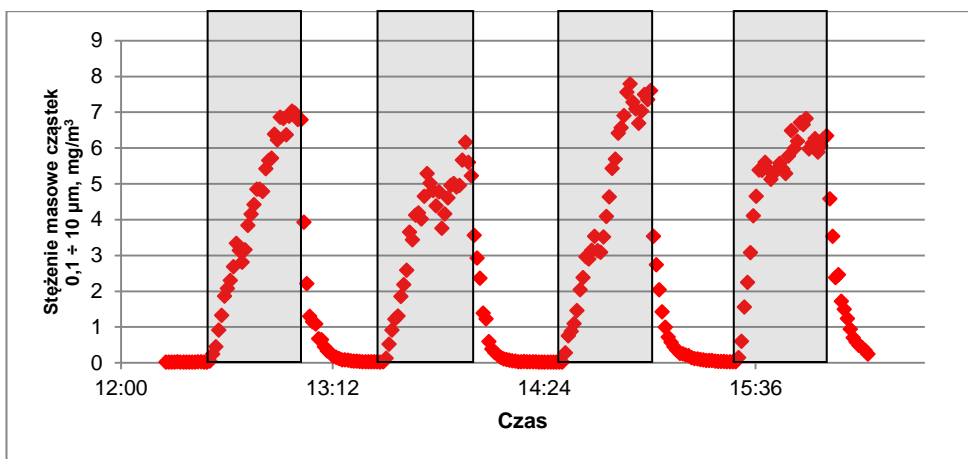
Cykle pracy silnika Diesla	Temperatura i wilgotność względna powietrza	Fracje pyłu	Średnie stężenie pyłu, mg/m ³	Średni udział % w odniesieniu do frakcji PM ₁₀
12:15÷12:29 silnik wyłączony <u>12:30÷12:59 silnik włączony</u>	35,6÷44,4 °C	PM _{0,25}	1,24	91
13:00÷13:29 silnik wyłączony <u>13:30÷13:59 silnik włączony</u>		PM _{0,5}	1,27	93
14:00÷14:29 silnik wyłączony <u>14:30÷14:59 silnik włączony</u>	38,3÷28,3%	PM ₁	1,28	94
15:00÷15:29 silnik wyłączony <u>15:30÷15:59 silnik włączony</u>		PM _{2,5}	1,30	95
16:00÷16:14 silnik wyłączony		PM ₁₀	1,37	–

Analizując dane przedstawione na rysunkach 9 ÷ 11, można zauważyć, że podczas spalania oleju napędowego w silniku Diesla:

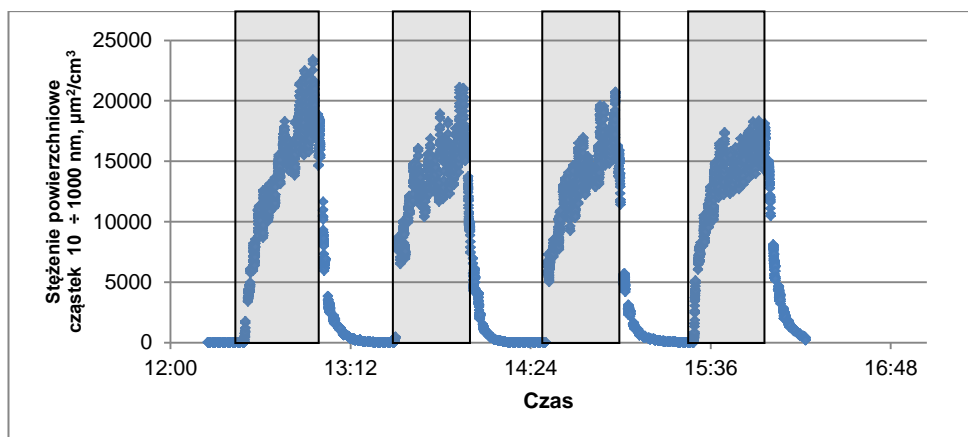
- widać wyraźnie zarysowane istotne wzrosty stężeń liczbowych cząstek z zakresów 0,4 ÷ 0,5 μm i 0,5 ÷ 1 μm (GRIMM – rys. 9.), stężeń masowych cząstek z zakresu 0,1 ÷ 10 μm (DUST-TRAK – rys. 10.) i stężeń powierzchniowych cząstek z zakresu 10 ÷ 1000 nm (AERO-TRAK – rys. 11.)
- z obszaru wymiarowego cząstek >0,3 μm były emitowane przede wszystkim cząstki o wymiarach z zakresów 0,4 ÷ 0,5 μm i 0,5 ÷ 1 μm (GRIMM). Stężenia liczbowe dla frakcji 0,4 ÷ 0,5 μm cząstek osiągały maksymalnie wartości około 7e⁵ cząstek/dm³. W przypadku frakcji 0,5 ÷ 1 μm cząstek, ich wartości wynosiły około do 2e⁵ cząstek/dm³ (rys. 9.)
- największe stężenia masowe cząstek z zakresu 0,1 ÷ 10 μm (DUST-TRAK) wynosiły 8 mg/m³ (rys. 10.)
- stężenia powierzchniowe cząstek o wymiarach 10 ÷ 1000 nm były bardzo duże i przekraczały zalecany zakres pomiarowy miernika AERO-TRAK dla pomiaru frakcji A. Maksymalnie osiągały wartość 24000 μm²/cm³ (rys. 11.).



