



Stella Bujak-Pietrek
Katarzyna Konieczko
Małgorzata Kupczewska-Dobeka
Karolina Jeżak
Joanna Jurewicz

SPALINY EMITOWANE Z SILNIKÓW DIESLA

**wytyczne dla pracodawców,
pracowników i służb związanych
z bezpieczeństwem i higieną pracy**

Stella Bujak-Pietrek, Katarzyna Konieczko,
Małgorzata Kupczewska-Dobacka, Karolina Jeżak,
Joanna Jurewicz

SPALINY EMITOWANE Z SILNIKÓW DIESLA
wytyczne dla pracodawców, pracowników i służb
związanych z bezpieczeństwem i higieną pracy

Spis treści

WSTĘP	7
OGÓLNA CHARAKTERYSTYKA I WŁAŚCIWOŚCI SPALIN EMITOWANYCH Z SILNIKÓW DIESLA	11
Powstawanie i skład chemiczny spalin z silników Diesla	11
Właściwości fizykochemiczne spalin z silników Diesla	14
NARAŻENIE ZAWODOWE.....	19
Ocena narażenia na spaliny emitowane z silników Diesla na stanowiskach pracy – badania własne IMP w Łodzi	22
SKUTKI ZDROWOTNE NARAŻENIA NA SPALINY EMITOWANE Z SILNIKÓW DIESLA	35
Działanie toksyczne	36
Działanie mutagenne i genotoksyczne	41
Działanie rakotwórcze	43
Choroby zawodowe spowodowane spalinami z silników Diesla	47
SPALINY EMITOWANE Z SILNIKÓW DIESLA – WYBRANE ASPEKTY PRAWNE.....	49
Ogólne wymagania stawiane pracodawcom w przypadku występowania na stanowiskach pracy czynników szkodliwych dla zdrowia	51
Spaliny z silników Diesla jako czynniki o działaniu rakotwórczym.....	55
Narażenie zawodowe i wartości dopuszczalne	57
Pracownicy młodociani, kobiety w ciąży lub karmiące piersią, a praca w narażeniu na spaliny z silników Diesla	62
WYTYCZNE DOTYCZĄCE WYKONYWANIA BADAŃ W CELU OCENY NARAŻENIA NA SPALINY Z SILNIKÓW DIESLA	65
SPOSOBY MINIMALIZOWANIA RYZYKA NARAŻENIA NA SPALINY DIESLA ..	69
Piśmiennictwo	73

Wykaz skrótów

CRCR	Centralny Rejestr Danych o Narażeniu na Substancje Chemiczne, ich Mieszaniny, Czynniki lub Procesy Technologiczne o Działaniu Rakotwórczym, Mutagennym lub Reprotoksycznym, (Instytut Medycyny Pracy im. prof. dr med. J. Nofera w Łodzi)
da	średnica aerodynamiczna
DEP	(ang.) <i>Diesel exhaust particles</i> – cząstki stałe w spalinach Diesla
DPF	(ang.) <i>Diesel particle filter</i> – filtr cząstek stałych
DSB	Dopuszczalne Stężenie w materiale Biologicznym
EC	(ang.) <i>elemental carbon</i> – węgiel elementarny
GIS	Główny Inspektorat Sanitarny
IARC	(ang.) <i>International Agency for Research on Cancer</i> – Międzynarodowa Agencja Badań nad Rakiem
LDSA	(ang.) <i>Lung Deposited Surface Area</i> – pole powierzchni potencjalnie zajmowanej w płucach
NDS	Najwyższe Dopuszczalne Stężenie (w środowisku pracy)
NDSCh	Najwyższe Dopuszczalne Stężenie Chwilowe
NP	(ang.) <i>nanoparticles</i> – nanocząstki
PM	(ang.) <i>particulate matter</i> – cząstki stałe
POChP	przewlekła obturacyjna choroba płuc
UFP	(ang.) <i>Ultrafine Particles</i> – cząstki ultradrobne
WWA	wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne
♂	samiec
♀	samica

WSTĘP

Dynamiczny rozwój branży transportowej obserwowany w ciągu kilku ostatnich dekad stanowi istotne źródło zagrożeń zdrowotnych oraz środowiskowych. Transport, obok procesów spalania poza przemysłem i w przemyśle, jest jednym z największych źródeł emisji do środowiska (Krajowy bilans emisji..., 2019) i pomimo systematycznego podejmowania działań prewencyjnych udział transportu w ogólnej emisji wciąż rośnie. Ponadto, szybki przyrost w skali ogólnoswiatowej liczby pojazdów zarówno tych z zapłonem iskrowym, jak i z zapłonem samoczynnym powoduje trwały i istotny przyrost poziomów związków szkodliwych oraz cząstek stałych w strukturze zanieczyszczeń powietrza.

Spaliny Diesla są produktami spalania olejów napędowych w silnikach o zapłonie samoczynnym. Narażenie na spaliny z silników Diesla dotyczy przede wszystkim pracowników wielu grup zawodowych, ale może także występować jako zanieczyszczenie powietrza środowisk miejskich. Spaliny te występują w powietrzu atmosferycznym, gdzie dostają się głównie ze środków transportu takich jak: autobusy, kolej czy samochody – zwłaszcza ciężarowe, jak również w powietrzu stanowisk pracy, na których ma miejsce obsługa i konserwacja pojazdów oraz urządzeń z silnikami wysokoprężnymi. Szczególnymi środowiskami związanymi z wysokim narażeniem na spaliny z silników Diesla są kopalnie, tunele i inne miejsca gdzie prace odbywają się w mocno ograniczonej i słabo przewietrzanej przestrzeni. Grupę pracowników narażonych zawodowo na spaliny emitowane przez silniki z zapłonem samoczynnym

stanowią operatorzy różnego rodzaju urządzeń i pojazdów z takimi silnikami. Natomiast grupą społeczeństwa, której narażenie nie jest zawodowe, a wynika z ekspozycji środowiskowej są mieszkańcy dużych miast, dojeżdżający do pracy głównie komunikacją miejską i międzymiastową.

Spaliny emitowane z silników Diesla w warunkach narażenia zawodowego mogą być wdychane przez pracowników i wchłaniane do organizmu. U pracowników przewlekłe narażonych na spaliny Diesla stwierdzono częstsze występowanie obturacyjnych zaburzeń wentylacji płuc. Ostra ekspozycja może powodować podrażnienie błony śluzowej oczu i dróg oddechowych, zawroty i bóle głowy oraz zmęczenie.

Badania toksykologiczne i epidemiologiczne potwierdziły rakotwórcze działanie spalin Diesla. Międzynarodowa Agencja Badań nad Rakiem (IARC), uznała spaliny emitowane z silników Diesla za rakotwórcze dla ludzi i zaklasyfikowała je do grupy 1. Na podstawie badań epidemiologicznych stwierdzono, że długotrwałe narażenie na spaliny emitowane z silników wysokoprężnych związane jest z podwyższonym ryzykiem zachorowania na raka płuca (wystarczające dowody). Istnieje również zależność pomiędzy narażeniem na spaliny z silników Diesla a występowaniem raka pęcherza moczowego (ograniczone dowody) (IARC, 2012). Również Unia Europejska uznała, że istnieją wystarczające dowody na rakotwórczość spalin emitowanych z silników Diesla i umieściła je w wykazie procesów o działaniu rakotwórczym w środowisku pracy.

Działania profilaktyczne mające na celu minimalizowanie narażenia i ochronę zdrowia pracowników przed szkodliwym działaniem spalin z silników Diesla regulowane są odpowiednimi aktami prawnymi. Najważniejsze w ostatnich latach zmiany prawne w Polsce dotyczące wykonywania prac w narażeniu na spaliny emitowane z silników Diesla dotyczą:

- wprowadzenia wartości NDS dla spalin emitowanych z silników Diesla mierzonych jako węgiel elementarny, wynoszącej 0,05 mg/m³, wartość ta obowiązuje po dniu 20 lutego 2023 r., a jej wprowadzenie spowodowało zmianę metody oznaczania spalin w powietrzu stanowisk pracy – wcześniejsza wartość NDS dla spalin z silników Diesla dotyczyła oznaczenia frakcji respirabilnej;
- umieszczenia od 2021 r. w wykazie procesów technologicznych o działaniu rakotwórczym lub mutagennym prac związanych z narażeniem na spaliny emitowane z silników Diesla.

Odrębnym regulacjom podlega również częstotliwość wykonywania pomiarów czynników rakotwórczych na stanowiskach pracy, która została zwiększona w stosunku do czynników szkodliwych niebędących rakotwórczymi, mutagennymi lub reprotoksycznymi. Podobnie jak w przypadku innych kancerogenów, zabronione jest zatrudnianie kobiet w ciąży oraz karmiących piersią przy pracach w narażeniu na spaliny emitowane z silników Diesla. Prawnie określono także warunki umożliwiające zatrudnianie młodocianych w wieku powyżej 16 lat przy pracach z substancjami, ich mieszaninami lub pyłami o działaniu rakotwórczym lub mutagennym uwalniającymi się w procesach technologicznych, w tym również spalin emitowanych z silników Diesla, gdy jest to niezbędne do ich kształcenia zawodowego.

OGÓLNA CHARAKTERYSTYKA I WŁAŚCIWOŚCI SPALIN EMITOWANYCH Z SILNIKÓW DIESLA

Powstawanie i skład chemiczny spalin z silników Diesla

Spaliny z silników Diesla to wieloskładnikowe mieszaniny różnorodnych związków chemicznych, powstające w wyniku niepełnego lub niecałkowitego spalania oleju napędowego, będącego paliwem w tego typu silnikach oraz oleju silnikowego, wraz z zawartymi w nich zanieczyszczeniami i dodatkami modyfikującymi. Spalanie niecałkowite i niepełne jest to niedoskonałe spalanie, w którym część paliwa opuszcza silnik w stanie niespalonym, np. w postaci sadzy (spalanie niecałkowite), a część, z powodu lokalnego braku tlenu albo wskutek niedokładnego wymieszania paliwa z utleniaczem lub zbyt niskiej temperatury procesu nie zostaje utleniona do końca (spalanie niezupełne).

Jedną z przyczyn nadmiernej emisji związków toksycznych jest praca silnika w tzw. stanach nieustalonych. Stany te obejmują przede wszystkim "zimne" rozruchy, niedogrzanie silnika, pracę na biegu jałowym oraz przy małym obciążeniu. W takich warunkach stan cieplny silnika jest niestabilny, co zakłóca reakcje zachodzące wewnątrz i na zewnątrz cylindra. W tych sytuacjach dochodzi do niepełnego i niecałkowitego spalania paliwa. Podczas zimnego rozruchu wydzielają się znacznie większe ilości węglowodorów, ponieważ wtryskiwane do cylindra paliwo nie ulega spalaniu z powodu braku samozapłonu. W drugiej fazie rozruchu, gdy dochodzi do samozapłonu, część paliwa ulega spalaniu, ale w niekorzystnych warunkach

przygotowania mieszanki paliwowo-powietrznej oraz przy zimnych ścianach cylindra. Prowadzi to do zwiększenia emisji zarówno węglowodorów, jak i cząstek stałych. Emisja związków toksycznych w fazie rozruchu jest również większa, im dłużej trwa rozruch.

Na skład emitowanych spalin powstających w silnikach wysokoprężnych mają wpływ takie parametry jak: skład i właściwości oleju napędowego, warunki jego spalania, stosowanie dodatków do paliwa, działanie systemu kontroli emisji oraz stan samego silnika (*Zielińska i in.* 2004). Szacuje się, że liczba produktów niepełnego spalania w silnikach Diesla może sięgać nawet kilku tysięcy związków występujących w różnych stanach skupienia: gazowym, stałym a także ciekłym (ROC 1998, *Pośniak i in.* 2010, *Szymańska i in.* 2019). Silniki wysokoprężne spalają przy nadmiarze powietrza (~25–30 części powietrza na 1 część paliwa). W rezultacie frakcja fazy gazowej składa się głównie z typowych gazów spalinowych, takich jak: azot (N_2), tlen (O_2), dwutlenek węgla (CO_2) i para wodna (H_2O). W wyniku niecałkowitego spalania faza gazowa zawiera także zanieczyszczenia: tlenek węgla (CO), tlenki siarki (SO_x), tlenki azotu (NO_x). Związki organiczne wchodzące w skład fazy gazowej obejmują: węglowodory alifatyczne o długościach łańcuchów C1-C18, znitrowane i utlenione pochodne tych węglowodorów, 2- do 4-pierścieniowe węglowodory aromatyczne (WWA), wielofunkcyjne pochodne WWA, związki heterocykliczne i ich pochodne (ROC 1998).

Oprócz dużej ilości emitowanych gazów, zjawiskiem charakterystycznym dla silników o zapłonie samoczynnym jest emisja cząstek stałych (PM), do których zaliczane są wszystkie substancje, opuszczające rurę wydechową w stanie innym niż gazowym, czyli jako krople cieczy lub cząstki w stanie stałym. W składzie chemicznym cząstek wchodzących w skład spalin z silników Diesla główne miejsce zajmuje węgiel pierwiastkowy występujący w postaci cząsteczek sadzy. Na powierzchni

węglowego „rdzenia” zaadsorbowane mogą być różne związki zarówno organiczne, jak i nieorganiczne, wśród których znajdują się węglowodory i ich pochodne oraz w mniejszej ilości: siarczany, azotany, metale i pierwiastki śladowe. Zestawienie najważniejszych związków wchodzących w skład spalin emitownych z silników Diesla przedstawiono w tabeli 1.

Tabela 1. Niektóre związki i grupy związków wchodzące w skład spalin z silników Diesla

Faza gazowa	Faza cząsteczkowa
- akroleina - amoniak - benzen - 1,3-butadien - formaldehyd - kwas mrówkowy - węglowodory (C1-C18) i ich pochodne - cyjanowodór - siarkowodór - metan - metanol - kwas azotowy - tlenki azotu - wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne (WWA) i ich pochodne	- węglowodory (C1-C18) i ich pochodne - nieorganiczne siarczany i azotany - metale (olów, platyna) - policykliczne węglowodory aromatyczne (WWA) i ich pochodne

Cząstki stałe tworzą 2 frakcje:

- rozpuszczalną – dającą się ekstrahować rozpuszczalnikami organicznymi (dichlorometan);
- nierozpuszczalną.

Frakcję rozpuszczalną cząstek emitowanych z silników Diesla stanowią węglowodory parafinowe, węglowodory aromatyczne (w tym WWA), aldehydy, aminy aromatyczne, pochodne fenolu, estry i alkohole (Czerczak i in. 2005). Zasadniczymi składnikami

frakcji nierozpuszczalnej są: sadza, związki siarki (m.in. SO_2), a także metale, które powstają na skutek procesów tarcia zachodzących pomiędzy elementami silnika (np.: ołów, glin, wapń, bar, platyna) (Pośniak i in. 2001, Pośniak 2003, Merkisz i in. 2005).

Cząstki powstające podczas spalania w silnikach z zapłonem samoczynnym mają bardzo mały rozmiar, a przez to ich powierzchnia właściwa jest bardzo duża w stosunku do objętości cząstek. Ze względu na dużą powierzchnię cząstki sadzy są w stanie adsorbować stosunkowo duże ilości związków organicznych. Zaadsorbowane pierwiastki i związki pochodzą z niespalonego paliwa, oleju silnikowego i pirosyntezy podczas spalania paliwa. Właśnie takie ultradrobne cząstki, na powierzchni których zaadsorbowane są liczne związki organiczne, o działaniu mutagennym lub rakotwórczym (np. WWA i ich pochodne), stanowią główny czynnik decydujący o rakotwórczości spalin z silników Diesla. Ilość zaadsorbowanych związków zależy od temperatury i stężenia węglowodorów – w temperaturze poniżej 500°C adsorbowane są cząsteczki o dużej masie cząsteczkowej (WWA, ketony, estry, etery i niespalone węglowodory).

Właściwości fizykochemiczne spalin z silników Diesla

Właściwości cząstek stałych zawartych w spalinach Diesla

Spaliny z silników Diesla stanowią specyficzny układ złożony z produktów niepełnego/niecałkowitego spalania oleju napędowego w silniku. Zasadniczymi komponentami spalin emitowanych przez silniki wysokoprężne są składniki gazowe. Specyficzną właściwością spalin silników tego typu jest zjawisko występowania licznie reprezentowanych, bardzo drobnych cząstek stałych (DEP). Szacuje się, że spaliny emitowane

z silników Diesla zawierają nawet do 100 razy więcej cząstek stałych niż spaliny pochodzące z silników benzynowych (NTP 2014). Rozkład emisji pomiędzy fazą gazową i cząstkową zależy od prężności pary, temperatury i stężenia poszczególnych substancji. Zwiększona emisja cząstek występuje w przypadku niedogrzanego silnika, zwłaszcza podczas tzw. zimnego rozruchu, pracy na biegu jałowym czy przy małym obciążeniu.

