

Małgorzata Pośniak

## SPALINY SILNIKÓW DIESLA - ZASADY I METODY OCENY NARAŻENIA ZAWODOWEGO

DIESEL COMBUSTION EXHAUST: PRINCIPLES AND METHODS OF OCCUPATIONAL EXPOSURE ASSESSMENT

Z Zakładu Zagrożeń Chemicznych i Pyłowych  
Centralnego Instytutu Ochrony Pracy w Warszawie

**STRESZCZENIE** W artykule omówiono zasady oceny narażenia zawodowego na czynniki chemiczne i pyły pracowników obsługujących i remontujących pojazdy i urządzenia z silnikami spalinowymi Diesla. Przedstawiono problemy występujące podczas przeprowadzania oceny. Zaproponowano zakres badań zanieczyszczeń powietrza na stanowiskach pracy. Podstawą oceny narażenia i ryzyka zawodowego powinny być pomiary stężeń frakcji respirabilnej węgla elementarnego, wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych (WWA), formaldehydu, benzenu, akrylaldehydu, tlenków azotu, tlenku węgla, ditlenku siarki. Med. Pr. 2003; 54 (4): 389–393

**SŁOWA KLUCZOWE:** spaliny silnika Diesla, ocena narażenia zawodowego, środowisko pracy, cząstki stałe, węgiel elementarny, wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne, czynniki rakotwórcze

**ABSTRACT** This paper presents the principles for assessing occupational exposure to chemical agents and dusts among workers who operate and maintain vehicles and Diesel engine devices. Problems faced in exposure assessment are discussed. A range of air pollution measurements in workplaces is proposed. It is recommended to measure concentrations of respirable fraction of elemental carbon, polycyclic aromatic hydrocarbons, formaldehyde, benzene, acrylaldehyde, nitrogen oxides and carbon oxide as a basis for occupational exposure assessment. Med Pr 2003; 54 (4): 389–393

**KEY WORDS:** Diesel combustion exhaust, polycyclic aromatic hydrocarbons, occupational exposure assessment, work environment, carcinogenic agents

Nadesłano: 15.10.2002

Zatwierdzono: 23.06.2003

Adres autorki: Czerniakowska 16, 00-701 Warszawa, e-mail: mapos@ciop.pl

© 2003, Instytut Medycyny Pracy im. prof. J. Nofera w Łodzi

### WPROWADZENIE

Spaliny silnika Diesla są to mieszaniny kilkuset związków chemicznych, powstające w wyniku niedoskonałego spalania oleju napędowego i silnikowego, a także zawartych w nich modyfikatorów i zanieczyszczeń. Te niepożądane produkty spalania wydzielają się do atmosfery w postaci gazów, jak również w postaci cząstek stałych. W skład fazy gazowej wchodzi węglowodory alifatyczne i ich nitrowe pochodne, węglowodory aromatyczne, a także tlenki azotu, siarki oraz węgla. Węgiel elementarny jest głównym składnikiem cząstek stałych, na powierzchni których są zaadsorbowane związki organiczne i nieorganiczne.

Emisja cząstek stałych o różnych wymiarach i kształcie jest zjawiskiem charakterystycznym dla silników Diesla. Ponad 90% cząstek aerozolu powstającego w wyniku spalania oleju napędowego ma średnicę aerodynamiczną mniejszą od 1  $\mu\text{m}$ . Na wielkość emisji tych cząstek ma wpływ wiele czynników, między innymi – zawartość siarki w paliwie, liczba cetanowa oraz gęstość paliwa. Zmniejszenie zawartości siarki w paliwie, oprócz zmniejszenia emisji ditlenku siarki, redukuje emisję cząstek stałych. Obniżenie gęstości paliwa może również powodować zmniejszenie wydzielania tych cząstek (1–3).

Spaliny silników Diesla w warunkach narażenia zawodowego wchłaniane do organizmu mogą być przyczyną chronicznych zaburzeń w układzie oddechowym. W warunkach ostrej ekspozycji działają drażniąco na błony śluzowe oczu i dróg oddechowych. Są również przyczyną bólu i zawrotów głowy oraz zmęczenia.