Rys. 9. Stężenie liczbowe cząstek z zakresu $0,4 \div 0,5 \mu\text{m}$, $0,5 \div 1 \mu\text{m}$, $1 \div 3 \mu\text{m}$ i $3 \div 10 \mu\text{m}$ w powietrzu w garażu przed rozpoczęciem spalania oleju w silniku Diesla, w trakcie spalania (tabela 4. – szare słupki wskazują czas 4 kolejnych cykli pracy silnika Diesla) i po spalaniu – pomiary z zastosowaniem licznika GRIMM



Rys. 10. Stężenie masowe cząstek $0,1 \div 10 \mu\text{m}$ w powietrzu w garażu przed rozpoczęciem spalania oleju w silniku Diesla, w trakcie spalania (tabela 4. – szare słupki wskazują czas 4 kolejnych cykli pracy silnika Diesla) i po spalaniu – pomiary z zastosowaniem miernika DUST-TRAK



Rys. 11. Stężenie powierzchniowe cząstek $10 \div 1000$ nm w powietrzu przed, podczas (tabela 4. – szare słupki wskazują czas 4 kolejnych cykli pracy silnika Diesla) i po spalaniu oleju w silniku Diesla – pomiary z zastosowaniem miernika AERO-TRAK

Spawanie

Badania przeprowadzono w pomieszczeniu spawalni o wymiarach: długość – 4,6 m, szerokość – 4,4 m, wysokość – 3,2 m. Pomiary przeprowadzono podczas spawania stali kwasoodpornej elektrodami typu OK 61.30/308L-17, przy zamkniętych oknach i drzwiach spawalni, przy czym powietrze z zewnątrz mogło przedostawać się przez nieszczelności występujące w okolicach okien i drzwi [7, 8].