Właściwości cząstek ultradrobnych powstających w procesie spalania w silnikach Diesla są mocno zróżnicowane (tworzą układ polidispersyjny) zarówno w odniesieniu do właściwości fizycznych, takich jak wymiar czy kształt jak również pod kątem składu chemicznego. Cząstki stałe uwalniane przez silniki Diesla to najczęściej drobne cząstki określane jako frakcja PM_{2,5}, zawierająca w bardzo dużym odsetku cząstki ultradrobne (UFP), często w literaturze nazywane również nanocząstkami (NP), które mają wielkość poniżej 0,1 µm (*Ristovski i in.* 2006, *Bujak-Pietrek i in.* 2016). Wielkości pojedynczych cząstek emitowanych przez silniki benzynowe oszacowano w zakresie od kilku do kilkudziesięciu nm (*Harris i Maricq* 2001, *Ristovski i in.* 2006). Nanometrowej wielkości cząstki, zawarte w spalinach Diesla, mogą powstawać bezpośrednio w silniku na skutek niedoskonałego spalania paliwa, bądź też mogą tworzyć się na drodze kondensacji emitowanych zanieczyszczeń gazowych w określonych warunkach. W warunkach środowiskowych czas ich przebywania jako pojedynczych, niezależnych cząstek jest bardzo krótki. Cząstki te bardzo szybko łączą się ze sobą tworząc większe struktury: agregaty (o silnych, trwałych wiązaniach między- i wewnątrzcząsteczkowych) lub aglomeraty (o słabych, nietrwałych wiązaniach międzycząsteczkowych) (*Ono-Ogasawara i Smith* 2004). Średnice powstających agregatów cząstek mieszczą się w zakresie do 30 µm.

Wielkość i postać emitowanych cząstek stałych zależą od temperatury powstających spalin i warunków pracy silnika. W wyższych temperaturach średnice powstających cząstek są

mniejsze. Obserwuje się gwałtowny wzrost wymiarów cząstek w temperaturach z zakresu poniżej 160°C (*Merkisz i in.* 2005). Z uwagi na duże rozdrobnienie cząstki emitowane przez silniki Diesla wyróżniają się bardzo dużą powierzchnią właściwą wynoszącą 30-50 m²/g (ROC 1998). Powierzchnia tych cząstek często posiada wysoką reaktywność, umożliwiającą adsorbowanie różnych związków. Badania toksykologiczne wykazały, że przy tym samym stężeniu masowym cząstki o rozmiarach nanometrowych mogą wykazywać bardziej negatywne skutki zdrowotne niż większe cząstki. Rozkład wymiarów geometrycznych, ilość cząstek emitowanych przez silniki z zapłonem samoczynnym, ich morfologia i powierzchnia są ważne ze względu na ocenę wpływu cząstek na środowisko i organizm człowieka. Przyjmuje się, że około 92% cząstek emitowanych z silników ma średnicę mniejszą niż 1 µm, a ich mały rozmiar może sprawiać, że będą wysoce respirabilne (NTP 2014).

Z powodu dużego zróżnicowania kształtu pyłów i cząstek emitowanych do środowiska pracy, wymiary struktur je tworzących są pojęciem umownym i zależą od sposobu pomiaru. Aby określić wielkość cząstek, stosuje się tzw. średnicę aerodynamiczną (da). Pod względem wielkości cząstki są klasyfikowane w następujących kategoriach:

- cząstki bardzo grube – da 10 µm;
- cząstki grube – 2,5 µm < da ≤ 10 µm;
- cząstki drobne – 0,1 µm < da ≤ 2,5 µm;
- cząstki ultradrobne/nanocząstki – da ≤ 0,1 µm.

Przyjmuje się, że cząstki zawarte w spalinach emitowanych z silników Diesla należą do cząstek drobnych i ultradrobnych.

Możliwe jest określenie innych właściwości fizycznych spalin emitowanych z silników Diesla, jednak są one dość mocno przybliżone i ogólne. Dokładniejsza charakterystyka parametrów

fizycznych spalin nie jest możliwa, bowiem zależą one od wielu czynników wpływających na proces spalania w komorze silnika, takich jak skład oleju napędowego czy warunki pracy silnika. Dlatego też, w zależności od specyfiki ww. warunków, wartości parametrów fizycznych spalin są mocno zróżnicowane.

Zapach i widzialność

Spaliny z silników o zapłonie samoczynnym mają intensywny i charakterystyczny zapach, określany jako nieprzyjemny, zwłaszcza przy wysokich stężeniach tego czynnika. Próg wyczuwalności zapachu wynosi 320 ppm. Zapach spalin powstających na skutek pracy silników Diesla stanowi wypadkową zapachu tworzących je składników. Zestawienie wyników badań określających stężenia poszczególnych substancji wchodzących w skład gazów wydechowych i porównanie tych stężeń z progami zapachu tych substancji wykazało, że na intensywność zapachu spalin wpływają przede wszystkim następujące związki: aldehydy (zwłaszcza formaldehyd), ditlenek siarki, ditlenek azotu, organiczne związki siarki, organiczne związki azotu, niektóre węglowodory aromatyczne.

Spaliny Diesla mogą być widzialne jako ciemny dym, co jest spowodowane obecnością cząstek sadzy.

Temperatura i ciśnienie

Spalanie w silnikach Diesla zachodzi w specyficznych warunkach temperatury i ciśnienia, które są wynikiem procesu sprężania powietrza i wtrysku paliwa. Podczas sprężania, temperatura powietrza w komorze spalania może wzrosnąć do około

500°C–700°C. Po wtrysku paliwa i zapłonie, temperatura spalania może osiągnąć szczytowe wartości w zakresie od 1 800°C do 2 500°C, w zależności od konstrukcji silnika, obciążenia i prędkości obrotowej. Temperatura spalin opuszczających komorę spalania może wynosić od około 500°C do blisko 700°C. W miarę przepływu przez układ wydechowy, spaliny ulegają schłodzeniu. Na końcu układu wydechowego (przy wylocie) zazwyczaj temperatura ta ma wartość poniżej 200°C.

Przed zapłonem, ciśnienie powietrza w komorze spalania po sprężeniu (tzw. ciśnienia sprężania) osiąga wartości wynoszące od 30 do 50 barów (3 000 do 5 000 kPa). W momencie spalania, ciśnienie szczytowe może sięgać od 70 do 200 barów (7 000 do 20 000 kPa), co zależy od tych samych czynników co wartości temperatury. Ciśnienie spalin przy wylocie zależy od układu wydechowego i pracy turbosprężarki. Może ono być zróżnicowane, ale typowo jest wyższe niż w atmosferze (szczególnie przed katalizatorem i filtrem cząstek stałych – DPF).

Gęstość

Gęstość spalin jest mniejsza niż powietrza atmosferycznego z powodu ich wysokiej temperatury. Typowa gęstość spalin może wynosić około 1,1–1,3 kg/m³, w zależności od składu gazów i wartości temperatury.

NARAŻENIE ZAWODOWE

Narażenie na spaliny emitowane z silników Diesla dotyczy głównie pracowników wielu grup zawodowych, ale mogą one również stanowić zanieczyszczenie powietrza komunalnego, zwłaszcza w dużych miastach. Do grupy pracowników zawodowo narażonych na spaliny silników wysokoprężnych należą: operatorzy urządzeń zasilanych olejem napędowym (koparki, dźwigi, maszyny budowlane i rolnicze, wózki widłowe itp.), kierowcy, pracownicy zajezdni autobusowych i służb oczyszczania, mechanicy samochodowi, kolejarze, górnicy i inni pracownicy obsługujący takie urządzenia lub pracujący w ich bezpośrednim sąsiedztwie jak również pracownicy obsługi dróg i autostrad. Ponadto, źródłem ekspozycji na spaliny Diesla, poza pojazdami będącymi w ruchu, są również silniki przemysłowe w urządzeniach zamontowanych stacjonarnie w danym miejscu np.: w turbinach gazowych, urządzeniach napędowych w elektrowniach, w komorach spalania, na statkach.

Do grupy społeczeństwa, której narażenie nie jest zawodowe a wynika z ekspozycji środowiskowej, należą przede wszystkim mieszkańcy dużych miast, rejonów o dużym natężeniu ruchu drogowego oraz osoby dojeżdżające do pracy komunikacją miejską i międzymiastową, zwłaszcza kiedy podróż odbywa się przez tzw. miejsca przesiadek (*Karanasiou i in.* 2014, *Ronkko i Timonen* 2019).

Według danych przedstawionych w Summary Report (2018) szacuje się, że w krajach Unii Europejskiej narażenie na spaliny emitowane z silników wysokoprężnych, w warunkach

zawodowych dotyczy około 12 milionów pracowników. Przewidywania na przyszłość wskazują na tendencję wzrostową w tym zakresie – według szacunków do 2060 r. będzie około 20 milionów osób narażonych zawodowo na ten czynnik.

Dane Głównego Inspektoratu Sanitarnego

Dane z Głównego Inspektoratu Sanitarnego (GIS) z 2023 r. dotyczące ekspozycji pracowników na spaliny emitowane z silników Diesla mierzone jako frakcja respirabilna, w latach 2019–2022, przedstawiono w tabeli 2. Zgodnie z danymi GIS liczba pracowników zatrudnionych w warunkach narażenia od 2020 r. systematycznie wzrastała i w 2022 r. wynosiła odpowiednio:

- 3 520 pracowników zatrudnionych w warunkach powyżej 0,1 wartości NDS, ale poniżej 0,5 wartości NDS;
- 219 pracowników zatrudnionych w warunkach powyżej 0,5 NDS, ale poniżej 1 NDS;
- 83 pracowników zatrudnionych w warunkach powyżej wartości NDS.

Tabela 2. Dane liczbowe z zakresu narażenia pracowników na spaliny z silników Diesla – frakcja respirabilna 2019–2022 (GIS 2023).

Nazwa	Liczba pracowników zatrudnionych w warunkach					
	> 0,1 NDS – 0,5 NDS		> 0,5 NDS – NDS		> NDS	
spaliny emitowane z silników Diesla (frakcja respirabilna)	2019 r.					
	1 472		104		0	
	♀ 21	♂ 1 451	♀ 0	♂ 104	♀ 0	♂ 0
	2020 r.					
	1 283		32		3	
	♀ 31	♂ 1 252	♀ 0	♂ 32	♀ 0	♂ 3
	2021 r.					
	2 313		106		41	
	♀ 28	♂ 2 285	♀ 0	♂ 106	♀ 0	♂ 41

Nazwa	Liczba pracowników zatrudnionych w warunkach					
	> 0,1 NDS – 0,5 NDS		> 0,5 NDS – NDS		> NDS	
	2022 r.					
	3 520		219		83	
	♀ 54	♂ 3 466	♀ 0	♂ 219	♀ 0	♂ 83

♂ samice

♀ samice

Zgłoszone stanowiska pracy, na których miało miejsce narażenie na spaliny z silników Diesla – frakcję repirabilną to m.in.: mechanik samochodowy, diagnosta i serwisant podjazdowy, pracownik serwisu ogumienia, lakiernik samochodowy, kierowca, operator urządzeń i maszyn (w tym drogowych, leśnych itp.), operator wózków widłowych, maszynista lokomotywy, mechanik lokomotyw, pracownik utrzymania ruchu, operator: ładowarki, koparki, spycharki oraz urządzeń do sortowania i rozdrabniania surowców mineralnych, elektryk samochodowy, ładowacz śmieciarki, pracownik załadunku cysterny, robotnik budowlany, pracownik obsługi stacji paliw, strażak. Osoby zatrudnione w warunkach narażenia powyżej wartości dopuszczalnej to osoby zatrudnione na stanowiskach: mechanik samochodowy i diagnosta samochodowy.

Dane z Centralnego Rejestru Danych o Narażeniu na Substancje Chemiczne, ich Mieszaniny, Czynniki lub Procesy Technologiczne o Działaniu Rakotwórczym, Mutagennym lub Reprotoksycznym (CRCR)

Dane z Centralnego Rejestru Danych o Narażeniu na Substancje Chemiczne, ich Mieszaniny, Czynniki lub Procesy Technologiczne o Działaniu Rakotwórczym, Mutagennym lub Reprotoksycznym obejmują okres 2 lat, ponieważ dopiero od 2021 r. czynnik ten podlega obowiązkowi zgłaszania. W tabeli 3. przedstawiono liczbę pracowników narażonych na działanie spalin z silników Diesla

zgłaszanych do CRCR prowadzonego w Instytucie Medycyny Pracy im. prof. dr med. J. Nofera w Łodzi (CRCR 2023).

Tabela 3. Dane liczbowe z zakresu narażenia pracowników na spaliny z silników Diesla w Polsce w latach 2021–2022 na podstawie CRCR prowadzonego w Instytucie Medycyny Pracy im. prof. dr med. J. Nofera w Łodzi.

Czynnik	Rok	Liczba woje- wództw	Liczba zakła- dów	Liczba osób narażonych			Ogółem
				mężczyzn	kobiet		
					ogółem	w tym: w wieku do 45 lat	
prace związane z narażeniem na spaliny z silników Diesla	2021	16	381	19 662	243	151	19 905
	2022	16	805	24 015	297	159	24 312
	2023	16	1395	30 299	630	468	30 929

Ocena narażenia na spaliny emitowane z silników Diesla na stanowiskach pracy – badania własne IMP w Łodzi

W 2023 i 2024 r. w Zakładzie Bezpieczeństwa Chemicznego Instytutu Medycyny Pracy im. prof. dr med. J. Nofera w Łodzi w ramach realizacji zadania finansowanego przez Narodowy Program Zdrowia 2021–2025 (NPZ) dotyczącego podejmowania inicjatyw na rzecz profilaktyki chorób zawodowych i związanych z pracą oraz wzmocnienia zdrowia pracujących, przeprowadzono pomiary w celu oceny ekspozycji osób zatrudnionych w zakładach pracy na stanowiskach związanych z emisją spalin z silników Diesla.

Kryterium wyboru zakładów pracy oraz stanowisk do przeprowadzenia badań stanowiło szereg czynników, wśród których należy wymienić: prowadzenie działalności w przestrzeni zamkniętej tj. hala, garaż itp., większa liczba pojazdów lub maszyn w taborze, intensywność procesu itp. Wybór stanowisk pracy objętych badaniami przeprowadzono na podstawie danych o potencjalnym narażeniu na spaliny z silników Diesla np. z uwagi na specyfikę pracy. Dane te zostały pozyskane od pracowników BHP lub przedstawicieli zakładów pracy.

Łącznie wykonano pomiary na 16 stanowiskach w zakładach gdzie może dochodzić do emisji spalin z silników Diesla (w tym: zajezdnie autobusowe, serwisy samochodów ciężarowych – ciągników siodłowych i warsztat napraw samochodów ciężarowych).

Opisy miejsc wykonywania pomiarów i badań:

1. Zajezdnie autobusowe

Pomiary prowadzono na stanowiskach w halach obsługi codziennej (OC) dwóch zajezdni autobusowych. W halach OC dokonywane są codzienne przeglądy stanu technicznego autobusów, które były użytkowane w ciągu minionego dnia. W hali OC zajezdni autobusowych każdy pojazd podlega: przeglądom układów (hamulcowego, kierowniczego, zawieszenia i jezdnego), sprawdzeniu poziomu płynów, sprawdzeniu stanu kół i ogumienia, kontroli komory silnika oraz innym sprawdzeniom. Następnie autobusy są myte i sprzątane wewnątrz. Wiąże się to z przejazdem autobusów w sposób ciągły wzdłuż hali i ich zatrzymywaniem się na kolejnych stanowiskach na czas wykonywanych czynności.

2. Serwisy samochodów ciężarowych (tzw. ciągników siodłowych) oraz warsztat napraw samochodów ciężarowych.

Stanowiska badawcze zlokalizowano w halach gdzie wykonywano prace serwisowe oraz/lub naprawy samochodów ciężarowych. W halach podczas prowadzenia badań znajdowało się jednocześnie 6–8 pojazdów. Do emisji dochodziło podczas wjazdu i wyjazdu pojazdów z hali oraz podczas działań wynikających ze specyfiki obsługi czy naprawy danego pojazdu np. konieczność rozruchu silnika podczas naprawy czy sprawdzania samochodu.