Dotychczasowe badania toksykologiczne i epidemiologiczne wskazują na działanie rakotwórcze spalin silnika Diesla. Najwięcej danych potwierdza zależność pomiędzy występowaniem nowotworów złośliwych płuc, a narażeniem na te spaliny. Prawdopodobnie główną przyczyną nowotworów płuc, przede wszystkim gruczolaków i gruczolakoraków, są przedostające się do strefy wymiany gazowej płuc submikronowe cząstki stałe spalin, na powierzchni których są zaadsorbowane substancje chemiczne, m.in. mutagenne i rakotwórcze, w tym wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne i ich nitrowe pochodne, rozpuszczalne w rozpuszczalnikach organicznych oraz lipidowych składnikach surfaktantów płucnych ssaków. Cząstki te łatwo wchłaniają się i gromadzą w pęcherzykach płucnych. Zmiany nowotworowe u szczurów obserwowano po 2-letniej ekspozycji na stężenia cząstek stałych spalin na poziomie 4  $\text{mg}/\text{m}^3$  (2,4). W piśmiennictwie zostały również przedstawione badania epidemiologiczne, których wyniki wskazują na statystycznie istotne zwiększenie występowania raka pęcherza, raka okrężnicy, odbyticy i żołądka oraz szpiczaka mnogiego i mięsaka siateczkowo-komórkowego (2,4).

Wyniki tych badań epidemiologicznych, szczegółowo omówione przez G. Lebrecht i wsp. (2) w Wytycznych Szacowania Ryzyka Zawodowego dla Czynniki Rakotwórczych, nie pozwalają na jednoznaczne potwierdzenie wpływu narażenia zawodowego na spaliny silników Diesla na zwiększone ryzyko wystąpienia nowotworów u ludzi. Autorzy tego opracowania uważają, że utrudnieniem w interpretacji wyników

badania epidemiologiczne i ograniczeniem do jednoznacznej oceny w większość prac badawczych jest nieuwzględnianie wpływu palenia tytoniu, narażenia na azbest i inne czynniki rakotwórcze, jak również brak danych o poziomie stężeń spalin silników Diesla i ich głównych składników w środowisku pracy, a przede wszystkim wyekstrahowanej frakcji respirabilnej cząstek stałych i zaadsorbowanych na nich substancji chemicznych o działaniu rakotwórczym.

W badaniach doświadczalnych na zwierzętach wykazano również działanie mutagenne i genotoksyczne organicznych ekstraktów z cząstek stałych spalin. Natomiast nie potwierdzono, że spaliny silnika Diesla są czynnikiem powodującym zaburzenia w podstawowych etapach rozrodu zwierząt.

Na podstawie analizy wyników badań toksykologicznych i epidemiologicznych spaliny silników Diesla zostały sklasyfikowane przez Międzynarodową Agencję Badań nad Rakiem (IARC) jako mieszaniny prawdopodobnie rakotwórcze – grupa 2A (4). Wyniki badań toksykologicznych na zwierzętach wskazują na wystarczający dowód działania rakotwórczego wyekstrahowanych cząstek stałych. Natomiast są niewystarczające do potwierdzenia rakotwórczego działania fazy gazowej i spalin silnika Diesla ogółem. Również dowód działania rakotwórczego jest ograniczony. Zespół Ekspertów ds. Aktualizacji Wykazu Czynniki Rakotwórczych na podstawie klasyfikacji IARC oraz analizy piśmiennictwa dotyczącego badań toksykologicznych i epidemiologicznych potwierdził słuszność wprowadzenia spalin silnika Diesla do wykazu czynników prawdopodobnie działających rakotwórczo, stanowiącego załącznik do Rozporządzenia Ministra Zdrowia i Opieki Społecznej w sprawie czynników rakotwórczych i nadzoru nad pracownikami zawodowo narażonymi na te czynniki (5).