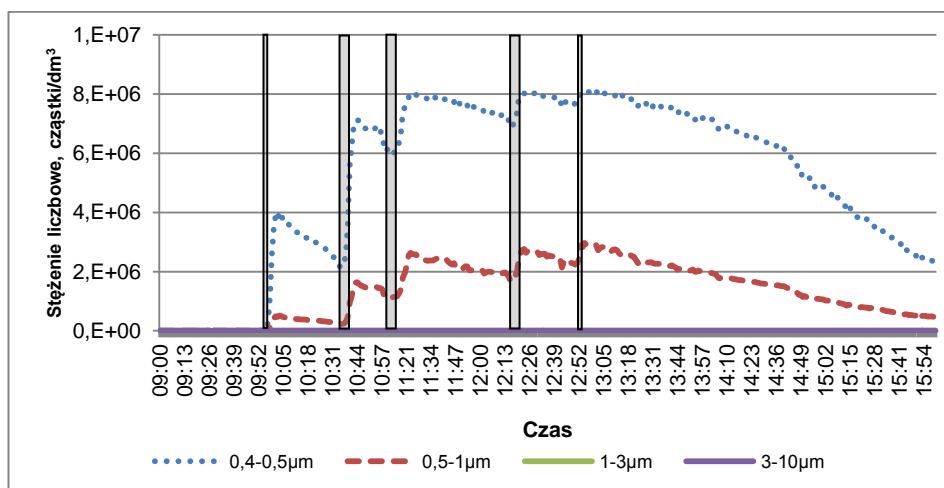
Przykładowe wyniki badań stężeń masowych frakcji PM_{10} , $PM_{2.5}$, PM_1 , $PM_{0.5}$, $PM_{0.25}$ cząstek z zastosowaniem próbników typu PCIS z pompkami SKC 100-3000 przedstawiono w tabeli 5. Natomiast przykładowe wyniki badania parametrów cząstek metodami zliczania przedstawiono, odpowiednio:

- na rysunku 12.: wyniki badania stężeń liczbowych dla cząstek z zakresu $0,4 \div 0,5$ μm , $0,5 \div 1$ μm , $1 \div 3$ μm i $3 \div 10$ μm z zastosowaniem licznika optycznego GRIMM
- na rysunku 13.: wyniki badania stężeń masowych cząstek $0,1 \div 10$ μm z zastosowaniem miernika DUST-TRAK
- na rysunku 14.: wyniki badania stężeń powierzchniowych cząstek $10 \div 1000$ nm z zastosowaniem AERO-TRAK.

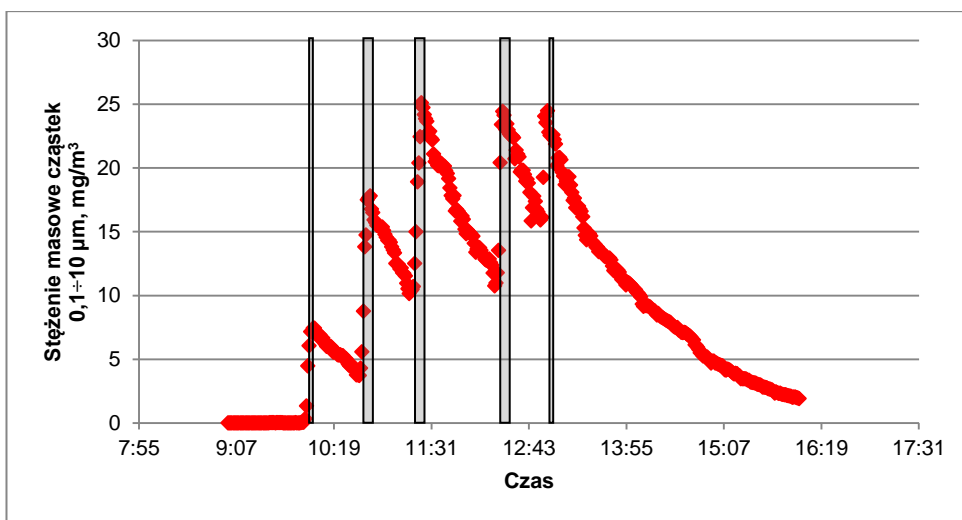
Z danych przedstawionych w tabeli 5. wynika, że średnie wartości stężeń dla mierzonych frakcji wymiarowych cząstek PM₁₀, PM_{2,5}, PM₁, PM_{0,5}, PM_{0,25} zawierały się w zakresie 2,63 ÷ 4,95 mg/m³. Porównanie średnich udziałów frakcji drobniejszych w odniesieniu do frakcji PM₁₀ wykazało, że udziały te mieściły się w zakresie 53 ÷ 64%.