Pobieranie próbek powietrza

Próbki powietrza pobierano metodą dozymetrii indywidualnej zgodnie z normą – PN-Z-04008-7:2002 "Ochrona czystości powietrza – Pobieranie próbek – Zasady pobierania próbek powietrza w środowisku pracy i interpretacji wyników". Próbki pobierano za pomocą aspiratorów indywidualnych (Gilair 5) Nominalny przepływ powietrza dla stosowanych próbników (głowic pomiarowych) do frakcji respirabilnej wynosi 2,2 l/min, natomiast dla próbników do oznaczania węgla elementarnego wynosił 2,0 l/min. Króciec wlotowy aspiratorów łączono plastikowymi wężykami z głowicami pomiarowymi:

- do oznaczeń frakcji respirabilnej – FH022 (typ Higgins-Dewell); w głowicach umieszczono filtry FIPRO – z włókien polipropylenowych o średnicy 37 mm, uprzednio kondycjonowane min 20 godzin w eksykatorze i zważone na wadze z podziałką elementarną 0,01 mg;
- do oznaczania węgla elementarnego stosowano próbники bez impaktora (w badanych zakładach nie występowały inne źródła węgla), w których umieszczono filtry kwarcowe.

Zestawy pomiarowe (aspiratory wraz z głowicami) umieszczano na pracownikach. Wloty próbników były usytuowane w strefie oddychania pracownika na danym stanowisku pracy. Strefę oddychania pracownika definiuje się jako półkulę o promieniu 30 cm, znajdującą się wokół twarzy, o środku w połowie linii łączącej uszy, a podstawą tej półkuli jest płaszczyzna przechodząca przez tę linię oraz czubek głowy i krtani bez względu na charakter pracy i wykonywane czynności. Czas pobierania próbek wynosił 4 godziny i obejmował cały okres przebywania pracowników w strefie emisji spalin przypadający na zmianę roboczą. Każdorazowo na stanowiskach pracy mierzono warunki środowiska: temperatura, ciśnienie i wilgotność.

Oznaczenie stężeń spalin z silników Diesla – frakcji respirabilnej na stanowiskach pracy

Filtry z pobranymi próbkami powietrza umieszczano w eksykatorze na min 20 godzin. Następnie przeprowadzono analizę grawimetryczną pobranych próbek pyłu. Określenie stężenia spalin z silników Diesla – frakcji respirabilnej wykonano zgodnie z normą PN-Z-04508:2022-05+Ap1:2002-08 „Ochrona czystości powietrza. Oznaczanie frakcji respirabilnej aerozolu na stanowiskach pracy metodą grawimetryczną”. Wymagania tej normy zostały spełnione przy realizacji badań.

Stężenie spalin z silników Diesla – frakcji respirabilnej na stanowiskach pracy obliczano z odniesienia masy pyłu zatrzymanego na filtrze (obliczonego jako różnicę masy filtra ważonego po pobraniu próbek i masy filtra przed pobraniem) do objętości pobranego powietrza. Otrzymane wartości stężeń przeliczono na warunki odniesienia określone w Rozporządzeniu MRPiPS z dnia 12.06.2018 r. (Dz.U. 2018 poz. 1286) – odnoszące

się do pomiaru wykonywanego w temperaturze odniesienia 20°C i przy ciśnieniu atmosferycznym odniesienia 101,3 kPa.

Wyniki oznaczania stężeń spalin z silników Diesla – frakcji respirabilnej przedstawiono w tabeli 4.

Tabela 4. Wyniki oznaczania stężenia spalin silników Diesla – frakcji respirabilnej na stanowiskach pracy w Polsce.

Zakład pracy	Numer stanowiska	Stężenie spalin silników Diesla – frakcja respirabilna (mg/m ³)	Krotność NDS ¹⁾
Zajezdnia 1	1	0,15	0,30
	2	0,13	0,27
	3	0,15	0,30
	4	0,19	0,38
Zajezdnia 2	5	0,04	0,08
	6	0,00	–
	7	0,00	–
	8	0,00	–
Serwis 1	9	0,00	–
	10	0,02	0,04
	11	0,04	0,08
	12	0,02	0,04
	13	0,08	0,15
Serwis 2	14	0,00	–
Warsztat	15	0,11	0,23
	16	0,06	0,11

- 1) Zgodnie z Rozporządzeniem Ministra Rodziny, Pracy i Polityki Społecznej z dnia 12 czerwca 2018 r. *w sprawie najwyższych dopuszczalnych stężeń i natężeń czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy* (Dz.U. 2018 poz. 1286) wartość NDS dla spalin emitowanych z silników Diesla – frakcja respirabilna wynosiła 0,5 mg/m³ i zgodnie z Rozporządzeniem Ministra Rozwoju, Pracy i Technologii z dnia 18 lutego 2021 r. (Dz.U. 2021 poz. 325) obowiązywała do dnia 20 lutego 2023 r. (z wyjątkiem sektora górnictwa podziemnego i budowy tuneli gdzie wartość NDS dla spalin emitowanych z silników Diesla – frakcji respirabilnej wynosi 0,5 mg/m³ do dnia 20 lutego 2026 r.).

W odniesieniu do powyższej wartości stwierdzono, że na siedmiu badanych stanowiskach stężenie spalin z silników Diesla mieściło

się na poziomie w zakresie od 0,1 – 0,5 wartości NDS obowiązującej dla frakcji respirabilnej do dnia 20 lutego 2023 r.

Oznaczenie stężeń spalin emitowanych z silników Diesla mierzonych jako węgiel elementarny

Stężenie spalin emitowanych z silników Diesla mierzonych jako węgiel elementarny na stanowiskach pracy oznaczono techniką analizy termo-optycznej z detekcją płomieniowo-jonizacyjną wg *Szewczyńska i in.* (2020). Analiza pobranych próbek została wykonana przez Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy, posiadający akredytację na badania w powyższym zakresie. Wyniki oznaczania stężeń spalin emitowanych z silników Diesla mierzonych jako węgiel elementarny (EC) przedstawiono w tabeli 5.

Tabela 5. Wyniki oznaczania stężenia spalin emitowanych z silników Diesla mierzonych jako węgiel elementarny (EC) na stanowiskach pracy.

Zakład pracy	Liczba stanowisk	Zawartość EC w próbce ($\mu\text{g}/\text{cm}^2$)	Stężenie spalin emitowanych z silników Diesla mierzonych jako EC (mg/m^3)
Zajezdnia 1	4 stanowiska	<0,46 ¹⁾	<0,008 ²⁾
Zajezdnia 2	4 stanowiska	<0,46 ¹⁾	<0,008 ²⁾
Serwis 1	5 stanowiska	<0,46 ¹⁾	<0,008 ²⁾
Serwis 2	1 stanowisko	<0,46 ¹⁾	<0,008 ²⁾
Warsztat	2 stanowiska	<0,46 ¹⁾	<0,008 ²⁾

- 1) Rezultat poprzedzony znakiem „<” oznacza wartość poniżej dolnego zakresu pomiarowego, wynoszącego 0,46 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ i będącego granicą oznaczalności wyznaczoną w Laboratorium wykonującego analizę.
- 2) Rezultat uzyskany poprzez odniesienie zawartości EC w próbce ($\mu\text{g}/\text{cm}^2$) do objętości pobranego powietrza.

Na żadnym ze stanowisk wybranych do przeprowadzenia oceny ekspozycji na spaliny emitowane z silników Diesla mierzone jako

węgiel elementarny nie stwierdzono poziomów stężeń w zakresie powyżej granicy oznaczania ilościowego zastosowanej metody. Tym samym stężenia na wszystkich badanych stanowiskach były poniżej 0,1 wartości NDS wynoszącej 0,05 mg/m³ (obowiązującej po dniu 20 lutego 2023 r. zgodnie z Rozporządzeniem Ministra Rozwoju, Pracy i Technologii z dnia 18 lutego 2021 r. zmieniającym rozporządzenie w sprawie najwyższych dopuszczalnych stężeń i natężeń czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy (Dz.U. 2021 poz. 325)).

Oznaczenie parametrów cząstek ultradrobnych/nanocząstek zawartych w spalinach emitowanych z silników Diesla

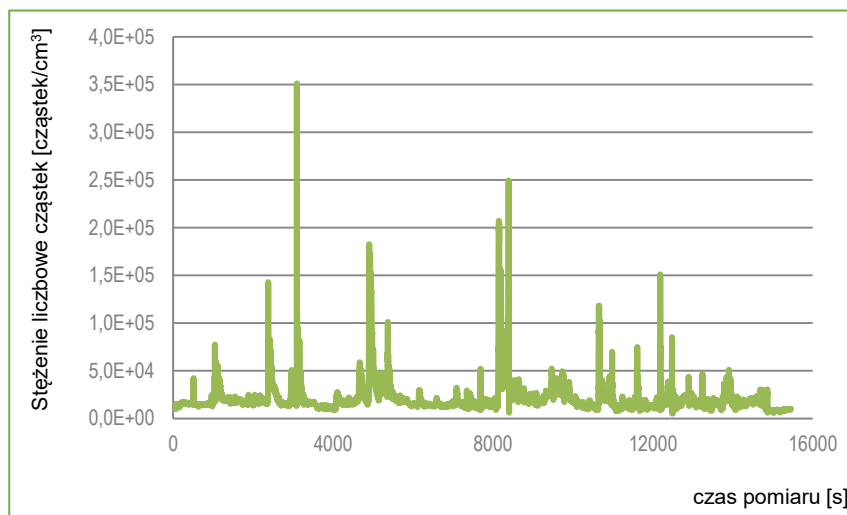
Ocena stopnia uwalniania cząstek ultradrobnych/nanocząstek na objętych badaniem stanowiskach pracy obejmowała oznaczenie takich parametrów ich występowania jak: stężenie liczbowe cząstek, ich średnia średnica oraz określenie stężenia powierzchniowego cząstek potencjalnie deponowanych w części pęcherzykowej dróg oddechowych LDSA. Zakres pomiarowy obejmuje cząstki o wymiarach 10 nm – 700 nm z wartością modalną 10 – 300 nm.

Strategia prowadzenia pomiarów za pomocą mierników do pomiaru cząstek ultradrobnych/nanocząstek uwzględniała następujące etapy pomiarów:

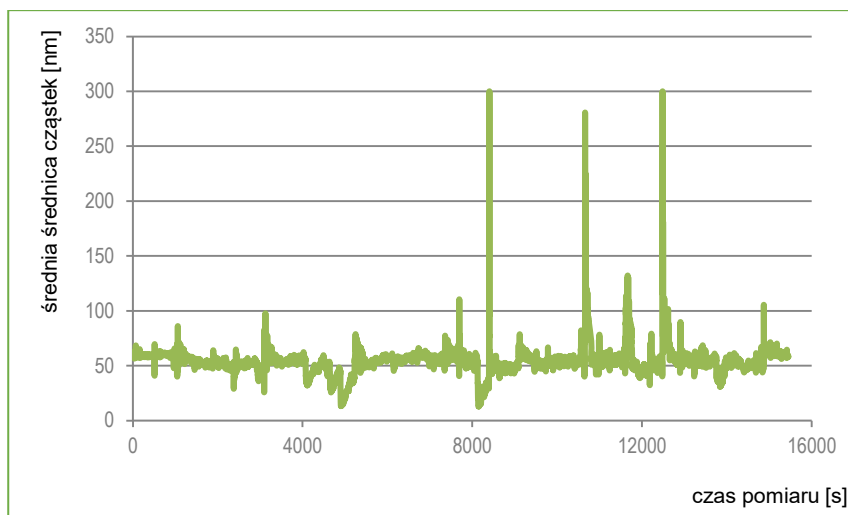
1. przed rozpoczęciem wykonywania czynności na danym stanowisku pracy (tłó);
2. w czasie wykonywania prac, podczas których dochodziło do emisji cząstek z pojazdów;
3. po zakończeniu prac.

Pomiar tła prowadzono z uwagi na brak norm regulujących prowadzenie pomiaru dla tak małych cząstek oraz ze względu na brak wartości dopuszczalnej dla cząstek o rozmiarach nanometrowych, jakimi są cząstki zawarte w spalinach z silników Diesla. Aparatura do przeprowadzenia pomiarów była umieszczana na wysokości odpowiadającej wysokości głowy pracownika w rejonie odpowiadającym strefie oddychania.

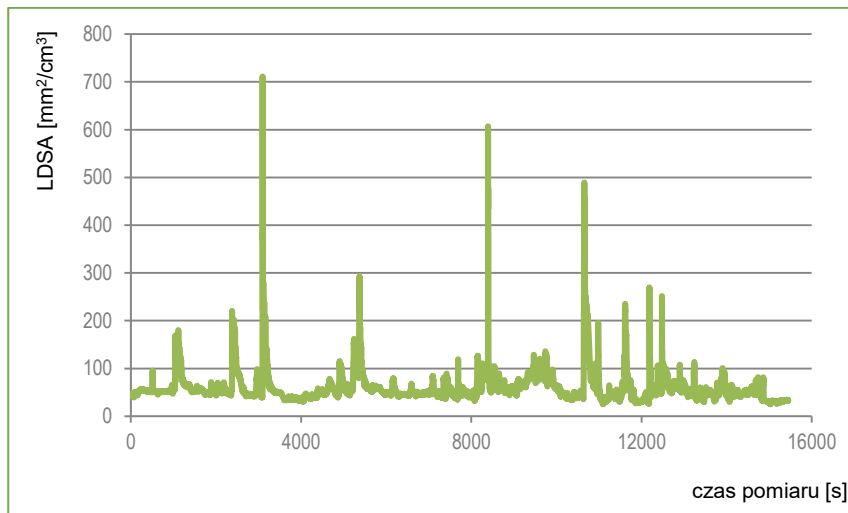
Wyniki oznaczania parametrów dotyczących cząstek ultradrobnych/nanocząstek na wybranym stanowisku pracy przedstawiają rysunki 1–6.



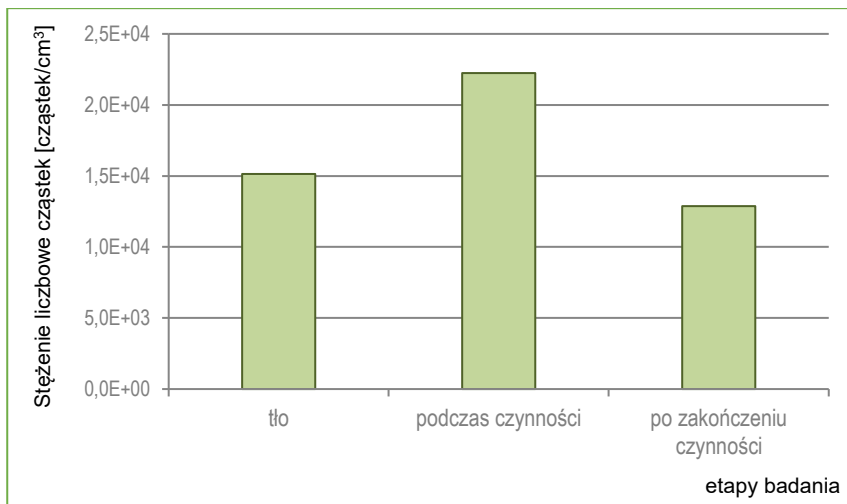
Rysunek 1. Wartości stężenia liczbowego cząstek ultradrobnych/nanocząstek emitowanych z silników Diesla na stanowisku pracy w zajezdni autobusowej.



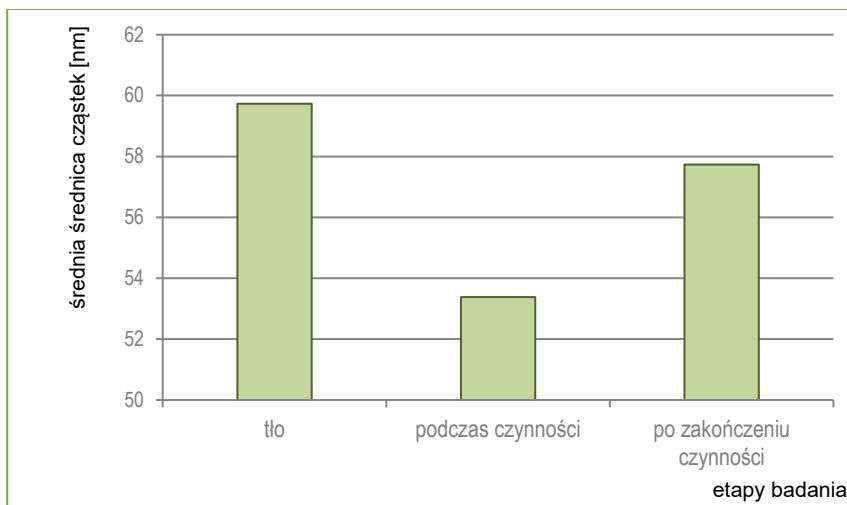
Rysunek 2. Średnia średnica cząstek ultradrobnych/nanocząstek emitowanych z silników Diesla na stanowisku pracy w zajezdni autobusowej.