## ZASADY I METODY OCENY NARAŻENIA ZAWODOWEGO NA SPALINY SILNIKÓW DIESLA

Narażenie zawodowe na substancje chemiczne i cząstki stałe wchodzące w skład spalin emitowanych przez silniki wysokoprężne Diesla występuje wśród obsługujących lub konserwujących sprzęt wyposażony w tego typu silniki. Są to przede wszystkim – kierowcy samochodów, pracownicy zajezdni autobusowych, pracownicy kolei, operatorzy dźwigów, wózków widłowych i podnośników, górnicy oraz strażacy. Aktualnie ocena narażenia tych grup zawodowych w krajowych przedsiębiorstwach nie jest przeprowadzana systematycznie i nie obejmuje pomiarów czynników, które mogą być przyczyną nowotworów. Najczęściej ogranicza się do pomiarów stężeń tlenku węgla, tlenków azotu i/lub pyłu całkowitego. Również wielu pracowników narażonych na prawdopodobnie rakotwórcze działanie spalin Diesla nie jest objętych specjalnym nadzorem przez pracodawców, tak jak zaleca to rozporządzenie ministra zdrowia i opieki społecznej (5).

Prawidłowa ocena narażenia zawodowego na prawdopodobnie rakotwórcze spaliny silników Diesla jest bardzo trudna, przede wszystkim ze względu na możliwość występo-

wania kilkuset substancji chemicznych, zarówno we frakcji gazowej spalin, jak i zaadsorbowanych na cząstkach stałych, zmienność składu tych mieszanin oraz brak jednoznacznego poglądu na temat składników odpowiedzialnych za choroby nowotworowe u ludzi.

Zagadnienie oceny narażenia zawodowego na rakotwórcze spaliny silników Diesla jest przedmiotem prac higienistów amerykańskich z American Conference of Governmental Industrial Hygienists – ACGIH (6). Od kilku lat podejmują próby rozwiązania problemu pomiarów stężeń czynników szkodliwych i oceny narażenia pracowników zatrudnionych przy obsłudze i konserwacji pojazdów, maszyn i urządzeń z tego typu silnikami. Na podstawie opracowanej dokumentacji dopuszczalnych poziomów narażenia zawodowego zaproponowano wartość najwyższego dopuszczalnego stężenia dla cząstek stałych spalin silników Diesla. Od 1996 r. spaliny silnika Diesla są umieszczane w wykazie proponowanych zmian do wykazu wartości dopuszczalnych w środowisku pracy ACGIH. Początkowo proponowana wartość najwyższego dopuszczalnego stężenia w środowisku pracy (TLV) dla cząstek stałych o średnicy aerodynamicznej poniżej 1  $\mu\text{m}$  wynosiła 0,15  $\text{mg}/\text{m}^3$ . Wartość tę systematycznie obniżano i w 2000 r. wynosiła 0,05  $\text{mg}/\text{m}^3$ .

W 2001 r. zaproponowano, aby podstawą oceny narażenia na spaliny silników Diesla było stężenie frakcji respirabilnej węgla elementarnego zawartej w tych spalinach. Wartość TLV dla spalin Diesla odniesiona do frakcji respirabilnej węgla elementarnego wynosi 0,02  $\text{mg}/\text{m}^3$ .

Spaliny te zostały oznaczone symbolem A2, co oznacza, że są zaliczone do czynników podejrzanych o działanie rakotwórcze dla ludzi. Efektem krytycznym, który stanowił podstawę tej propozycji jest rak płuc.

Do oznaczania stężeń węgla elementarnego w powietrzu na stanowiskach pracowników narażonych na spaliny Diesla jest wykorzystywana w USA metoda z zastosowaniem analizatora termooptycznego aerozoli węglowodnorodnych (7). Metoda ta umożliwia selektywne oznaczanie stężeń węgla elementarnego w obecności lotnych i trudno lotnych związków organicznych oraz nieorganicznych, zawierających węgiel (węglany). Badany aerozol jest zbierany z zastosowaniem odpowiednich impaktorów wewnętrznych, w których oddziela się frakcję cząstek o średnicy aerodynamicznej mniejszej od 1  $\mu\text{m}$ , czyli cząstek, które stanowią ponad 90% spalin Diesla. Termo-optyczna analiza jest stosowana w celu ilościowego oznaczenia różnych rodzajów węgla. W pierwszym etapie analizy lotne związki organiczne są utleniane do ditlenku węgla, który po redukcji do metanu jest oznaczany za pomocą detektora płomieniowo-jonizacyjnego. Drugim etapem analizy, podczas którego jest oznaczany węgiel elementarny, jest obniżenie temperatury komory spalania, wprowadzenie tlenu i powtórne podgrzanie do 750°C. Metoda ta umożliwia oznaczenie 1  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  węgla elementarnego, przy pobieraniu próbki powietrza około 2  $\text{m}^3$ .