Tabela 5. Średnie stężenia masowe cząstek zawartych w dymach spawalniczych określone metodą filtracyjno-wagową z użyciem pompek SKC z próbnikiem PCIS do pomiaru PM₁₀, PM_{2,5}, PM₁, PM_{0,5}, PM_{0,25}

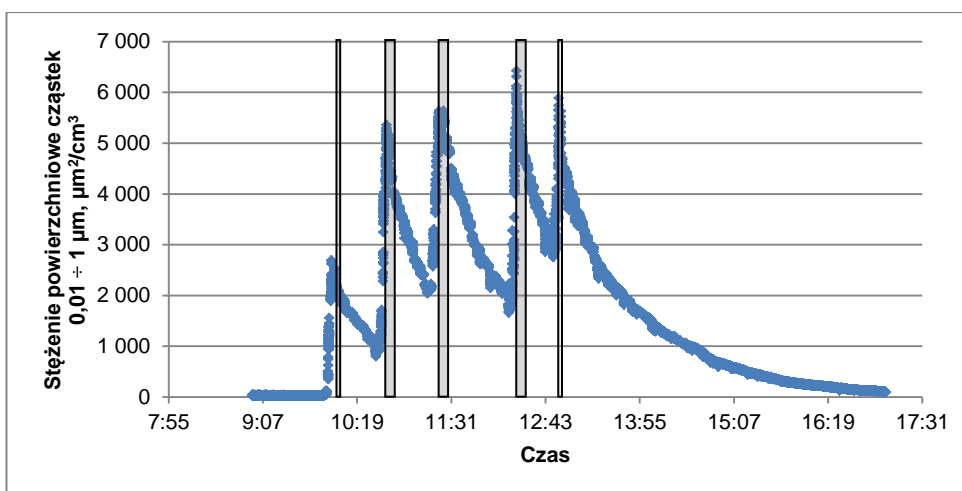
Prowadzone prace spawalnicze	Temperatura i wilgotność względna powietrza	Frakcje pyłu	Średnie stężenie pyłu, mg/m ³	Średni udział % w odniesieniu do frakcji PM ₁₀
Spawanie stali kwasoodpornej elektrodami o symbolu OK 61.30/308L-17: 09:59 ÷ 10: 00 spawanie 1 elektrodą 10:37 ÷ 10: 39 spawanie 2 elektrodami 11:12 ÷ 11:14 spawanie 2 elektrodami 12:15 ÷ 12:17 spawanie 2 elektrodami 12:50 ÷ 12:51 spawanie 1 elektrodą	25 ÷ 27 °C 56 ÷ 61%	PM _{0,25}	2,63	53
		PM _{0,5}	2,69	54
		PM ₁	2,87	58
		PM _{2,5}	3,17	64
		PM ₁₀	4,95	–



Rys. 12. Stężenie liczbowe cząstek z zakresu 0,4 ÷ 0,5 µm, 0,5 ÷ 1 µm, 1 ÷ 3 µm i 3 ÷ 10 µm w powietrzu na zewnątrz spawalni oraz w powietrzu w spawalni przed rozpoczęciem spawania, w trakcie spawania (tabela 5. – szare słupki wskazują czas 5 kolejnych operacji spawania) i po jego zakończeniu (pomiar GRIMM)



Rys. 13. Stężenie masowe cząstek z zakresu $0,1 \div 10 \mu\text{m}$ w powietrzu na zewnątrz spawalni oraz w powietrzu w spawalni przed rozpoczęciem spawania, w trakcie spawania (tabela 5. – szare słupki wskazują czas 5 kolejnych operacji spawania) i po jego zakończeniu (pomiar DUST-TRAK)



Rys. 14. Stężenie powierzchniowe cząstek z zakresu $0,01 \div 1 \mu\text{m}$ w powietrzu na zewnątrz spawalni oraz w powietrzu w spawalni przed rozpoczęciem spawania, w trakcie spawania (tabela 5. – szare słupki wskazują czas 5 kolejnych operacji spawania) i po jego zakończeniu (pomiar AERO-TRAK)

Analizując dane przedstawione na rysunkach 12 ÷ 14, można zauważyć, że podczas spawania:

- widać wyraźnie zarysowane istotne wzrosty stężeń liczbowych cząstek z zakresów $0,4 \div 0,5 \mu\text{m}$ i $0,5 \div 1 \mu\text{m}$ (GRIMM – rys. 12.), stężeń masowych cząstek z zakresu $0,1 \div 10 \mu\text{m}$ (DUST-TRAK – rys. 13.) i stężeń powierzchniowych cząstek z zakresu $10 \div 1000 \text{ nm}$ (AERO-TRAK – rys. 14.). Rozpatrując wyniki badań uzyskane z zastosowaniem licznika GRIMM można stwierdzić, że cząstki emitowane do powietrza w spawalni utrzymały się cały czas w powietrzu, niezależnie od przerw, które występowały pomiędzy wykonywaniem kolejnych prac spawalniczych
- z obszaru wymiarowego cząstek $>0,3 \mu\text{m}$ były emitowane, i utrzymywały się przez dłuższy czas w powietrzu, przede wszystkim cząstki o wymiarach z zakresów $0,4 \div 0,5 \mu\text{m}$ i $0,5 \div 1 \mu\text{m}$ (GRIMM). Stężenia liczbowe dla frakcji $0,4 \div 0,5 \mu\text{m}$ cząstek były bardzo duże – osiągały maksymalnie wartości około $8e^6$ cząstek/ dm^3 i przekraczały zalecany zakres pomiarowy licznika. W przypadku frakcji $0,5 \div 1 \mu\text{m}$ cząstek, ich wartości były również duże i wynosiły do $3e^6$ cząstek/ dm^3 (rys. 12)
- największe stężenia masowe cząstek z zakresu $0,1 \div 10 \mu\text{m}$ (DUST-TRAK) wynosiły około $26 \text{ mg}/\text{m}^3$ (rys. 13)
- stężenia powierzchniowe cząstek o wymiarach $10 \div 1000 \text{ nm}$ (AERO-TRAK) dla pomiaru frakcji A maksymalnie osiągały wartość $6500 \mu\text{m}^2/\text{cm}^3$ (rys. 14).

7. Podsumowanie

W wyniku badań przeprowadzonych w CIOP-PIB [6 ÷ 9] stwierdzono, że podczas całodziennego narażenia na aerozole wysokotemperaturowe pracownik może być narażony na zmienne ilości cząstek ultradrobnych, drobnych i o większych wymiarach.

W związku z powyższym ocena narażenia na cząstki stałe emitowane w typowych procesach wysokotemperaturowych (np. spaliny silników Diesla, dymy spawalnicze) powinna obejmować:

- analizę danych w odniesieniu do frakcji wymiarowych określonych metodą filtracyjno-wagową zgodnie z wymaganiami norm [24, 26, 35, 39, 40] oraz ich porównanie z wartościami najwyższych dopuszczalnych stężeń (patrz pkt. 4.3)
- analizę danych dotyczących stężeń liczbowych, stężeń powierzchniowych oraz rozkładów wymiarowych cząstek.

Ponadto należy określić:

- w przypadku badania spalin silników Diesla:
 - zawartość węgla elementarnego w cząstkach spalin, zgodnie z zaleceniami normy PN-EN 14530: 2005 [33]
 - zawartość wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych (WWA) w cząstkach spalin, zgodnie z zaleceniami normy PN-Z-04240-5:2006 [41]
- w przypadku badania dymów spawalniczych:
 - metale i metaloidy w cząstkach stałych dymów, zgodnie z metodami określonymi w piśmiennictwie [4, 22].