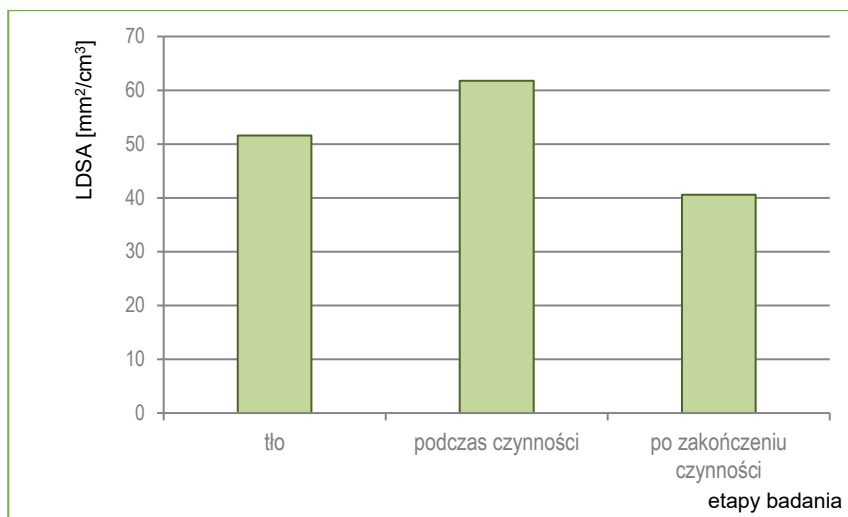
Rysunek 3. Wartości stężenia powierzchniowego (LDZA) cząstek ultradrobnych/nanocząstek emitowanych z silników Diesla na stanowisku pracy w zajezdni autobusowej.



Rysunek 4. Średnie wartości stężenia liczbowego cząstek ultradrobnych/nanocząstek emitowanych z silników Diesla na stanowisku pracy w zajezdni autobusowej podczas różnych etapów badania.



Rysunek 5. Uśrednione wartości średnic cząstek ultradrobnych/nanocząstek emitowanych z silników Diesla na stanowisku pracy w zajezdni autobusowej podczas różnych etapów badania.



Rysunek 6. Średnie wartości stężenia powierzchniowego (LDSA) cząstek ultradrobnych/nanocząstek emitowanych z silników Diesla na stanowisku pracy w zajezdni autobusowej podczas różnych etapów badania.

Omówienie wyników oznaczania parametrów dotyczących cząstek ultradrobnych/nanocząstek miernikami DiscMINI

Średnie stężenie liczbowe cząstek emitowanych z silników Diesla wynosiło $2,2 \cdot 10^4$ podczas gdy stężenie cząstek tła (mierzone przed rozpoczęciem prac w hali OC) w zajezdni wynosiło $1,5 \cdot 10^4$ (rys. 4.).

Średnie średnice cząstek emitowanych podczas przejeżdżania autobusów przez halę OC były mniejsze niż średnice cząstek tła, co może wskazywać na fakt, że cząstki emitowane z silników Diesla są drobniejsze od cząstek pyłu osiadłego w pomieszczeniu (rys. 5.).

Przy wzroście liczby cząstek o wyjątkowo małych rozmiarach obserwowano wzrost średniej wartości stężenia powierzchniowego

cząstek (LDSA) podczas analizowanych procesów o około 20% z wartości $51,6 \text{ mm}^2/\text{cm}^3$ stwierdzonej przed rozpoczęciem prac w hali OC do wartości $61,8 \text{ mm}^2/\text{cm}^3$ w trakcie emisji spalin z przejeżdżających pojazdów (rys. 6.). Należy tu pamiętać, że stosunek powierzchni do objętości w przypadku cząstek mniejszych jest relatywnie większy, niż w przypadku cząstek dużych. Z analizy wartości średnic cząstek wynika, że wielkości cząstek emitowanych z silników Diesla mieściły się głównie w zakresie do ok. 300 nm, a zdecydowana ich większość miała wymiar poniżej 100 nm (rys. 2.).

Badania cząstek ultradrobnych/nanocząstek są stosunkowo nową dziedziną badawczą, dlatego też pomiary wykonywane przez Instytut Medycyny Pracy im. prof. dr med. J. Nofera w Łodzi mają charakter pilotażowy – nie są to rutynowo wykonywane pomiary na stanowiskach pracy. Rezultaty tych badań mają charakter informacyjny i mogą służyć rozeznaniu w zakresie parametrów charakteryzujących emisję cząstek o wymiarach nanometrowych w procesach technologicznych poprzez odniesienie ich do wartości tła. Są one również innowacyjnym elementem mogącym znaleźć zastosowanie w ocenie narażenia z uwagi na możliwość rejestrowania wyników pomiarów w czasie rzeczywistym, co pozwala na precyzyjne określenie wyższych stężeń w krótkich czasach (nie tylko stężeń chwilowych rozumianych jako 15-minutowe). Aktualnie brak jest wytycznych, norm oraz wartości dopuszczalnych w zakresie cząstek i obiektów w skali nanometrowej.

SKUTKI ZDROWOTNE NARAŻENIA NA SPALINY EMITOWANE Z SILNIKÓW DIESLA

W warunkach narażenia zawodowego główną drogą wchłaniania związków i cząstek zawartych w spalinach Diesla są drogi oddechowe. Rozpuszczalne składniki fazy gazowej ulegają absorpcji w górnych drogach oddechowych, natomiast cząstki stałe zawarte w spalinach ulegają wchłanianiu w całym układzie oddechowym, przy czym znaczna większość cząstek dociera do pęcherzyków płucnych i tam są deponowane (EPA 2002). W badaniach wykazano, że ok. 60% wchłoniętych cząstek dociera do pęcherzyków płucnych. Oszacowano, że duży wysiłek fizyczny zwiększa całkowitą absorpcję w układzie oddechowym 4–5 razy, a w pęcherzykach płucnych 5–6 razy (*Oravisjärvi i in.* 2014).

Z obszaru tchawiczo-oskrzelowego cząstki stałe pochodzące ze spalania oleju napędowego są usuwane do układu pokarmowego (transport śluzowo-rzęskowy) w ciągu 24 godzin (WHO 1996). Natomiast zasadniczym mechanizmem usuwania cząstek z obszaru pęcherzyków płucnych jest fagocytoza (pochłanianie) przez makrofagi pęcherzykowe. Dlatego konsekwencją narażenia na spaliny Diesla jest zwiększona liczba makrofagów „obciążonych” cząsteczkami. Spaliny z silników Diesla przy wysokich poziomach ekspozycji mogą uszkadzać makrofagi i prowadzić do osłabienia ich zdolności fagocytujących, co skutkuje nagromadzeniem cząstek w płucach.

Cząstki stałe pochodzące z procesów spalania w silnikach Diesla, podobnie jak inne rodzaje cząstek drobnych i ultradrobnych, poza osadzaniem się w drogach oddechowych, mogą przenikać się

przez nabłonek pęcherzyków płucnych do śródmiąższowych węzłów chłonnych, a w konsekwencji do krążenia ogólnoustrojowego i kumulować się w innych, niekiedy odległych, tkankach i narządach, również w mózgu (EPA 2002, *Szymańska i in.* 2019). Wiele doniesień wskazuje, że najpoważniejszymi efektami zdrowotnymi wynikającymi z narażenia zawodowego czy środowiskowego na nanometrowej wielkości cząstki emitowane z silników Diesla są choroby układu oddechowego i układu krążenia, włącznie z chorobami nowotworowymi. Narażenie na spaliny emitowane z silników Diesla mogą być także przyczyną zaostrzenia istniejących już chorób, np. osoby narażone na spaliny Diesla mogą doświadczyć zaostrzeń objawów alergii astmy, w tym wzmożonych ataków astmatycznych. W tabeli 6. zestawiono najczęstsze negatywne skutki zdrowotne wynikające z zawodowego narażenia na spaliny emitowane z silników Diesla.

Tabela 6. Negatywne skutki zdrowotne wynikające z narażenia na spaliny z silników Diesla na drogi oddechowe.

Narażenie krótkotrwałe	Narażenie długotrwałe
– podrażnienie: oczu, nosa, gardła, oskrzeli – kaszel – bóle i zawroty głowy – wymioty – zgaga – ucisk w klatce piersiowej	– choroby serca i płuc (np. obturacyjne zaburzenia wentylacji płuc) – zwiększone ryzyko raka płuca

Działanie toksyczne

Zatrucia ostre

Spaliny emitowane przez silniki Diesla zawierają mieszanke związków chemicznych, które mogą działać drażniaco na błony śluzowe oczu i górnych dróg oddechowych np.: ditlenek siarki,

tlenki azotu i aldehydy (*Taxell i Santonen 2016*). Ostre zatrucia spalinami Diesla objawiają się zaczerwienieniem, pieczeniem i łzawieniem oczu, podrażnieniem nosa i gardła. Podrażnienie spojówek oczu uważane jest za jeden z bardziej czułych wskaźników ekspozycji na spaliny emitowane z silników Diesla (*Czerczak i in. 2005*). W klinicznym obrazie ostrego zatrucia spalinami można wyróżnić również takie dolegliwości ze strony układu oddechowego jak: kaszel, duszność, uczucie pieczenia w drogach oddechowych czy świszczący oddech, a także bóle i zawroty głowy, nudności i zmęczenie.

Badania przeprowadzone na ochotnikach (*Salvi i in. 2000, Behndig i in. 2006*) wykazały wzrost liczby neutrofili i limfocytów B oraz poziomu histaminy w układzie oddechowym po krótkotrwałej ekspozycji na spaliny. Zwiększyła się również liczba komórek zapalnych, takich jak neutrofile i komórki tuczne, w oskrzelach oraz we krwi obwodowej. U niektórych osób ekspozycja powodowała podrażnienie błon śluzowych nosa, gardła oraz skurcz oskrzeli; jednak zmiany te ustępowały po kilku godzinach.

Zaobserwowano również wzrost stężenia prozapalnych cytokin w śluzówce oskrzeli oraz reaktywność oskrzeli w odpowiedzi na większe stężenia cząstek stałych. W przypadku osób chorych na astmę odnotowano zwiększoną nadreaktywność oskrzeli oraz spadek natężonej objętości wydechowej (*Mudway i in. 2004*).

W skrajnych przypadkach ekspozycja na wysokie stężenia spalin może prowadzić do poważniejszych problemów zdrowotnych, takich jak zatrucie tlenkiem węgla, które może być groźne dla życia.

Przewlekłe zatrucia spalinami z silników Diesla obserwowane są na ogół u osób zawodowo narażonych na ten czynnik przez okres co najmniej kilku lat. Z uwagi na szeroki i zróżnicowany skład spalin, przedłużona ekspozycja na nie może mieć różnorodne efekty zdrowotne zarówno krótko-, jak i długoterminowe. W obrazie klinicznym przewlekłego zatrucia spalinami silników wysokoprężnych dominują zmiany czynnościowe i morfologiczne w układzie oddechowym (Czerczak i in. 2005). Przedłużające się narażenie na wysokie stężenia spalin powoduje: kumulację cząstek stałych w makrofagach, zmiany w komórkach płuc, zwłóknienie i metaplastję nabłonka, co wiąże się z zaburzeniem klirensu płuc. Przewlekła ekspozycja na cząstki stałe zawarte w spalinach oraz na tlenki azotu może prowadzić do przewlekłej obturacyjnej choroby płuc (POChP), która ogranicza wydolność oddechową. Długotrwałe narażenie na spaliny może prowadzić również do przewlekłego zapalenia oskrzeli, które objawia się uporczywym kaszlem, nadmierną produkcją wydzieliny z oskrzeli i dusznościami.

Długotrwałe narażenie na spaliny emitowane z silników o zapłonie samoczynnym przyczynia się również do rozwoju chorób układu sercowo-naczyniowego. Wśród nich można zaobserwować: niedokrwienie mięśnia sercowego, stany zapalne naczyń krwionośnych, wzrost ciśnienia krwi (nadciśnienie) i zwiększenie ryzyka incydentów sercowo-naczyniowych takich jak zawał czy udar. Zmiany w układzie oddechowym i niedokrwienie mięśnia sercowego mogą być również (obok zmian kancerogennych) przyczyną wzrostu umieralności w populacjach osób narażonych na spaliny emitowane z silników Diesla (IARC 2014, Health Council.... 2019)

W badaniu kohortowym obejmującym 12 315 pracowników ośmiu kopalń w USA, zatrudnionych w latach 1960–1997 wskazano

następujące jednostki chorobowe (z wyłączeniem nowotworów), jako przyczynę zgonów: zapalenie płuc (50 przypadków), przewlekła obturacyjna choroba płuc (90 przypadków), choroba niedokrwienna serca (582 przypadki), choroba naczyniowo-mózgowa (96 przypadków) oraz marskość i inne przewlekłe choroby wątroby (47 przypadków). Zauważono, że najczęstszą przyczyną zgonów w badanej populacji była choroba niedokrwienna serca, odpowiadająca za 582 przypadki, podczas gdy nowotwory były przyczyną 556 zgonów (*Attfield i in.* 2012).

U pracowników kopalni soli w Niemczech, narażonych na pyły oraz spaliny emitowane przez silniki Diesla, zaobserwowano pogorszenie czynności płuc. Średnie stężenia składników spalin obejmowały: 90 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ węgla pierwiastkowego, 0,4–0,5 ppm NO_2 , 1,4–1,7 ppm NO, 7,1–13,0 mg/m^3 pyłów frakcji wdychalnej oraz 0,8–2,4 mg/m^3 pyłów frakcji respirabilnej (*Health Council...* 2019).

Poparciem dla teorii, że narażenie na spaliny Diesla może być związane z niekorzystnymi skutkami dla płuc i niedokrwiennymi chorobami serca mogą być wyniki badań środowiskowych, dotyczących zagrożeń dla zdrowia wynikających z zanieczyszczenia powietrza atmosferycznego, w szczególności zanieczyszczeń spowodowanych emisjami komunikacyjnymi. Wiele z tych badań wykazało silne powiązania między długoterminowym narażeniem na zanieczyszczone powietrze atmosferyczne i zwiększone ryzyko pogorszenia funkcji płuc, zaostrzenie wcześniej istniejących schorzeń układu oddechowego (POCHP, astma) i umieralność z przyczyn sercowo-naczyniowych u dorosłych. Nadal jednak nie wyjaśniono, który ze składników emitowanych spalin jest w większym stopniu powiązany z wystąpieniem szkodliwych skutków zdrowotnych – ultradrobne cząstki stałe czy inne składniki występujące w fazie gazowej.

Ekspozycja na spaliny z silników Diesla może powodować zaburzenia ze strony układu nerwowego prowadząc do problemów

z koncentracją, pamięcią i ogólnym osłabieniem funkcji poznawczych. Niektóre badania sugerują, że długotrwałe narażenie na cząstki stałe zawarte w spalinach mogą prowadzić do przewlekłych stanów zapalnych w mózgu i są powiązane z rozwojem chorób neurodegeneracyjnych w tym również choroby Alzheimera i Parkinsona (*Cacciottolo i in.* 2017, *Block i Calderón-Garcidueñas* 2020).

Spaliny Diesla mogą działać immunosupresyjnie, zmniejszając zdolność organizmu do walki z infekcjami. Badania wykazały, że cząstki stałe zawarte w spalinach Diesla mogą zaburzać funkcjonowanie makrofagów płucnych, co zmniejsza zdolność organizmu do zwalczania patogenów, takich jak wirusy i bakterie. Może to prowadzić do zwiększonej podatności na infekcje, zwłaszcza układu oddechowego, w tym zapalenie oskrzeli, grypę, czy COVID-19. Działanie to wynika głównie z zawartości takich składników spalin Diesla jak: ultradrobne cząstki stałe, tlenki azotu (NO_x) i wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne (WWA), które mogą osłabiać funkcje układu odpornościowego oraz prowadzić do stanów zapalnych w organizmie (*Leonardi* 2000, *IARC* 2014, *Poniedziałek i in.* 2024).