Metoda z zastosowaniem termooptycznego analizatora jest również metodą zalecaną przez NIOSH (8) do oznaczania

nia węgla elementarnego w spalinach Diesla oraz w powietrzu atmosferycznym.

Badania składu spalin Diesla metodą termooptyczną przeprowadzone przez Zaebst'a i wsp. (9) wykazały, że węgiel elementarny stanowi 64% całkowitej ilości węgla zawartego w spalinach. Współczynnik zmienności charakteryzujący precyzję stosowanej metody wynosił 7% (9). Wyniki tych badań pozwoliły autorom na zaproponowanie, aby stężenie węgla elementarnego oznaczane metodą termooptyczną było wskaźnikiem narażenia na spaliny silników Diesla.

Metoda ta ze względu na trudno dostępne analizatory termooptyczne niestety nie może być wykorzystana w kraju. Można natomiast do oznaczania węgla elementarnego w celu oceny narażenia zawodowego pracowników obsługujących pojazdy i urządzenia z silnikami Diesla zaadaptować metodę oznaczania węgla elementarnego w pyłe w powietrzu atmosferycznym metodą chromatografii gazowej, opracowaną przez Mniszka W. i Zielonka U. (10). Metoda ta polega na wyodrębnieniu pyłu na filtrze z włókna szklanego. Filtr następnie ekstrahuje się w celu usunięcia związków organicznych mieszaniną benzenu i metanolu w aparacie Soxhleta przez 6 godzin w temperaturze wrzenia rozpuszczalników. Związki nieorganiczne węgla obecne w pyłe eliminuje się przez rozpuszczenie ich w 10% kwasie azotowym. Po ekstrakcji związków organicznych i nieorganicznych pozostały na filtrze pył spala się w rurze kwarcowej umieszczonej w cylindrycznym piecu elektrycznym, w atmosferze tlenu, w układzie zamkniętym z wymuszonym obiegiem gazów. Po zakończeniu spalania oznacza się ditlenek węgla powstały w wyniku spalania węgla elementarnego metodą chromatografii gazowej, np. z zastosowaniem kolumny z Porapakem Q.

Badania toksykologiczne potwierdzają rakotwórcze działanie węgla elementarnego zawartego w spalinach silników Diesla. Jednocześnie nie można wykluczyć, że związki chemiczne wchodzące w skład tych spalin, a przede wszystkim wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne i ich nitrowe pochodne, nie będą oddziaływały szkodliwie na pracowników zawodowo narażonych na spaliny silników Diesla. Różnice w masach cząsteczkowych WWA oraz w podstawowych własnościach tej grupy związków powodują, że związki te pochodzące ze spalin Diesla mogą występować w powietrzu środowiska pracy w fazie gazowej, jak również w postaci cząstek stałych. WWA o niskim ciężarze cząsteczkowym 152–178 g/mol – takie jak: acenaften, acenaftylen, antracenu, fluoreni i fenantren występują najczęściej w powietrzu w fazie gazowej. Natomiast związki o średnim ciężarze cząsteczkowym na poziomie 200 g/mol – fluoranteni i piren, występują jednocześnie w fazie gazowej oraz stałej, a o wysokim ciężarze cząsteczkowym 228–278 g/mol – benz[*a*]antracenu, benzo[*a*]pirenu, benzo[*e*]pirenu, benzo[*b*]fluorantenu, benzo[*j*]fluorantenu, benzo[*k*]fluorantenu, benzo[*g,h,i*]perylene, chryzen, dibenz[*a,h*]antracenu i indeno[1,2,3-*c,d*]pirenu, występują w postaci zaadsorbowanej na cząstkach stałych (11,12).