8. Bibliografia

1. Brich M.E., Cary R.A.: *An elemental Carbon Based Method for Monitoring Occupational Exposure to Particulate Diesel Exhaust*. Aerosol Sci. Tech. 1996.
2. Cantrell B.K., Watts W.F.: *Diesel Exhaust Aerosol: Review of Occupational Exposure*. Appl. Occup. Environ. Hyg. 1997, 12(12), 1019-1027.
3. Gavett S.H., Madison S.L., Dreher K.L., Winsett D.W., McGee J.K., Costa D.L.: *Metal and sulfate composition of residual oil fly ash determines airway hyperreactivity and lung injury in rats*. Environ. Res. 1997, 72, 162-172.
4. Gawęda E.: *Metale i metaloidy – metoda oznaczania*. Podstawy i Metody Oceny Środowiska Pracy 2003, z. 4(38), 111 -117.
5. *IARC Monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans*. Lyon 1989, 46, 41-185.
6. *Inżynieria procesów ograniczania emisji oraz utylizacji gazów szkodliwych i cieplarnianych*. (Zadanie VII.2.1.: „Opracowanie metodyki i strategii określania parametrów fizyko-chemicznych i szkodliwości działania spalin diesla oraz wytwarzania i badania struktur filtracyjnych i sorpcyjnych”, PBZ-MEiN-3/2/2006). Warszawa, CIOP-PIB 2010 [praca niepublikowana].
7. Jankowska E.: *Badanie narażenia spawaczy na cząstki zawarte w dymach spawalniczych*. Bezpieczeństwo Pracy 2011, nr 9 (480), 7-9.
8. Jankowska E. i inni.: *Badanie stężeń i rozkładu wymiarowego cząstek pyłów emitowanych w procesach wysokotemperaturowych*. (Projekt badawczo-rozwojowy nr 2.R.03 realizowany w ramach programu wieloletniego: „Poprawa bezpieczeństwa i warunków pracy”). Warszawa, CIOP-PIB 2010 [praca niepublikowana].
9. Jankowska E. i inni.: *Badanie wpływu parametrów powietrza na stężenie i skład pyłów drobnodispersyjnych*. (Zadanie 2.A.10. realizowane w ramach programu wieloletniego: „Dostosowywanie warunków pracy w Polsce do standardów Unii Europejskiej”). Warszawa, CIOP-PIB 2007 [praca niepublikowana].

10. Leberchert G., Czerczak S.: *Spaliny silnika Diesla. Wytyczne szacowania ryzyka zdrowotnego dla czynników rakotwórczych*. Łódź, IMP, 1997, 6, 42-84.
11. Maciejewska A.: *Respirabilna krystaliczna krzemionka; kwarc i krystobalit. Oznaczenie w powietrzu na stanowiskach pracy metodą spektrometrii w podczerwieni (FT-IR), w pastylkach z KBr*. *Podstawy i Metody Oceny Środowiska Pracy* 2012, z. 4(74), 117-130.
12. Mark D.: *Occupational Exposure to Nanoparticles and Nanotubes*. *Environmental Science and Technology* 2007, 24, 50-80.
13. Matczak W., Gromiec J.: *Zasady oceny narażenia spawaczy na dymy i gazy*. Łódź, Instytut Medycyny Pracy im. Prof. J. Nofera, 2003.
14. Merkisz J.: *Emisja cząstek stałych przez silniki spalinowe o zapłonie samoczynnym*. WPP, 1997.
15. Pośniak M.: *Spaliny silników Diesla – zasady i metody oceny narażenia zawodowego*. *Medycyna Pracy*, 2003, 54 (4), 389-393.
16. Pośniak M., Makhniashvili I., Kozieł E., Kowalska J.: *Spaliny silników Diesla – narażenie na substancje chemiczne w zajezdniach autobusowych*. (Cz. I). *Bromatologia i Chemia Toksykologiczna* 2002, XXXV, 2, 187-193.
17. Pośniak M., Makhniashvili I., Kozieł E., Kowalska J.: *Occupational exposure to polycyclic aromatic hydrocarbons during Diesel combustion*. *JOSE* 2003, vol. 9, No 1, 17-26.
18. *Special report. Research directions to improve estimates of human exposure and risk from Diesel exhaust*. Health Effects Institute, 2002.
19. *Rozporządzenie Ministra Pracy i Polityki Społecznej z dnia 29 listopada 2002 r. w sprawie najwyższych dopuszczalnych stężeń i natężeń czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy*. DzU nr 217, poz. 1833, wraz ze zmianami.
20. EN 481:1993 *Workplace atmospheres – Size fraction definitions for measurement of airborne particles*.
21. ISO 7708:1995 *Air quality – Particle size fraction definitions for health-related sampling*.