Badaniom poddano również wpływ narażenia na spaliny powstające w silnikach z zapłonem samoczynnym na płodność, rozwój płodu i dzieci. W ramach systematycznego przeglądu prac, prowadzonego w celu oceny wpływu narażenia zawodowego i środowiskowego na parametry nasienia, przytoczono badania przeprowadzone na grupach mężczyzn pracujących jako poborcy opłat na autostradach, narażonych na spaliny Diesla i nienarażonych zdrowych mężczyzn np. pracujących jako personel biurowy. Stężenie plemników, całkowita liczba plemników, całkowita i postępową ruchliwość były istotnie mniejsze u mężczyzn narażonych w porównaniu z grupą kontrolną. Podobnie odsetek plemników o prawidłowej morfologii był istotnie niższy w grupie badanej niż w grupie kontrolnej (*Jurewicz i in.* 2018).

W badaniach wykazano, że kobiety ciężarne narażone na wysokie poziomy zanieczyszczeń pochodzących z ruchu ulicznego, w tym spaliny Diesla, są bardziej podatne na wystąpienie powikłań ciążowych, przedwczesny poród oraz ryzyko urodzenia dziecka z małą masą urodzeniową (*Stieb i in. 2012, Pedersen i in. 2014*).

U dzieci, które były narażone na spaliny Diesla w okresie prenatalnym i wczesnym dzieciństwie obserwuje się większą podatność na rozwój chorób układu oddechowego m.in. astmy. U dzieci narażonych na wysokie poziomy zanieczyszczeń zawierających spaliny Diesla, może wystąpić opóźnienie w rozwoju poznawczym oraz problemy z koncentracją i pamięcią (*Calderón-Garcidueñas i in. 2015, Hehua i in. 2017*).

Działanie mutagenne i genotoksyczne

Badania nad mutagennością spalin powstających w silnikach wysokoprężnych wykazały, że ekspozycja na ten czynnik, nawet przy wysokich jego stężeniach, nie prowadzi jednoznacznie do zwiększenia aktywności mutagennej metabolitów wydalanych z moczem u osób narażonych zawodowo. W próbkach moczu pobranych od pracowników podczas ekspozycji na spaliny oraz w czasie bez ekspozycji, aktywność mutagenna metabolitów była podobna. Nie zaobserwowano istotnych wzrostów aktywności mutagennej moczu również w badaniu przeprowadzonym na ochotnikach eksponowanych na spaliny emitowane z silników Diesla. Podobnie, nie zaobserwowano zwiększonej mutagenności metabolitów zawartych w moczu wśród załóg statków oraz promów samochodowych, a także pracowników garażu autobusowego narażonych zawodowo na spaliny benzyny i oleju napędowego (*Ulfvarson i in. 1987, IARC 1989*).

W dwóch badaniach po krótkotrwałej, kontrolowanej ekspozycji na spaliny Diesla, wykazano aktywację genów związanych ze stresem oksydacyjnym (*Peretz i in. 2008, Pettit i in. 2012*).

W ograniczonej liczbie badań dotyczących działania genotoksycznego u pracowników narażonych głównie na spaliny z silników Diesla nie wykazano wyraźnego wpływu ekspozycji na genotoksyczność. Odnotowano jedynie niewielkie wzrosty częstości mikrojąder w limfocytach pracowników tuneli i mechaników (*Schoke i in. 1999, Villarini i in. 2008*) oraz wzrost liczby pęknięć DNA w limfocytach u górników podziemnych (*Knudsen i in. 2005*). Jednak w badaniach innych grup zawodowych (kolejarzy, mechaników samochodowych) nie stwierdzono istotnych korelacji między ekspozycją a efektami genotoksycznymi.

Badania przeprowadzone wśród kierowców autobusów i taksówek, policjantów drogowych oraz personelu lotniskowego, narażonych na spaliny występujące jako zanieczyszczenie powietrza komunalnego wykazały wpływ genotoksyczny w postaci wzrostu aberracji chromosomowych, mikrojąder oraz markerów stresu oksydacyjnego (IARC 2014). Efekt ten może być jednak wywoływany przez obecność innych zanieczyszczeń powietrza.

Dotychczas nie przeprowadzono badań *in vitro* nad genotoksycznością spalin emitowanych przez nowoczesne silniki Diesla, spełniające bieżące normy emisyjne. W badaniu inhalacyjnym na gryzoniach, narażanych na spaliny silnika Diesla spełniającego normy emisji USA z 2007 r., nie wykazano działania genotoksycznego ani oksydacyjnych uszkodzeń DNA, co tłumaczono niższym poziomem cząstek stałych niż w spalinach powstających w starszych silnikach. Jest to przesłanką do stwierdzenia, że zastosowanie nowoczesnych technologii w silnikach Diesla może obniżyć genotoksyczność spalin (*Taxell i Santonen 2016*).

Działanie rakotwórcze

Działanie rakotwórcze spalin emitowanych z silników Diesla zostało potwierdzone na podstawie wieloletnich badań epidemiologicznych. Opublikowane dane koncentrują się głównie na wpływie spalin z silników starszej generacji na rozwój raka płuc oraz pęcherza moczowego. Ocena narażenia na spaliny silników z zapłonem samoczynnym oraz wynikającego z niego ryzyka wystąpienia nowotworu jest utrudniona i skomplikowana z powodu takich czynników jak:

- narażenie na kilka substancji szkodliwych jednocześnie – spaliny Diesla stanowią złożoną mieszaninę wielu zróżnicowanych związków, w tym: cząstek stałych, substancji w stanie gazowym, związków organicznych oraz nieorganicznych;
- niejednorodne źródła emisji obejmujące spalanie oleju napędowego zarówno w silnikach starszej generacji, jak i w silnikach nowszego typu, spełniających określone normy emisyjne;
- różne podejścia do oceny narażenia – badania mogą opierać się na ankietach lub na przeprowadzonych pomiarach stężeń różnych parametrów jakości powietrza takich jak: cząstki stałe, węglowodory aromatyczne (WWA), tlenek węgla, ozon czy tlenki azotu;
- brak dostępu do kompletnych informacji – niejednokrotnie w dokumentacjach badań brakuje danych dotyczących czynników zakłócających takich jak: palenie tytoniu czy narażenia na spaliny z silników benzynowych;
- heterogenność grupy narażonej – osoby zawodowo narażone na spaliny z silników Diesla należą do różnych grup

zawodowych np.: kierowców, pracowników warsztatów czy górników, co dodatkowo komplikuje ocenę ryzyka.

Międzynarodowa Agencja Badań nad Rakiem w 2012 r. uznała mieszaninę spalin emitowanych z silników Diesla za rakotwórczą dla ludzi – Grupa 1 (IARC 2012) opierając się na wystarczających dowodach, że są one powiązane ze zwiększonym ryzykiem raka płuc. IARC zauważa również, że istnieją „pewne dowody na zależność” między narażeniem na spaliny Diesla a występowaniem raka pęcherza moczowego.

Zgodnie z danymi opublikowanymi przez IARC w monografii dotyczącej spalin z silników (IARC, 2014) główną przyczyną nowotworów płuc spowodowanych spalinami Diesla są przedostające się do strefy wymiany gazowej nanometrowej wielkości cząstki, na powierzchni których zaadsorbowany jest szereg występujących w spalinach związków organicznych (np. WWA), wykazujących działanie mutagenne lub rakotwórcze, rozpuszczalnych w lipidowych składnikach płynów biologicznych. Na tej podstawie IARC jako wskaźnik narażenia na spaliny Diesla zaleciła oznaczanie stężenia węgla elementarnego/pierwiastkowego (EC), który stanowi zasadniczą część emitowanych cząstek stałych.

IARC stwierdziła również, że w spalinach emitowanych z nowszych typów silników Diesla ilość cząstek i substancji chemicznych jest mniejsza, jednak nie wiadomo jeszcze, jaki to może mieć wpływ na zdrowie pracowników.

Narodowy Program Toksykologiczny (NTP) podał, że można zasadnie przypuszczać, że narażenie na cząstki stałe spalin Diesla jest czynnikiem rakotwórczym dla ludzi w oparciu na ograniczonych dowodach z badań na ludziach (głównie wiążących je z rakiem płuc) i dowodach z badań laboratoryjnych.

NIOSH (Narodowy Instytut Bezpieczeństwa Zawodowego i Zdrowia, USA), zaliczył spaliny emitowane z silników Diesla do

potencjalnych czynników rakotwórczych występujących w miejscu pracy (NIOSH 2007)

Komisja do Badań Zagrożenia Zdrowia Związkami Chemicznymi w Miejscu Pracy Niemieckiego Towarzystwa Naukowego (Deutsche Forschungsgemeinschaft, DFG) zakwalifikowała spaliny emitowane z silników Diesla do kategorii 2 czyli substancja, która jest rozważana jako rakotwórcza dla ludzi. Dla substancji tej istnieją dostateczne dowody działania rakotwórczego z badań na zwierzętach (DFG, 2018). Ocenę rakotwórczości spalin emitowanych z silników o zapłonie samoczynnym przeprowadzono w oparciu o dane dostępne w 2007 r. dotyczące silników starszego typu. Uważa się, że spaliny pochodzące z nowszych silników Diesla różnią się od tych emitowanych z wcześniej używanych silników zarówno składem chemicznym, jak i wielkością emisji, dlatego nie można dokładnie ocenić rakotwórczości w obecnej sytuacji.

Najwięcej dostępnych danych pochodzi z badań kohortowych przeprowadzonych wśród populacji pracowników zawodowo narażonych na spaliny z silników Diesla. Tę grupę zawodową stanowili m.in.: pracownicy warsztatów, mechanicy samochodowi, kierowcy ciężarówek, taksówek i autobusów, pracownicy kolei, operatorzy maszyn ciężkich oraz górnicy. W środowisku kopalń obecne są jednak również inne czynniki kancerogenne, w tym produkty rozpadu metali ciężkich oraz krzemionka krystaliczna, co uniemożliwia jednoznaczną ocenę wpływu samych spalin z silników Diesla na ryzyko nowotworowe w tej grupie zawodowej (Czerczak *i in.* 2005).

Istotne dane na temat zależności między zawodową ekspozycją na spaliny z silników Diesla, a ryzykiem nowotworów złośliwych, zwłaszcza raka płuca i raka pęcherza moczowego, pochodzą również z badań kliniczno-kontrolnych.

Badania epidemiologiczne prowadzone w różnych krajach na świecie wykazały zwiększone ryzyko wystąpienia raka płuca

u osób narażonych na spaliny Diesla, wśród zawodowych kierowców, zwłaszcza ciężarówek i autobusów, a także pracowników kolei w Kanadzie oraz emerytowanych operatorów sprzętu ciężkiego. Jednak należy zaznaczyć, że wyniki wielu innych badań były niejednoznaczne (*Czerczak i in.* 2005).

Palenie tytoniu stanowi istotny czynnik zakłócający analizy zależności między narażeniem na spaliny z silników Diesla a ryzykiem wystąpienia raka płuca. W badaniach gdzie uwzględniono wpływ palenia stwierdzono, że względne ryzyko raka płuca w grupach eksponowanych na spaliny Diesla jest znacznie niższe, osiągając wartości nieistotne statystycznie (*Boffetta i in.* 1990). Ciekawych wyników dostarczyło badanie przeprowadzone wśród robotników portowych w Szwecji, w którym wykazano, że względne ryzyko zgonu z powodu raka płuca wśród osób niepalących było prawie 3-krotnie wyższe w grupie o „dużym” i „średnim” narażeniu na spaliny Diesla, natomiast przy tym samym narażeniu ryzyko wzrastało niemal 30-krotnie wśród osób palących (*Emelin i in.* 1993). Wyniki te sugerują niezależny udział spalin z silników Diesla oraz palenia tytoniu w patogenezie raka płuca, a także bardzo silną interakcję tych dwóch czynników.

Innym nowotworem, którego występowanie prawdopodobnie jest związane z ekspozycją na spaliny emitowane z silników Diesla, jest rak pęcherza moczowego. Dowody na zwiększone ryzyko jego występowania wśród pracowników narażonych zawodowo na te spaliny pochodzą głównie z badań kliniczno-kontrolnych. Wyższe względne ryzyko raka pęcherza moczowego zaobserwowano m.in. w badaniach przeprowadzonych wśród pracowników kolei w Kanadzie oraz wśród kierowców ciężarówek i taksówek w USA i Danii (IARC 1989). Wskazywano także na dodatnią zależność między długością ekspozycji zawodowej na spaliny Diesla a ryzykiem wystąpienia raka pęcherza moczowego (*Hoar i Hoover* 1985).

Choroby zawodowe spowodowane spalinami z silników Diesla

W Centralnym Rejestrze Chorób Zawodowych prowadzonym w Instytucie Medycyny Pracy im. prof. dr med. J. Nofera w Łodzi w latach 2013–2023 zarejestrowano 4 przypadki nowotworów: dwa pęcherza moczowego, jeden krtani i jeden układu krwiotwórczego, będące skutkiem narażenia spaliny emitowane z silników Diesla. Powyższe dane przedstawiono w tabeli 7.

Tabela 7. Dane dotyczące chorób zawodowych wynikających z narażenia spaliny emitowane z silników Diesla w Polsce, w latach 2013–2023 (Centralny Rejestr Chorób Zawodowych 2023).

Rok	Zawód	Czynnik	Nazwa choroby zawodowej
2013	mechanik diagnosta	spaliny z silników Diesla – zawierające WWA	nowotwór pęcherza moczowego
2014	przygotowywacz zapraw i mas ogniotrwałych, murarz-tylnikarz, nastawniczy	wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne (pak węglowy), spaliny z silników Diesla, papa asfaltowa	rak krtani
2021	pracownik gospodarczy	spaliny samochodowe, spaliny z silników Diesla	nowotwór pęcherza moczowego
2023	kierowca samochodu ciężarowego	spaliny z silników Diesla	nowotwór układu krwiotwórczego

SPALINY EMITOWANE Z SILNIKÓW DIESLA – WYBRANE ASPEKTY PRAWNE

W ochronie zdrowia pracujących nadzór nad warunkami pracy i ocena narażenia zawodowego na szkodliwe czynniki chemiczne i pyłowe należą do podstawowych działań wymaganych prawem. Działania profilaktyczne mające na celu ochronę zdrowia pracowników przed szkodliwym działaniem spalin z silników Diesla oraz przepisy i wytyczne dotyczące obowiązków pracodawców i służb BHP obejmują m.in.: zasady nadzorowania środowiska pracy, kryteria oceny zgodności warunków pracy, sposoby organizacji i wyposażenia stanowisk zapewniających higieniczne warunki pracy. Powyższe działania regulowane są w odpowiednich aktach legislacyjnych na poziomie Unii Europejskiej, jak i wskazane w krajowych regulacjach prawnych.

Dyrektywa UE 2019/130 z dnia 16.01.2019 r. zmieniająca dyrektywę 2004/37/WE w sprawie ochrony pracowników przed zagrożeniem dotyczącym narażenia na działanie czynników rakotwórczych lub mutagenów podczas pracy

Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2019/130 z dnia 16 stycznia 2019 r., *zmieniająca dyrektywę 2004/37/WE w sprawie ochrony pracowników przed zagrożeniem dotyczącym narażenia na działanie czynników rakotwórczych lub mutagenów podczas pracy* wprowadziła wartość wiążącą dopuszczalnego

poziomu narażenia w środowisku pracy dotyczącą spalin emitowanych z silników Diesla (mierzonych jako węgiel elementarny). Wartość ta dla 8-godzinnego dnia pracy została ustalona na poziomie $0,05 \text{ mg/m}^3$. Dyrektywa określiła również okresy przejściowe do wprowadzenia tych wartości w krajach UE: dwuletni okres przejściowy dla większości branż, z wyjątkiem sektorów górnictwa podziemnego i budowy tuneli gdzie dopuszczono pięcioletni okres przejściowy od czasu wejścia w życie dyrektywy. Wartość dopuszczalna dla spalin z silników Diesla ma zastosowanie od dnia 21 lutego 2023 r., a dla górnictwa podziemnego i budownictwa tuneli od dnia 21 lutego 2026 r. Minimalne wymagania przewidziane tą dyrektywą mają na celu ochronę pracowników na poziomie Unii Europejskiej, przy czym państwa członkowskie mogą ustanowić bardziej rygorystyczne wartości dopuszczalne narażenia zawodowego lub inne środki ochronne (Dyrektywa 2019/130). Wprowadzenie dopuszczalnej wartości narażenia zawodowego na poziomie $0,05 \text{ mg EC/m}^3$ powinno doprowadzić do zmniejszenia przypadków nowotworów w latach 2015–2056 (Summary Report 2018). Wymagania niniejszej dyrektywy zostały wdrożone w prawodawstwie polskim m.in.:

- Rozporządzeniem Ministra Rozwoju, Pracy i Technologii z dnia 18 lutego 2021 r. *zmieniającym rozporządzenie w sprawie najwyższych dopuszczalnych stężeń i natężeń czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy* (Dz.U. 2021 r. poz. 325);
- Rozporządzeniem Ministra Zdrowia z dnia 10 lutego 2021 r. *zmieniającym rozporządzenie w sprawie substancji chemicznych, ich mieszanin, czynników lub procesów technologicznych o działaniu rakotwórczym lub mutagennym w środowisku pracy* (Dz.U. 2021 r. poz. 279), obecnie zastąpionym przez Dz.U. 2024 poz. 1126.