Publikowane prace dotyczą oceny narażenia zawodowego na WWA różnych grup zawodowych pracowników

zatrudnionych przy obsłudze pojazdów i urządzeń z silnikami Diesla. Badania stężeń tych związków w strefie oddychania górników obsługujących wózki w kanadyjskich kopalniach soli kamiennej i niklu wykazały kilkakrotnie większe stężenia tych związków w kopalniach w porównaniu do stężeń oznaczanych w powietrzu atmosferycznym miasta Sudbury. Sumaryczne stężenie 12 WWA w powietrzu w kopalniach soli wynosiło 0,387  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , w kopalniach niklu – 0,132  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , a w powietrzu atmosferycznym 0,026  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (13).

Westerholm i Hang (14) badali zawartość WWA w spalinach pochodzących z 15. różnych olejów napędowych. Najczęściej oznaczali fenantren, 1-metylofenantren, 3-metylofenantren, 2-metyloantracenu, związki które również wykrywali w paliwach. Badania ich wykazały, że jest możliwe obniżenie zawartości tych związków w spalinach przez stosowanie paliwa o mniejszej zawartości tych związków, poniżej 4 mg/l. Wyniki przeprowadzonych w krajowych przedsiębiorstwach pomiarów stężeń 9. WWA (dibenzo[*a,h*]antracenu, benzo[*a*]pirenu, benzo[*a*]antracenu, benzo[*b*]fluorantenu, benzo[*k*]fluorantenu, indeno[1,2,3-*c,d*]pirenu, antracenu, benzo[*g,h,i*]perylene, chryzen), potwierdzają konieczność oznaczania tych substancji w strefie oddychania pracowników narażonych na spaliny Diesla. Wskaźniki narażenia – średnie stężenia ważone dla 24. pracowników zatrudnionych przy obsłudze wózków widłowych obliczone na podstawie stężeń 9. WWA były w zakresie od 0,013 do 0,427  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Maksymalny wskaźnik narażenia dla WWA był na poziomie 1/4 wartości NDS (15). Natomiast badania wykonane dla 23. pracowników zatrudnionych w zajezdniach autobusowych wykazały, że są oni narażeni na niższe WWA – zakres wskaźników narażenia dla 9. WWA wynosił od 0,006 do 0,084  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (16,17).

Drugim czynnikiem prawdopodobnie rakotwórczym, który występował na około 80% badanych stanowisk pracy był formaldehyd (15,16,17). Maksymalna wartość wskaźnika narażenia wynosiła 0,043  $\text{mg}/\text{m}^3$  na stanowiskach obsługi wózków widłowych, co stanowi około 1/10 wartości NDS (0,5  $\text{mg}/\text{m}^3$ ) dla tego związku. Natomiast pracownicy wykonujący rutynowe czynności w zajezdniach przy przeglądach technicznych autobusów byli narażeni na wyższe stężenia formaldehydu do 0,135  $\text{mg}/\text{m}^3$  (ok. 1/3 NDS).

Benzen, substancja o udowodnionym działaniu rakotwórczym dla ludzi wykryto w strefie oddychania 60% badanych pracowników narażonych zawodowo na spaliny silników Diesla. Stężenia tej substancji dochodziły do 0,08  $\text{mg}/\text{m}^3$ , co stanowi ok. 1/20 nowej wartości NDS dla benzenu. Zweryfikowana przez Zespół Ekspertów ds. Czynników Chemicznych Międzyresortowej Komisji ds. Aktualizacji Wykazu NDS i NDN wartość najwyższego dopuszczalnego stężenia dla tej substancji – 1,6  $\text{mg}/\text{m}^3$ , została zatwierdzona przez ministra pracy i polityki społecznej i wprowadzona do rozporządzenia w sprawie NDS i NDN czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy (18).

Biorąc pod uwagę propozycje ACGIH oraz wyniki badań chemicznych zanieczyszczeń powietrza można zalecić do oceny narażenia zawodowego pracowników mających kontakt ze spalinami silników Diesla przeprowadzanie pomiarów stężeń frakcji respirabilnej węgla elementarnego oraz substancji chemicznych o działaniu rakotwórczym i prawdopodobnie rakotwórczym – benzenu, formaldehydu i WWA, w tym koniecznie dibenzo[a,h]antracenu, benzo[a]pirenu, benzo[a]antracenu, benzo[b]fluorantenu, benzo[k]fluorantenu, indeno[1,2,3-c,d]pirenu, antracenu, benzo[g,h,i]perylene, chryzenu, dla których w przepisach krajowy są ustalone wartości NDS (18). W ocenie narażenia zawodowego na spaliny Diesla należy również uwzględnić narażenie na tlenki azotu i tlenek węgla oraz akrylaldehyd. Substancje te mogą występować w strefie oddychania pracowników w stężeniach szkodliwych dla zdrowia pracowników (3,15–17).