22. ISO 15202-2:2001 *Work place air – Determination of metals and metalloids in airborne particles matter by inductively coupled plasma atomic emission spectrometry; Part 2: Sample preparation.*
23. PN-ISO 7708:2001 *Jakość powietrza. Definicje frakcji pyłu stosowane przy pobieraniu próbek do oceny zagrożenia zdrowia.*
24. PN-EN 481:1998 *Atmosfera miejsca pracy. Określenie składu ziarnowego dla pomiaru cząstek zawieszonych w powietrzu.*
25. PN-EN 482:2012 *Powietrze na stanowiskach pracy – Wymagania ogólne dotyczące charakterystyki procedur pomiarów czynników chemicznych.*
26. PN-EN 689:2002 *Powietrze na stanowiskach pracy. Wytoczne oceny narażenia inhalacyjnego na czynniki chemiczne przez porównanie z wartościami dopuszczalnymi i strategia pomiarowa.*
27. PN-EN 1232:2002 *Powietrze na stanowiskach pracy – Pompki do pobierania próbek czynników chemicznych metodą dozymetrii indywidualnej – Wymagania i metody badań.*
28. PN-EN 1540:2012 *Narażenie na stanowiskach pracy – Terminologia.*
29. PN-EN ISO 4063:2011 *Spawanie i procesy pokrewne – Nazwy i numery procesów.*
30. PN-EN ISO 10882-1:2012 *Zdrowie i bezpieczeństwo przy spawaniu i procesach pokrewnych – Pobieranie próbek cząstek zawieszonych w powietrzu i gazów w strefie oddychania spawacza – Część 1: Pobieranie próbek cząstek zawieszonych w powietrzu.*
31. PN-EN 12919:2004 *Powietrze na stanowiskach pracy – Pompy o strumieniu objętości ponad 5 l/min do pobierania próbek czynników chemicznych – Wymagania i metody badań.*
32. PN-EN 13205:2004 *Powietrze na stanowiskach pracy – Ocena funkcjonowania przyrządów do pomiaru stężeń pyłu zawieszonego w powietrzu.*
33. PN-EN 14530:2010 *Powietrze na stanowiskach pracy – Oznaczanie cząstek stałych ze spalin silników Diesla – Wymagania ogólne.*

34. PN-EN 15051:2006 *Powietrze na stanowiskach pracy. Pomiar pyłowości zebranych materiałów. Wymagania i metody odniesienia.*
35. PN-Z-04008-7:2002+Az1:2004 *Ochrona czystości powietrza. Pobieranie próbek. Zasady pobierania próbek powietrza w środowisku pracy i interpretacji wyników.*
36. PN-91/Z-04018/02 *Ochrona czystości powietrza. Badania zawartości wolnej krystalicznej krzemionki. Oznaczanie wolnej krystalicznej krzemionki w pyłe całkowitym na stanowiskach pracy metodą spektrometrii absorpcyjnej w podczerwieni.*
37. PN-91/Z-04018/03 *Ochrona czystości powietrza. Badania zawartości wolnej krystalicznej krzemionki. Oznaczanie wolnej krystalicznej krzemionki w pyłe respirabilnym na stanowiskach pracy metodą spektrometrii absorpcyjnej w podczerwieni.*
38. PN-91/Z-04018/04 *Ochrona czystości powietrza. Badania zawartości wolnej krystalicznej krzemionki. Oznaczanie wolnej krystalicznej krzemionki w pyłe całkowitym i respirabilnym w obecności krzemianów na stanowiskach pracy metodą kolorymetryczną.*
39. PN-91/Z-04030/05 *Ochrona czystości powietrza. Badania zawartości pyłu. Oznaczanie pyłu całkowitego na stanowiskach pracy metodą filtracyjno-wagową.*
40. PN-91/Z-04030/06 *Ochrona czystości powietrza. Badania zawartości pyłu. Oznaczanie pyłu respirabilnego na stanowiskach pracy metodą filtracyjno-wagową.*
41. PN-Z-04240-5:2006 *Ochrona czystości powietrza. Oznaczanie wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych na stanowiskach pracy metodą wysokosprawnej chromatografii cieczowej.*