Rozporządzenie WE nr 1272/2008 z dnia 16.12.2008 r.
w sprawie klasyfikacji, oznakowania i pakowania substancji
i mieszanin, zmieniającego i uchylającego dyrektywy
67/548/EWG i 1999/45/WE oraz zmieniającego
rozporządzenie (WE) nr 1907/2006

Zgodnie z rozporządzeniem Parlamentu Europejskiego i Rady (WE) nr 1272/2008 z dnia 16.12.2008 r. *w sprawie klasyfikacji, oznakowania i pakowania substancji i mieszanin, zmieniającego i uchylającego dyrektywy 67/548/EWG i 1999/45/WE oraz zmieniającego rozporządzenie (WE) nr 1907/2006* (Dz. Urz. UE z dnia 31.12.2008 r. L353) spaliny emitowane z silników Diesla, jako, że powstają w wyniku procesów i nie są wprowadzane do obrotu, nie mają zharmonizowanej klasyfikacji i oznakowania zgodnie z tabelą 3.1. załącznika VI do ww. rozporządzenia.

Ogólne wymagania stawiane pracodawcom w przypadku
występowania na stanowiskach pracy czynników
szkodliwych dla zdrowia

Kodeks pracy (Dz.U. 2023 poz. 1465 z późn. zm.)

Podstawowym dokumentem prawnym w obszarze nadzoru nad warunkami pracy i ochrony zdrowia pracujących jest ustawa z dn. 26 czerwca 1974 r. Kodeks pracy (Dz.U. 2023 poz. 1465 z późn. zm.) i określone akty wykonawcze z nią związane. Zgodnie z art. 207 Kodeksu pracy jednym z podstawowych obowiązków pracodawcy jest ponoszenie odpowiedzialności za stan bezpieczeństwa i higieny pracy w zakładzie pracy. Pracodawca ma obowiązek chronić zdrowie i życie pracowników przez zapewnienie

bezpiecznych i higienicznych warunków pracy przy odpowiednim wykorzystaniu osiągnięć nauki i techniki. Kodeks pracy zobowiązuje pracodawcę w tym zakresie m.in. do: organizowania pracy w sposób zapewniający bezpieczne i higieniczne warunki; zapewnienia przestrzegania przepisów oraz zasad bezpieczeństwa i higieny pracy w zakładzie, dostosowywania środków w celu poprawy ochrony zdrowia i życia pracowników z uwzględnieniem zmieniających się warunków pracy, opracowania polityk zapobiegających chorobom zawodowym, uwzględniania w działaniach profilaktycznych zdrowia młodocianych, kobiet w ciąży i karmiących oraz pracowników z niepełnosprawnościami.

Spełnienie wymogu stosowania środków zapobiegających chorobom zawodowym oraz innym dolegliwościom związanym z wykonywaną pracą wymaga: utrzymania w stanie stałej sprawności urządzeń, które ograniczają lub eliminują szkodliwe dla zdrowia czynniki środowiska pracy, a także urządzeń służących do pomiarów tych czynników, przeprowadzania badań i pomiarów czynników szkodliwych dla zdrowia, rejestrowania i przechowywania ich wyników oraz udostępniania ich pracownikom. Wymienione działania pracodawca realizuje na własny koszt, nie obciążając pracowników wydatkami związanymi z ich wdrażaniem.

Zgodnie z powyższymi regulacjami Kodeksu pracy, na wszystkich stanowiskach pracy, gdzie występuje emisja spalin z silników Diesla, powinny być podejmowane działania mające na celu eliminację lub istotne ograniczenie ryzyka zawodowego wynikającego z narażenia na szkodliwe działanie tego czynnika. Aby skutecznie eliminować lub ograniczać ryzyko związane z narażeniem na spaliny powstające ze spalania oleju napędowego, należy określić stężenie spalin w środowisku stanowisk pracy i na tej podstawie dokonać oceny narażenia pracowników oraz oceny ryzyka zawodowego osób zatrudnionych w warunkach narażenia na spaliny Diesla. W kolejnym etapie podejmowanych działań profilaktycznych należy wybrać i wdrożyć

odpowiednie środki ochrony zbiorowej w celu usunięcia spalin z miejsca pracy (np. instalowanie wentylacji oraz systemów miejscowego wychwytywania i usuwania spalin). W sytuacji, gdy metody ochrony zbiorowej okażą się niewystarczające, należy rozważyć dostosowanie środków organizacyjnych lub zastosowanie ochrony indywidualnej dla pracowników. Wymagania Kodeksu pracy zostały doprecyzowane w odpowiednich aktach wykonawczych omówionych poniżej.

Rozporządzenie Ministra Pracy i Polityki Socjalnej
w sprawie ogólnych przepisów bezpieczeństwa i higieny
pracy (Dz.U. 2003 nr 169 poz. 1650 z późn. zm.)

Zgodnie z rozporządzeniem Ministra Pracy i Polityki Socjalnej z dn. 26 września 1997 r. *w sprawie ogólnych przepisów bezpieczeństwa i higieny pracy* (Dz.U. 2003 nr 169 poz. 1650 z późn. zm.) obowiązkiem pracodawcy jest ocena i udokumentowanie ryzyka zawodowego, występującego przy określonych pracach oraz stosowanie niezbędnych rozwiązań organizacyjnych i innych środków profilaktycznych zmniejszających ryzyko. Rozporządzenie nakłada również obowiązek zapewnienia odpowiedniego stopnia wymiany powietrza w pomieszczeniach pracy, aby nie przekraczać wartości najwyższych dopuszczalnych stężeń substancji szkodliwych, określonych w odrębnych przepisach prawnych. W przypadku prac związanych z emisją spalin z silników Diesla, zastosowanie ma również zawarte w rozporządzeniu wymaganie aby urządzenia lub ich części, z których mogą wydzielać się szkodliwe gazy, pary lub pyły (np. silniki wysokoprężne) były zhermetyzowane. Gdy hermetyzacja jest niemożliwa, urządzenia te powinny być wyposażone w miejscowe wyciągi.

Rozporządzenie Ministra Zdrowia w sprawie
bezpieczeństwa i higieny pracy związanej
z występowaniem w miejscu pracy czynników chemicznych
(Dz.U. 2016 poz. 1488 z późn. zm.)

Obowiązek przeprowadzenia oraz udokumentowania oceny ryzyka zawodowego związanego z danym czynnikiem szkodliwym wynika z Rozporządzenia Ministra Zdrowia z dn. 30 grudnia 2004 r. *w sprawie bezpieczeństwa i higieny pracy związanej z występowaniem w miejscu pracy czynników chemicznych* (Dz.U. 2016 poz. 1488 z późn. zm.). Pracodawca jest zobowiązany do ustalenia, czy na zorganizowanych przez niego stanowiskach pracy występują czynniki szkodliwe oraz do ich identyfikacji. Wyniki przeprowadzonej oceny ryzyka zawodowego pracodawca powinien udostępnić lekarzowi sprawującemu opiekę profilaktyczną nad pracownikami. W sytuacji, gdy pomiary stężeń czynnika szkodliwego na danym stanowisku pracy, wykonane zgodnie z odrębnymi przepisami, przekroczą wartości najwyższych dopuszczalnych stężeń, pracodawca jest zobowiązany do natychmiastowego podjęcia działań oraz zastosowania odpowiednich środków w celu usunięcia tych przekroczeń.

Spaliny z silników Diesla jako czynniki o działaniu rakotwórczym

Rozporządzenie Ministra Zdrowia w sprawie substancji chemicznych, ich mieszanin, czynników lub procesów technologicznych o działaniu rakotwórczym, mutagennym lub reprotoksycznym w środowisku pracy
(Dz.U. 2024 poz. 1126)

Regulacje dotyczące czynników rakotwórczych zawarte są w Rozporządzeniu Ministra Zdrowia z dnia 26 lipca 2024 r. *w sprawie substancji chemicznych, ich mieszanin, czynników lub procesów technologicznych o działaniu rakotwórczym, mutagennym lub reprotoksycznym w środowisku pracy* (Dz.U. 2024 poz. 1126). W załączniku nr 1 do niniejszego rozporządzenia, w punkcie II określono procesy technologiczne, w których dochodzi do uwalniania substancji chemicznych, ich mieszanin lub czynników o działaniu rakotwórczym lub mutagennym, wśród których znajdują się również prace związane z narażeniem na spaliny emitowane z silników Diesla. Proces ten został umieszczony w wykazie procesów technologicznych o działaniu rakotwórczym lub mutagennym w 2021 r. (w obecnie uchylonym akcie – Dz.U. 2021 poz. 279).

Wprowadzenie prac związanych z narażeniem na spaliny emitowane z silników Diesla do wykazu procesów o działaniu rakotwórczym wiąże się z określonymi konsekwencjami i nakłada nowe obowiązki na pracodawców. Zgodnie z rozporządzeniem Ministra Zdrowia z dnia 26 lipca 2024 r. *w sprawie substancji chemicznych, ich mieszanin, czynników lub procesów technologicznych o działaniu rakotwórczym, mutagennym lub reprotoksycznym w środowisku pracy* (Dz.U. 2024 poz. 1126), obowiązkiem pracodawcy jest podjęcie następujących działań:

- wykonywanie pomiarów stężenia spalin emitowanych z silników Diesla, w trybie i z częstotliwością, która obowiązuje dla czynników o działaniu rakotwórczym (co 3 lub 6 miesięcy), na mocy odrębnych przepisów;
- prowadzenie rejestru prac, których wykonywanie powoduje konieczność pozostawania w kontakcie ze spalinami z silników Diesla, zawierającego określone rozporządzeniem dane;
- przekazanie właściwemu państwowemu wojewódzkiemu inspektorowi sanitarnemu oraz właściwemu okręgowemu inspektorowi pracy informacji dotyczących substancji chemicznych, czynników lub procesów technologicznych o działaniu rakotwórczym, mutagennym lub reprotoksycznym niezwłocznie po rozpoczęciu działalności oraz corocznie, do 15 stycznia za rok poprzedni (informacja sporządzana według wzoru stanowiącego załącznik nr 2 do ww. rozporządzenia);
- prowadzenie rejestru pracowników zatrudnionych przy pracach, których wykonywanie powoduje konieczność pozostawania w kontakcie z procesami technologicznymi o działaniu rakotwórczym, jakim jest emisja spalin z silników wysokopiętnych;
- przechowywanie powyższych rejestrów przez okres 40 lat po ustaniu narażenia na te czynniki lub, w przypadku likwidacji zakładu, przekazanie ich do państwowego wojewódzkiego inspektora sanitarnego;
- prowadzenie szkoleń okresowych dla pracowników w zakresie: oceny ryzyka dla zdrowia jakie wynika z prac w narażeniu na spaliny emitowane z silników Diesla, wymagań higienicznych mających na celu ograniczenia narażenia na ten czynnik czy konieczności używania środków ochrony indywidualnej;

- zapewnienie kontroli zdrowia pracowników i współpraca z lekarzem sprawującym opiekę profilaktyczną nad pracownikami – lekarz jest obowiązany zapoznać się z warunkami pracy i posiadać udokumentowane informacje dotyczące rodzaju i wielkości narażenia.

Dane dotyczące występowania czynników rakotwórczych w środowisku pracy, gromadzone przez państwowych wojewódzkich inspektorów sanitarnych na podstawie informacji dostarczonych przez zakłady pracy, są następnie przekazywane do Instytutu Medycyny Pracy im. prof. dr med. J. Nofera w Łodzi, który prowadzi Centralny Rejestr Danych o Narażeniu na Substancje Chemiczne, ich Mieszaniny, Czynniki lub Procesy Technologiczne o Działaniu Rakotwórczym, Mutagennym lub Reprotoksycznym.

Narażenie zawodowe i wartości dopuszczalne

Znajomość wielkości stężenia spalin emitowanych z silników Diesla w powietrzu stanowisk pracy pozwala na oszacowanie ryzyka zawodowego związanego z charakterem działania danego czynnika i możliwą wchłoniętą dawką. Najbardziej skuteczną metodą pozyskania informacji o wielkości narażenia inhalacyjnego na czynniki szkodliwe na stanowiskach pracy, jest wykonanie pomiarów ich stężenia w powietrzu. Jest to często zadanie trudne, wymagające od osoby, która wykonuje to zadanie odpowiednich kwalifikacji, doświadczenia i stosownej wiedzy o danych procesach technologicznych. Akty prawne narzucają pracodawcy obowiązek posiadania odpowiedniej charakterystyki stanowiska pracy w tym identyfikację czynników szkodliwych w powietrzu na stanowiskach pracy i posiadanie wyników pomiarów (Rozporządzenie MZ, Dz.U. 2023 poz. 419 z późn. zm.).

Czynniki chemiczne w zależności od warunków technologicznych i stanu skupienia mogą występować w powietrzu w różnej postaci, która następnie poprzez drogi oddechowe będzie przedostawać się do organizmu człowieka. Czynniki chemiczne mogą występować w powietrzu jako: gazy, pary i aerozole. Z kolei aerozole dzielą się na: cząstki stałe, mgły i dymy. Niektóre czynniki szkodliwe, biorąc pod uwagę ich prężność pary w warunkach normalnych, mogą wystąpić w powietrzu stanowiska pracy jednocześnie jako pary i aerozole. Spaliny z silników Diesla, emitowane jako mieszanina związków są czynnikiem szkodliwym występującym w postaci gazów i aerozoli zawierających cząstki stałe. W konsekwencji podczas wykonywania pomiarów stężeń spalin Diesla należy wskazać właściwy parametr będący wskaźnikiem narażenia i zastosować odpowiednio dobrane próbники do pobierania próbek powietrza.

Rozporządzenie Ministra Rodziny Pracy i Polityki Społecznej w sprawie najwyższych dopuszczalnych stężeń i natężeń czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy (Dz.U. 2018 poz. 1286 z późn. zm.)

Wartości najwyższych dopuszczalnych stężeń (NDS) szkodliwych dla zdrowia czynników chemicznych występujących na stanowiskach pracy, określone są w wykazie stanowiącym załącznik nr 1 do rozporządzenia Ministra Rodziny Pracy i Polityki Społecznej z dn. 12 czerwca 2018 r. *w sprawie najwyższych dopuszczalnych stężeń i natężeń czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy* (Dz.U. 2018 poz. 1286 z późn. zm.). Rozporządzenie definiuje najwyższe dopuszczalne stężenie (NDS) jako wartość średnią ważoną stężenia, którego oddziaływanie na pracownika w ciągu 8-godzinnego dobowego i przeciętnego tygodniowego wymiaru czasu pracy, określonego w ustawie

z dn. 26 czerwca 1974 r. – Kodeks pracy, przez okres jego aktywności zawodowej nie powinno spowodować ujemnych zmian w jego stanie zdrowia oraz w stanie zdrowia jego przyszłych pokoleń.

Na mocy Rozporządzenia Ministra Rozwoju, Pracy i Technologii z dnia 18.02.2021 r., zmieniającego powyższe rozporządzenie (Dz.U. 2021, poz. 325) wprowadzono wartość NDS dla spalin emitowanych z silników Diesla mierzonych jako węgiel elementarny wynoszącą $0,05 \text{ mg/m}^3$. Wartość ta obowiązuje od dnia 21 lutego 2023 r. z wyjątkiem sektora górnictwa podziemnego i budowy tuneli, w których wartość NDS spalin emitowanych z silników Diesla do dnia 20 lutego 2026 r. obowiązuje jako frakcja respirabilna i wynosi $0,5 \text{ mg/m}^3$. Wartości NDSch i DSB nie ustalono dla tego czynnika.