Do pomiarów stężeń węgla elementarnego zawartego w spalinach Diesla można zastosować, omówioną wcześniej, metodę wg polskiej normy (10).

Do oznaczania WWA należy zastosować metodę opracowaną przez Brzeźnickiego (19), polegającą na wyodrębnieniu tych substancji na filtrze z włókna szklanego połączonym z rurką pochłaniającą z ORBO 43, ekstrakcji acetonitrylem i analizie metodą HPLC z detektorem fluorometrycznym. Metoda ta umożliwia oznaczenie WWA występujących w fazie gazowej oraz zaadsorbowanych na cząstkach stałych spalin silników Diesla.

Oznaczanie formaldehydu można wykonać stosując metodę zalecaną przez Międzyresortową Komisji ds. Aktualizacji Wykazu NDS i NDS (20). Oznaczanie tą metodą polega na otrzymaniu 2,4-dinitrofenylohydrazonu formaldehydu podczas przepuszczania próbki badanego powietrza przez rurkę pochłaniającą z żelem krzemionkowym pokrytym 2,4-dinitrofenylohydrazyną, desorpcji hydrazonu acetonitrylem i ilościowym oznaczeniu z zastosowaniem HPLC z detektorem spektrofotometrycznym.

## PODSUMOWANIE

Ze względu na działanie prawdopodobnie rakotwórcze spalin silników Diesla i zgodnie z zaleceniami rozporządzenia ministra zdrowia w sprawie czynników rakotwórczych jest konieczne ograniczenie do minimum ryzyka zawodowego oraz zapewnienie specjalistycznej opieki lekarskiej pracownikom zatrudnionych przy obsłudze i konserwacji urządzeń z silnikami wysokoprężnymi Diesla. Jednym z działań profilaktycznych, które umożliwia dokonanie oceny ryzyka zawodowego związanego z występowaniem substancji chemicznych w środowisku i podejmowanie odpowiednich działań korygujących jest monitorowanie stężeń tych substancji w powietrzu w strefie oddychania pracownika. Zgodnie z rozporządzeniem ministra zdrowia i opieki społecznej w sprawie badań i pomiarów czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku (21) w przypadku narażenia na prawdopodobnie rakotwórcze spaliny silników Diesla przeprowadzanie pomiarów stężeń niebezpiecznych substancji

chemicznych i pyłów, na które są narażeni pracownicy, należy wykonywać w sposób ciągły lub jeśli jest to niemożliwe to przynajmniej raz na sześć miesięcy.

Na obecnym etapie wiedzy toksykologicznej, epidemiologicznej i analizy chemicznych zanieczyszczeń powietrza ocena ta powinna uwzględniać przede wszystkim charakterystyczną dla spalin Diesla emisję węgla elementarnego. Do interpretacji wyników pomiarów stężeń tego czynnika w powietrzu na stanowiskach pracy można wykorzystywać najnowszą propozycję ACGIH (5). Wydaje się, że nie można pomijać WWA, formaldehydu i benzenu w tej ocenie, mimo że występują w stosunkowo niskich stężeniach w strefie oddychania pracowników i nie są unikalne dla spalin silników Diesla. Jednocześnie podczas przeprowadzania oceny narażenia zawodowego na spaliny silników Diesla, oprócz pomiarów czynników rakotwórczych, należy wykonywać pomiary tlenków azotu, tlenku węgla, ditlenku siarki i akrylaldehydu.