Dotychczas w Polsce nie było konieczności oznaczania stężenia węgla elementarnego (EC) jako wskaźnika narażenia na spaliny emitowane z silników Diesla. Wartość NDS dla spalin z silników Diesla była ustalona dla frakcji respirabilnej. Wprowadzenie wartości NDS dla spalin emitowanych z silników Diesla, mierzonych jako węgiel elementarny, wprowadziło nowe podejście do oceny narażenia na ten czynnik oraz zmianę metody jego oznaczania w powietrzu stanowisk pracy. Z dniem wejścia w życie nowej wartości NDS, narażenie na spaliny Diesla powinno być mierzone jako stężenie węgla elementarnego emitowanego do powietrza na stanowiskach pracy w postaci frakcji respirabilnej. Szczegółowe zasady postępowania w zakresie przeprowadzania pomiarów i podejmowania ewentualnych działań naprawczych zostały określone w odpowiednich regulacjach prawnych i innych dokumentach np. normach polskich i europejskich.

Rozporządzenie Ministra Zdrowia w sprawie badań
i pomiarów czynników szkodliwych dla zdrowia
w środowisku pracy (Dz.U. 2023 poz. 419 z późn. zm.)

Umieszczenie prac związanych z narażeniem na spaliny emitowane z silników Diesla w wykazie procesów technologicznych o działaniu rakotwórczym lub mutagennym oznacza dla pracodawcy wprowadzenie nowej częstotliwości wykonywania badań i pomiarów na stanowiskach pracy. Pomiary takie należy wykonywać ze zwiększoną częstotliwością zgodną z wymaganiami dla czynników rakotwórczych.

W rozporządzeniu Ministra Zdrowia z dn. 2 lutego 2011 r. *w sprawie badań i pomiarów czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy* (Dz.U. 2023 poz. 419 z późn. zm.) podano częstotliwość z jaką należy wykonywać pomiary czynników szkodliwych na stanowiskach pracy. Zgodnie z tym rozporządzeniem, w przypadku stwierdzenia występowania na stanowiskach pracy czynników szkodliwych wykazujących działanie rakotwórcze, do jakich zalicza się spaliny emitowane z silników Diesla, badania i pomiary należy wykonywać:

- co najmniej raz na 6 miesięcy, jeżeli w ostatnio przeprowadzonym badaniu stężenie wynosiło od 0,1 do 0,5 wartości najwyższego dopuszczalnego stężenia;
- co najmniej raz na 3 miesiące, jeżeli w ostatnio przeprowadzonym badaniu stężenie przekroczyło 0,5 wartości najwyższego dopuszczalnego stężenia.

Ponadto, badania należy wykonać w każdym przypadku wprowadzenia zmian w warunkach występowania czynnika szkodliwego, które mogły mieć wpływ na zmianę poziomu jego emisji (np.: zmiana warunków wykonywania pracy, zmiany

w wyposażeniu technicznym) albo wystąpiły okoliczności, które uzasadniają ich ponowne wykonanie.

Możliwość odstąpienia od wykonywania pomiarów stężeń czynników szkodliwych, łącznie z tymi o działaniu rakotwórczym, w tym spalin z silników Diesla, jest dopuszczalna w świetle niniejszego rozporządzenia, jeżeli wyniki dwóch ostatnio przeprowadzonych badań wykonanych w odstępie co najmniej 6 miesięcy, nie przekroczyły 0,1 wartości NDS.

Badania, w celu oceny narażenia na spaliny emitowane z silników Diesla w środowisku pracy, wykonują laboratoria, które uzyskały akredytację w tym zakresie na podstawie odrębnych przepisów o systemie oceny zgodności.

Badania mające na celu określenie stężenia spalin z silników Diesla należy przeprowadzić po raz pierwszy w ciągu 30 dni od rozpoczęcia działalności zakładu. Pracodawca powinien przechowywać wyniki badań przez 3 lata od daty ich wykonania oraz poinformować pracowników narażonych na oddziaływanie czynników szkodliwych dla zdrowia o aktualnych wynikach badań i pomiarów. Wyniki tych badań powinny zostać umieszczone w karcie badań i pomiarów. Pracodawca powinien prowadzić również rejestr czynników szkodliwych dla zdrowia występujących na stanowisku pracy. Wzory tych dokumentów określono w załącznikach do ww. rozporządzenia. Pracodawca jest zobowiązany do przechowywania rejestru czynników szkodliwych oraz kart badań tych czynników przez 40 lat, licząc od daty ostatniego wpisu.

Pracownicy młodociani, kobiety w ciąży lub karmiące piersią, a praca w narażeniu na spaliny z silników Diesla

Zgodnie z Kodeksem pracy obowiązkiem pracodawcy jest ochrona zdrowia pracowników, ze specjalnym uwzględnieniem grup szczególnie wrażliwych, np. pracowników w młodym wieku czy kobiet w ciąży lub karmiących piersią.

Rozporządzenie Rady Ministrów w sprawie wykazu prac wzbronionych młodocianym i warunków ich zatrudniania przy niektórych z tych prac (Dz.U. 2023 poz. 1240)

Zgodnie z polskim prawem, w szczególności z Kodeksem pracy oraz rozporządzeniami wykonawczymi, pracownikiem młodocianym jest osoba, która ukończyła 15 lat, ale nie przekroczyła 18 roku życia i jest zatrudniona na podstawie umowy o pracę. Zakłady pracy, w których pracownicy w młodym wieku są zatrudniani w celu przyuczenia zawodowego, a mogą wiązać się z narażeniem na emitowane z pojazdów lub urządzeń spaliny Diesla, to najczęściej: warsztaty motoryzacyjne, firmy transportowe, zakłady budowlane i komunalne, centra kształcenia praktycznego, gdzie młodociani uczą się zawodów takich jak: mechanik elektromechanik czy blacharz samochodowy, serwisant pojazdów czy operator maszyn i urządzeń: koparek, ładowarek, ciągników, wózków widłowych i innych napędzane silnikami wysokoprężnymi. Pracownicy młodociani mogą wykonywać tylko określone prace, które są odpowiednie dla ich wieku i stanu zdrowia, a ich zatrudnienie podlega szczególnym zasadom bezpieczeństwa i ochrony zdrowia.

Prawnie określono warunki umożliwiające zatrudnianie młodocianych w wieku powyżej 16 lat przy pracach z substancjami, ich mieszaninami lub pyłami o działaniu rakotwórczym lub mutagennym, które uwalniają się w procesach technologicznych, w tym również spalinami emitowanymi z silników Diesla, gdy jest to niezbędne do ich kształcenia zawodowego. Regulacje te zawarte są w Rozporządzeniu Rady Ministrów z dnia 19 czerwca 2023 r. *w sprawie wykazu prac wzbronionych młodocianym i warunków ich zatrudniania przy niektórych z tych prac* (Dz.U. 2023 poz. 1240). Zezwolenie na zatrudnianie młodocianych w wieku powyżej 16 lat przy pracy w narażeniu na uwalnianie spalin Diesla dopuszczalne jest pod warunkiem że pracodawca ograniczy pracę młodocianego do dwóch dni w tygodniu i w czasie nie dłuższym niż 4 godziny na dobę poniżej wartości najwyższych dopuszczalnych stężeń w powietrzu na stanowiskach pracy oraz wyposaży go w prawidłowo dobrane środki ochrony indywidualnej, odpowiednie do występujących w miejscu pracy substancji i mieszanin, niezależnie od poziomu stężeń tych substancji w powietrzu w środowisku pracy.

Rozporządzenie Rady Ministrów w sprawie wykazu prac uciążliwych, niebezpiecznych lub szkodliwych dla zdrowia kobiet w ciąży i kobiet karmiących dziecko piersią
(Dz.U. 2017 poz. 796)

Przepisy prawa chronią również zdrowie i bezpieczeństwo kobiet w ciąży i karmiących piersią. Zgodnie z Kodeksem pracy, kobiety w ciąży i kobiety karmiące dziecko piersią nie mogą wykonywać prac uciążliwych, niebezpiecznych lub szkodliwych dla zdrowia, które mogą negatywnie wpływać na ich zdrowie, przebieg ciąży lub proces karmienia. Rozporządzenie Rady Ministrów

z dn. 3 kwietnia 2017 r. w sprawie wykazu prac uciążliwych, niebezpiecznych lub szkodliwych dla zdrowia kobiet w ciąży i kobiet karmiących dziecko piersią (Dz.U. 2017 poz. 796) zawiera w załączniku wykaz prac oraz procesów technologicznych, w których dochodzi do uwalniania substancji chemicznych, mieszanin lub czynników o działaniu rakotwórczym lub mutagennym. Na mocy niniejszego rozporządzenia zatrudnianie kobiet w ciąży oraz karmiących piersią przy pracach związanych z narażeniem na spaliny emitowane z silników Diesla jest zabronione.

WYTYCZNE DOTYCZĄCE WYKONYWANIA BADAŃ W CELU OCENY NARAŻENIA NA SPALINY Z SILNIKÓW DIESLA

Laboratoria wykonujące badania w celu oceny narażenia na spaliny z silników Diesla powinny posiadać akredytację zgodną z normą PN-EN ISO/IEC 17025:2018-02 zawierającą ogólne wymagania dotyczące kompetencji laboratoriów badawczych. Pobieranie próbek i przeprowadzanie analiz powinno odbywać się zgodnie z polskimi normami, przepisami Unii Europejskiej dotyczącymi ochrony zdrowia w środowisku pracy lub metodami opublikowanymi w uznanych czasopismach (np. Podstawy i Metody Oceny Środowiska Pracy).

Strategia pomiarowa

Przed przystąpieniem do wykonywania pomiarów w celu oceny narażenia na spaliny Diesla konieczne jest pozyskanie informacji i warunków charakteryzujących dane stanowisko pracy, w tym co najmniej takich jak:

- rodzaj i przebieg procesów technologicznych;
- źródła emisji pyłów stwarzających zagrożenie dla zdrowia zatrudnionych osób;
- charakter działania biologicznego i właściwości fizykochemicznych występujących pyłów;
- stanowiska pracy związane z narażeniem na działanie pyłów;

- chronometraż pracy;
- liczba pracowników zatrudnionych na poszczególnych stanowiskach pracy;
- stosowane środki ochrony: techniczne, organizacyjne i indywidualne;
- wyniki pomiarów poprzednio prowadzonych badań.

W celu wykonania pomiaru narażenia pracownika na stanowisku pracy, należy użyć, w każdym przypadku gdzie jest to możliwe, aspiratorów do osobistego pobierania próbek z głowicą pomiarową (próbniakiem) umieszczonym w strefie oddychania pracownika. Z powodu zmienności stężeń aerozolu w przestrzeni środowiska pracy, stacjonarne pobieranie próbek jest mniej reprezentatywne dla narażenia pracownika. Strategię pomiarową opisano w PN-Z-04008-7:2002.

Wybór pracowników do badań

Według PN-Z-04008-7:2002, należy przyjąć następujące zasady wyboru pracowników do badania narażenia zawodowego na spaliny z silników Diesla:

1. jeżeli grupa pracowników wynosi do 6 osób, należy wszystkie osoby objąć pomiarami;
2. w przypadku większej od 6 grupy pracowników, przyjmuje się, że liczba pracowników objętych pomiarami (n) wynosi $2\sqrt{n}$ (po zaokrągleniu w górę do najbliższej liczby całkowitej).

Czas pobierania próbek i liczba próbek

Czas pobierania próbki w strefie oddychania pracownika powinien być wybrany jako reprezentatywny dla ocenianego scenariusza narażenia dotyczącego zadania/czynności i czasu

odniesienia dla NDS (8 godzin). Norma PN-Z-04008-7:2002 przyjmuje czas 75% zmiany roboczej jako wystarczająco reprezentatywny, jeżeli proces produkcyjny jest dobrze rozpoznany i nie występują chwilowo wyższe stężenia czynników szkodliwych na stanowiskach pracy.

Jeżeli pracownik wykonuje pracę w zagrożeniu spalinami z silników Diesla w czasie krótszym, np. 2 lub 4 godziny, a później jest skierowany do innej pracy, to przez cały czas narażenia należy pobierać próbkę. W czasie, w którym pracownik wykonuje inną pracę pobieranie tej samej próbki może być kontynuowane tak, aby utrzymać zasadę pobierania próbki przez co najmniej 75% czasu zmiany roboczej. Ta sama zasada powinna być stosowana w przypadku dłuższej zmiany roboczej (> 8 godzin).

Metoda oznaczania węgla elementarnego w próbkach aerozolu pobranych na filtr kwarcowy

W Centralnym Instytucie Ochrony Pracy – Państwowym Instytucie Badawczym opracowano i opublikowano metodę oznaczania spalin emitowanych z silników Diesla, jako stężenie węgla elementarnego w powietrzu na stanowiskach pracy, z zastosowaniem analizatora termo-optycznego z detektorem płomieniowo-jonizacyjnym (Szewczyńska i in. 2020).

Najmniejsze stężenie węgla elementarnego, jakie można oznaczyć w warunkach pobierania próbek powietrza na filtr kwarcowy i wykonania oznaczania opisanych w metodzie, wynosi $0,005 \text{ mg/m}^3$ tj. 1/10 NDS (dla próbki powietrza o objętości 720 litrów i filtra o średnicy 37 mm).

Materiał na filtrze jest w procesie analitycznym najpierw termicznie desorbowany w obojętnej atmosferze helu w kolejno wzrastających temperaturach, a następnie pozostałość jest utleniana podczas również rosnących kroków temperaturowych. Uwalniany z próbki węgiel jest najpierw katalitycznie utleniany do

dwutlenku węgla, a następnie konwertowany do metanu w bloku metanizera. Otrzymany metan jest wprowadzany do detektora płomieniowo-jonizacyjnego o bardzo wysokiej czułości i posiadającego liniową charakterystykę w bardzo szerokim zakresie stężeń obejmującym pięć rzędów wielkości.

Interpretacja wyników pomiarów

Na podstawie przeprowadzonych badań oblicza się wskaźnik narażenia (ekspozycji), który jest liczbowym wyrażeniem charakteryzującym narażenie pracownika na substancję szkodliwą, obliczony na podstawie wyników jej oznaczania w powietrzu w celu porównania z odpowiednią wartością dopuszczalną. Postać i sposób obliczania wskaźnika narażenia zależą od strategii pobierania próbek zastosowanej do oceny narażenia.

Narażenie zawodowe każdego pracownika objętego pomiarami rozpatruje się indywidualnie. Stężenie węgla elementarnego oznaczone w próbce w strefie oddychania pracownika wyrażone w mg/m^3 odniesione do 8-godzinnego czasu pracy, stanowi wskaźnik narażenia na spaliny emitowane z silników Diesla. Warunki pracy można uznać jako odpowiadające wymaganiom jeśli wskaźnik narażenia jest poniżej wartości dopuszczalnej NDS. Warunki pracy można uznać jako nie odpowiadające wymaganiom jeśli wskaźnik narażenia jest powyżej wartości dopuszczalnej NDS.

SPOSOBY MINIMALIZOWANIA RYZYKA NARAŻENIA NA SPALINY DIESLA

Ekspozycja na spaliny Diesla stanowi istotne zagrożenie zdrowotne dla pracowników, wymagające od pracodawców wdrożenia odpowiednich i profesjonalnych rozwiązań, zarówno systemowych, technicznych, jak i indywidualnych, w celu zminimalizowania ryzyka związane z obecnością tego czynnika szkodliwego w środowisku pracy.