## PIŚMIENNICTWO

1. Cantrell B.K., Watts W.F.: Diesel Exhaust aerosol: Review of occupational exposure Appl. Occup. Environ. Hyg. 1997; 12 (12): 1019–1027.
2. Lebrecht G., Czerczak S.: Spaliny silnika Diesla. Wytyczne szacowania ryzyka zdrowotnego dla czynników rakotwórczych. Nr 6. Instytut Medycyny Pracy, Łódź 1997, ss. 42–84.
3. Merksiz J.: Emisja cząstek stałych przez silniki spalinowe o zapłonie samoczynnym. Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, Poznań 1997.
4. Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans. Nr 46. IARC, Lyon 1989, ss. 41–185.
5. Rozporządzenie Ministra Zdrowia i Opieki Społecznej z dnia 11 września 1996 r. w sprawie czynników rakotwórczych w środowisku pracy oraz nadzoru nad stanem zdrowia pracowników zawodowo narażonych na te czynniki. DzU nr 121, poz. 571, 1996.
6. ACGIH: Threshold Limit Values for Chemical Substances and Physical Agents (TLV<sub>x</sub>) and Biological Exposure Indices (BEI<sub>x</sub>). American Conference of Governmental Industrial Hygienists, Cincinnati Ohio 1995, 1996, 1997, 1998, 2000, 2001, 2002.
7. Brich M.E., Cary R.A.: An elemental carbon based method for monitoring occupational exposure to particulate diesel exhaust. Aerosol Sci. Tech. 1996; 25: 221–241.
8. NIOSH Manual of Analytical Methods (NMAM): Method 5040 – Elemental Carbon (Diesel particulates). Wyd. IV. National Institute of Occupational Safety and Health, Cincinnati 1998.
9. Zaebst D.D., Clap D.E., Bade L.M.: Quantitative Determination of Truck Industry Workers' exposure to Diesel Exhaust Particulates. Am. Ind. Hyg. Assoc. J. 1991; 52 (12): 529–541.
10. PN-91/Z-04020/02. Ochrona czystości powietrza. Badania zawartości węgla elementarnego. Oznaczanie węgla elementarnego w powietrzu w pyłe atmosferycznym (emisja) metoda chromatografii gazowej. Polski Komitet Normalizacyjny, Warszawa 2002.
11. Tancell P.J., Rhead M.M., Pemberton R.D., Braven J.: Survival of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons during Diesel Combustion. Environ. Sci. Technol. 1995; 29: 2871–2876.
12. Sapota A.: Dokumentacja proponowanych wartości dopuszczalnych poziomów narażenia zawodowego – wielopierścieniowe węglowodory

- aromatyczne [praca niepublikowana]. Instytut Medycyny Pracy, Łódź 1998.
13. Wastawy K.C., Faldus A. J.: Diesel PAH Level in Undergraund Mines. I. Health Issue Related to Metal and Nonmetallic Mining. Butterworth Co., Boston, MA 1983, ss. 355-378.
  14. Westerholm R., Hang L.: A multivariate Statistical Analysis of Fuel-Related polycyclic Aromatic Hydrocarbons Emission from Heavy-Duty Vehicles. Environ. Sci. Technol. 1994; 28: 965-972.
  15. Pośniak M., Makhniashvili I., Kozieł E., Kowalska J.: Narażenie zawodowe na spaliny silników Diesla operatorów wózków widłowych. Brom. Chem. Tok. 2002, 36 (1): 75-80.
  16. Pośniak M., Makhniashvili I., Kozieł E., Kowalska J.: Zagrożenia chemiczne w wybranych procesach technologicznych. CIOP, Warszawa 2001.
  17. Pośniak M., Makhniashvili I., Kozieł E., Kowalska J.: Occupationl Exposure to Polycyclic Aromatic Hydrocarbons during Diesel Combustion. JOSE 2002; 9 (1): 17-26.
  18. Rozporządzenie Ministra Pracy i Polityki Społecznej z dnia 29 listopada 2002 r. w sprawie najwyższych dopuszczalnych stężeń i natężeń czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku prac. DzU nr 217, poz. 1833, 2002.
  19. Brzeźnicki S.: Wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne - metoda oznaczania. Podst. Met. Oceny Środow. Pr. 2000; 3 (25): 95-102.
  20. Pośniak M. Formaldehyd - metoda oznaczania. Podst. Met. Oceny Środow. Pr. 1999; 22: 96-100.
  21. Rozporządzenie Ministra Zdrowia i Opieki Społecznej z dnia 9 lipca 1996 r. w sprawie badań i pomiarów czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy. DzU nr 86, poz. 394, 1996.