Spaliny emitowane przez silniki z zapłonem samoczynnym występujące w wysokich stężeniach na stanowiskach pracy przyczyniają się do podwyższenia ryzyka wystąpienia chorób zawodowych, w tym również nowotworów. Gdy stężenie emitowanych spalin przekracza wartość NDS, prace w danym pomieszczeniu/miejsu powinny zostać zatrzymane, dopóki poziom tego czynnika nie zostanie ograniczony lub zostaną wdrożone odpowiednie środki ochrony indywidualnej. Kontrola poziomu emisji spalin z silników Diesla na stanowiskach pracy może obejmować poniższe środki i metody:

- eliminowanie poprzez zastępowanie silników Diesla silnikami elektrycznymi lub innymi rodzajami źródeł zasilania;
- regularne wykonywanie przeglądów i działań profilaktycznych w pojazdach w celu zmniejszenia emisji;
- stosowanie silników niskoemisyjnych, specjalnych paliw (np. biodiesel) lub dodatków do paliw, takich jak AdBlue, które zmniejszą emisję;

- ograniczanie lub eliminowanie pracy silnika w pomieszczeniu, zwłaszcza pracy na biegu jałowym;
- w przypadku silnika zamontowanego w urządzeniu – właściwa organizacja obszaru roboczego, w celu oddzielenia obszaru, w którym przebywają pracownicy od obszarów, w których powstają spaliny, jeśli to możliwe;
- stosowanie środków ochrony zbiorowej, takich jak systemy wentylacji i klimatyzacji wyposażonych w skuteczne układy filtrujące w celu usunięcia czynników szkodliwych dla zdrowia zawartych w spalinach;
- instalacja systemów miejscowego wychwytywania i usuwania cząstek pozwalających na usunięcie spalin „u źródła” ich emisji, czyli z układu wydechowego pojazdu;
- zastosowanie rozwiązań organizacyjnych ograniczające narażenie pracowników, jak skrócenie czasu pracy w warunkach ekspozycji czy wprowadzenie rotacyjnego systemu pracy;
- stosowanie środków ochrony osobistej, jeśli nie ma innych sposobów wyeliminowania narażenia;
- edukacja i szkolenie pracowników na temat narażenia na spaliny z silników Diesla i prawidłowego stosowania środków ochrony;

Należy zwrócić uwagę, że od 2015 r. wszystkie nowo rejestrowane w Unii Europejskiej pojazdy osobowe, dostawcze i ciężarowe z silnikami Diesla muszą spełniać normę emisji spalin – Euro 6, która wyznacza maksymalny dopuszczalny poziom emisji tlenków azotu, tlenków węgla, ditlenku siarki, cząstek stałych i innych składników spalin. W 2025 r. planowane jest wprowadzenie normy Euro 7, która ma na celu dalsze ograniczenie emisji zanieczyszczeń pochodzących z pojazdów drogowych. Ta norma

jest kontynuacją serii regulacji (norm Euro), które zaczęto wprowadzać na początku lat 90. XX wieku. Zmiany w Normie Euro 7 dotyczą głównie redukcji dopuszczalnej emisji tlenków azotu (NOx) i cząstek stałych, ale także innych zanieczyszczeń emitowanych z silników. Norma ta będzie obowiązywać dla nowo rejestrowanych samochodów osobowych i dostawczych od 2025 r. a dla autobusów i ciężarówek od 2027.

- Attfield M.D., Schleiff P.L., Lubin J.H., Blair A., Stewart P.A., Vermeulen R., Coble J.B., Silverman D.T. (2012) The Diesel Exhaust in Miners Study: A cohort mortality study with emphasis on lung cancer. *J. Natl. Cancer* 104, 869–883.
- Behndig A.F., Mudway I.S., Brown J.L. i in. (2006) Airway antioxidant and inflammatory responses to diesel exhaust exposure in healthy humans. *Eur. Resp. J.*; 27, 359–365.
- Block M.L., Calderón-Garcidueñas L. (2020) Air pollution: Mechanisms of neuroinflammation and CNS disease. *Trends in Neurosciences*.
- Boffetta P., Harris E.R., Wynder E.L. (1990) Case-control study on occupational exposure to diesel exhaust and lung cancer risk. *Am. J. Ind. Med.*; 17, 577–91.
- Bujak-Pietrek S., Mikołajczyk U., Kamińska I. i in. (2016) Exposure to Diesel exhaust fumes in the context of exposure to ultrafine particles, *Int. J. Occup. Med. Environ. Health*; 29(4), 667–682.
- Cacciottolo M, Wang X, Driscoll I. i in. Particulate air pollutants, APOE alleles and their contributions to cognitive impairment in older women and to amyloidogenesis in experimental models. *Transl. Psychiatry*; 2017 31;7(1), e1022.
- Calderón-Garcidueñas L., Mora-Tiscareño, A., Franco-Lira, M. i in. (2015) Decreases in short term memory, IQ, and altered brain metabolic ratios in urban apolipoprotein ε4 children exposed to air pollution. *J. Alzheimers Dis.*; 45, 757–770.
- Centralny Rejestr Danych o Narażeniu na Substancje Chemiczne, ich Mieszaniny, Czynniki lub Procesy Technologiczne o Działaniu Rakotwórczym Mutagennym lub Reprotoksycznym – CRCC (2023) Instytut Medycyny Pracy, Łódź (dane niepublikowane).
- Czerczak S., Szymczak W., Lebrecht G. i in. (2005) Spaliny dilnika Diesla. Dokumentacja proponowanych wartości dopuszczalnych poziomów narażenia zawodowego. *Podst. Met. Oceny Środ. Pr.*; 3(45), 89–133.
- DFG (2018) Deutsche Forschungsgemeinschaft: List of Maximum Concentrations (MAK) and Biological Tolerance Values (BAT) at the Workplace. Raport 54.
- Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2019/130 z dnia 16 stycznia 2019 r., zmieniająca dyrektywę 2004/37/WE w sprawie ochrony pracowników przed zagrożeniem dotyczącym narażenia na działanie czynników rakotwórczych lub mutagenów podczas pracy (*Dz. Urz. UE*, z dnia 31.1.2019 r. L30/112).
- Emelin A., Nystrom L., Wall S. (1993) Diesel exhaust exposure and smoking: a case referent study of lung cancer among Swedish dock workers. *Epidemiology*; 3, 237–244.
- EPA (2002) U.S. Environmental Protection Agency, Health Assessment Document for Diesel Engine Exhaust; 1–669.
- Harris S. J., Maricq M. M. (2001) Signature size distributions for diesel and gasoline engine exhaust particulate matter. *J. Aerosol. Sci.*; 32, 749–764.
- Health Council of the Netherlands (2019) Diesel engine exhaust. Health-based recommend ded occupational exposure limit. Haga, 13 marzec 2019.

- Hehua Z., Qing C., Shanyan G i in. (2017) The impact of prenatal exposure to air pollution on childhood wheezing and asthma: A systematic review. *Environ. Res.*; 159:519–530.
- Hoar S.K., Hoover R. (1985) Truck driving and bladder cancer mortality in rural. *New England JNCI*; 74, 771–774.
- IARC (1989) Diesel and gasoline engine exhausts and some nitroarenes. IARC Monographs on the evaluations of carcinogenic risks to humans, vol. 46, Lyon, France.
- IARC (2012) International Agency for Research on Cancer.: Diesel engine exhaust carcinogenic. Press release No. 213 (12 June 2012). Lyon, France.
- IARC (2014) Diesel and gasoline engine exhaust and some nitroarenes. IARC monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans. vol. 105. Lyon, France.
- Jurewicz J., Dziewirska E., Radwan M. i in. (2018) Air pollution from natural and anthropic sources and male fertility. *Reprod. Biol. Endocrinol.*; 16, 109.
- Karanasiou A., Viana M., Querol X. i in. (2014) Assessment of personal exposure to particulate air pollution during commuting in European cities—Recommendations and policy implications. *Sci. Total Environ.*; 490, 785–797.
- Knudsen L.E., Gaskell M., Martin E.A. i in. (2005) Genotoxic damage in mine workers exposed to diesel exhaust, and the effects of glutathione transferase genotypes. *Mutat. Res.*; 583, 120–132.
- Krajowy bilans emisji SO₂, NO_x, CO, NH₃, NMLZO, pyłów, metali ciężkich i TZO za lata 2015–2017 w układzie klasyfikacji SNAP. Raport syntetyczny Instytut Ochrony Środowiska – Państwowy Instytut Badawczy, Krajowy Ośrodek Bilansowania i Zarządzania Emisjami, Warszawa. 2019.
- Leonardi G. S., Houthuijs D., Steerenberg P. A. i in. (2000) Immune biomarkers in relation to exposure to particulate matter: a cross-sectional survey in 17 cities of Central Europe. *Inhal. Toxicol.*; 12 Suppl 4, 1–14.
- Merkisz J., Piekarski W., Słowik T. (2005) Motoryzacyjne zanieczyszczenie środowiska. Wydawnictwo Uniwersytetu Przyrodniczego, Lublin.
- Mudway I.S., Stenfors N., Duggan S.T. i in. (2004) A *in vitro* and *in vivo* investigation of the effects of diesel exhaust on human airway lining fluid antioxidants. *Arch. Biochem. Biophys.*; 423, 200–212.
- NIOSH (2007) NIOSH pocket guide to chemical hazards, Department of health and human services, Centers for Disease Control and Prevention.
- NTP (2014) National Toxicology Program, Department of Health and Human Services. Diesel exhaust particulates. Report on carcinogens, Fourteenth Edition.
- Ono-Ogasawara M., Smith T.J. (2004) Diesel exhaust particles in the work environment and their analysis. *Ind. Health*; 42, 389–99.
- Oravisijärvi K., Pietikäinen M., Ruuskanen J. i in. (2014) Diesel particle composition after exhaust after-treatment of an off-road diesel engine and modeling of deposition into the human lung. *J. Aerosol Sci.*; 69, 32–47.
- Pedersen M., Staeyn L., Slama R. i in. (2014) Ambient air pollution and pregnancy-induced hypertensive disorders: A systematic review and meta-analysis. *Hypertension*; 64(3), 494–500.
- Peretz A., Sullivan J.H., Leotta D.F. i in. (2008) Diesel exhaust inhalation elicits acute vasoconstriction in vivo. *Environ. Health. Perspect.*; 116, 937–942.

- Pettit A.P., Brooks A., Laumbach R. i in. (2012) Alteration of peripheral blood monocyte gene expression in humans following diesel exhaust inhalation. *Inhal. Toxicol.*; 24, 172–181.
- PN-EN ISO/IEC 17025:2018-02 Ogólne wymagania dotyczące kompetencji laboratoriów badawczych i wzorcujących.
- PN-Z-04008-7:2002 Ochrona czystości powietrza. Pobieranie próbek. Zasady pobierania próbek powietrza w środowisku pracy i interpretacji wyników
- PN-Z-04508:2022-05+Ap1:2002-08 Ochrona czystości powietrza. Oznaczanie frakcji respirabilnej aerozolu na stanowiskach pracy metodą grawimetryczną.
- Poniedziałek B., Rzymiski P., Zarębska-Michałuk D. i in. (2024) Viral respiratory infections and air pollution: A review focused on research in Poland, *Chemosphere*; 359, 142256.
- Pośniak M. (2003) Spaliny silników Diesla – zasady i metody oceny narażenia zawodowego. *Med. Pr.*; 54(4), 389–393.
- Pośniak M., Jankowska E., Szewczyńska M. i in. (2010) Zagrożenia spalinami silników Diesla. Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy, Warszawa
- Pośniak M., Makhniashvili I., Koziel E. i in. (2001) Spaliny silników Diesla – zagrożenie dla zdrowia pracowników. *Bezp. Pr.*; 9, 11–14
- Ristovski Z., Jayaratne E. R., Lim M. i in. (2006) Influence of diesel fuel sulphur on the nanoparticle emissions from city buses." *Environ. Sci. Technol.*; 40, 1314–1320
- ROC (1998) Report on carcinogens background dokument for Diesel exhaust particulates. December; 2–3
- Ronkko T., Timonen H. (2019) Overview of sources and characteristic of nanoparticles in urban traffic-influenced area. *J. Alzheimers Dis.*; 72, 15–28
- Rozporządzenie Ministra Pracy i Polityki Socjalnej z dn. 26 września 1997 r. *w sprawie ogólnych przepisów bezpieczeństwa i higieny pracy* (Dz.U. 2003 nr 169 poz. 1650 z późn. zm.).
- Rozporządzenie Ministra Rodziny, Pracy i Polityki Społecznej z dnia 12 czerwca 2018 r. *w sprawie najwyższych dopuszczalnych stężeń i natężeń czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy* (Dz.U. 2018 poz. 1286).
- Rozporządzenie Ministra Rozwoju, Pracy i Technologii z dnia 18 lutego 2021 r. *zmieniające rozporządzenie w sprawie najwyższych dopuszczalnych stężeń i natężeń czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy* (Dz.U. 2021 poz. 325).
- Rozporządzenie Ministra Zdrowia z dn. 2 lutego 2011 r. *w sprawie badań i pomiarów czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy* (Dz.U. 2023 poz. 419 z późn. zm.).
- Rozporządzenie Ministra Zdrowia z dnia 10 lutego 2021 r. *zmieniające rozporządzenie w sprawie substancji chemicznych, ich mieszanin, czynników lub procesów technologicznych o działaniu rakotwórczym lub mutagennym w środowisku pracy* (Dz.U. 2021 poz. 279).
- Rozporządzenie Ministra Zdrowia z dnia 26 lipca 2024 r. *w sprawie substancji chemicznych, ich mieszanin, czynników lub procesów technologicznych o działaniu rakotwórczym, mutagennym lub reprotoksycznym w środowisku pracy* (Dz.U. 2024 poz. 1126).

- Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (WE) nr 127/2008 z dnia 16 grudnia 2008 r. *w sprawie klasyfikacji, oznakowania i pakowania substancji i mieszanin, zmieniającego i uchylającego dyrektywę 67/548/EWG i 1999/45/WE oraz zmieniającego rozporządzenie (WE) nr 1907/2006 (Dz. Urz. UE L 353 z 31.12.2008 r.)*.
- Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (WE) nr 1272/2008 z dnia 16.12.2008 r. *w sprawie klasyfikacji, oznakowania i pakowania substancji i mieszanin, zmieniające i uchylające dyrektywę 67/548/EWG i 1999/45/WE oraz zmieniające rozporządzenie (WE) nr 1907/2006 (Dz. Urz. UE z dnia 31.12.2008 r. L353)*.
- Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 3 kwietnia 2017 r. *w sprawie wykazu prac uciążliwych, niebezpiecznych lub szkodliwych dla zdrowia kobiet w ciąży i kobiet karmiących dziecko piersią (Dz.U. 2017 poz. 796)*.
- Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 19 czerwca 2023 r. *w sprawie wykazu prac wzbronionych młodocianym i warunków ich zatrudniania przy niektórych z tych prac (Dz.U. 2023 poz. 1240)*.
- Salvi S.S., Nordenhall C., Blomberg A. i in. (2000) Acute exposure to diesel exhaust increases IL-8 and GRO and production in healthy human airways. *Am. J. Respir. Crit. Care Med.*; 161, 550–557.
- Schoket B., Poirier M.C., Mayer G. i in. (1999) Biomonitoring of human genotoxicity induced by complex occupational exposures. *Mutat. Res.*; 445, 193–203.
- Stieb D. M., Chen L., Eshoul M. i in. (2012) Ambient air pollution, birth weight and preterm birth: A systematic review and meta-analysis. *Environ. Res.*; 117, 100–11.
- Summary Report (2018) Technical seminar concernring a 2nd proposal amending the Carcinogens and Mutagenes Directive 2004/37/EC, 14 September 2018.
- Szewczyńska M., Pośniak M., Kowalska J. (2020) Spaliny silników Diesla mierzone jako węgiel elementarny Metoda oznaczania w powietrzu na stanowiskach pracy, *Podst. Met. Oceny. Środ. Pr.*; 36(4), 146–167.
- Szymańska J., Frydrych B., Bruchajzer E. (2019) Spaliny emitowane z silników Diesla, mierzone, jako węgiel elementarny Dokumentacja proponowanych dopuszczalnych wielkości narażenia zawodowego. *Podst. Met. Oceny. Środ. Pr.*; 4(102), 43–103.
- Taxell P., Santonen T. (2016) Diesel engine exhaust. The Nordic Expert Group for Criteria Documentation of Health Risks from Chemicals and the Dutch Expert Committee on Occupational Safety. University of Gothenburg, 49(6), 1-156.
- Ulfvarson U., Alexandersson R., Aringer L. i in. (1987) Effects of exposure to vehicle exhaust on health. *Scand. J. Work. Environ. Health*; 13, 505–512.
- Ustawa Kodeks pracy z dn. 26 czerwca 1974 r. (Dz.U. 2023 poz. 1465 z późn. zm.).
- Villarini M., Moretti M., Fatigoni C. i in.. (2008) Evaluation of primary DNA damage, cytogenetic biomarkers and genetic polymorphisms for CYP1A1 and GSTM1 in road tunnel construction workers. *J. Toxicol. Environ. Health*; A 71, 1430–1439.
- WHO (1996). Diesel fuel and exhaust emissions. Environmental Health Criteria 171, World Health Organization, Geneva, Switzerland.
- Zielińska B., Sagebiel J., McDonald J.D. i in. (2004) Emission rates and comparative chemical composition from selected in-use diesel and gasoline-fueled vehicles. *J. Air Waste Manage. Assoc.*; 54(9), 1138–1150.