



Badanie rozkładu stężeń wybranych WWA we frakcjach cząstek drobnych emitowanych z silników pojazdów samochodowych

Małgorzata Szewczyńska^{}, Małgorzata Pośniak^{*},
Joanna Dąbrowska^{**}, Krystyna Pyrzyńska^{**}*
^{}Centralny Instytut Ochrony Pracy – PIB*
*^{**}Uniwersytet Warszawski*

1. Wstęp

W powietrzu atmosferycznym, a także w powietrzu otaczającym człowieka w pomieszczeniach pracy oraz życia są substancje zanieczyszczające oraz pył zawieszony z zaadsorbowanymi na nim niebezpiecznymi związkami chemicznymi (Mainka i inn. 2015), które mogą wywoływać negatywny wpływ na zdrowie człowieka. Jednym z istotnych źródeł niebezpiecznych dla zdrowia czynników są spaliny silników Diesla, czyli mieszaniny 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 cząstek stałych o różnych wymiarach i kształcie jak również w postaci gazów i par.

Emisja spalin z silników w ciągu ostatnich lat znacznie się zmieniła ze względu na nowe rodzaje paliw, nowe ulepszone modele silnika i nowe technologie kontroli emisji. Wciąż jednak spaliny silnika to mieszanina substancji w różnych stanach skupienia. Znaczna część to substancje w gazowym stanie skupienia, ale są również substancje ciekłe i stałe, pochodzące z niecałkowitego spalania paliwa i oleju silnikowego. Ekstrakt z organicznej części cząstek stałych zawiera głównie niespalone węglowodory, które również znajdują się pierwotnie w paliwie – oleju

napędowym. Organiczna część frakcji rozpuszczalnej składa się, z fazy aromatycznej pochodzących między innymi z niespalonych węglowodorów (benzen, toluen, styren, ksyleny) raz z fazy parafinowej, kwasowej (krezol, kwas benzoesowy), zasadowej (pirydyna, anilina). Pozostałe składniki zaadsorbowane na węglu to między innymi rozpuszczalne w wodzie siarczany, azotany, metale (Chao He i in. 2011).

Cząstki stałe o wymiarach 0,1-0,5 μm łatwo wchłaniają się do organizmu i kumulują w pęcherzykach płucnych. Mogą w nich pozostawać przez kilkadziesiąt dni, co prowadzi do chronicznych zaburzeń w układzie oddechowym, a także potencjalnie działa rakotwórczo (Raghu i in. 2011, Villeneuve i in. 2011, Makoto i in. 2011). W warunkach narażenia ostrego spaliny wywołują podrażnienie błon śluzowych oczu i górnych dróg oddechowych, bóle oraz zawroty głowy, zmęczenie i nudności. Wciąż istnieje wiele obaw związanych z emisją do powietrza pyłu zawieszonego (PM), w tym również pyłu z silników Diesla (Katoshevski i in. 2010, Kizu i in. 2013). Ponieważ wielkość aerodynamiczna cząstek wpływa na przedostawanie się i kumulowanie ich w organizmie (Kizu i in. 2003) ważne jest poznanie ich składu ilościowego i jakościowego oraz poznanie rozkładu substancji w poszczególnych frakcjach. Te informacje mogą pomóc w ocenie potencjalnego zagrożenia zdrowia wskutek wdychania cząstek emitowanego z różnych źródeł do środowiska. Dlatego też są wciąż przedmiotem wielu badań, które prowadzą między innymi do redukcji zanieczyszczeń (Hwang & Hopke 2007).

Międzynarodowa Agencja Badań nad Rakiem (IARC) sklasyfikowała cząstki spalin z silników Diesla do grupy 1 czyli substancji rakotwórczych dla człowieka. Spaliny z silników Diesla, mogą być przyczyną występowania alergii układu oddechowego, ponadto zwiększają ryzyko choroby płuc i astmy (López-Veneroni 2009). Pojazdy z silnikiem diesla przyczyniają się do wzrostu emisji cząstek stałych w powietrzu (Alföldy i in. 2009, Harley 2009), ale nie są do końca znane skutki zdrowotne ich oddziaływania (Oanh i in. 2010). Z danych literaturowych wynika również, że emisja spalin stanowi jedno z głównych źródeł wzrostu liczby cząstek w środowiskach miejskich (Vu i in. 2015).

Wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne (WWA) są szeroko rozpowszechnione jako zanieczyszczenie środowiska, a emisja zanieczyszczeń motoryzacyjnych od dawna uznana jest za najważniejsze źródło antropogenicznych WWA w powietrzu miejskim (Tobiszewski

& Namieśnik 2012, Kozielska 2015). WWA w postaci gazowej oraz zaadsorbowane na cząstkach stałych mogą być transportowane na duże odległości i przeniesione do innych mediów środowiskowych, takich jak gleba, woda i rośliny. Ze względu na działanie rakotwórcze i zdolność do adsorbowania się na cząstkach stałych związki te stanowią poważne zagrożenie dla zdrowia i środowiska, szczególnie w przypadku adsorbowania się na cząstkach o średnicy aerodynamicznej $< 0,25\mu\text{m}$, a więc takich które emitowane są z silników Diesla (Szewczyńska i in. 2013) i które ze względu na swój rozmiar łatwo przenikają do pęcherzyków płucnych.

2. Materiały i metody

2.1. Odczynniki i materiały

W badaniach wykorzystano: acetonitryl, aceton, toluen, heksan, dichlorometan, metanol, cykloheksan firmy J.T. Baker (U.S.A); Woda MilliQ; stosowano paliwo olej napędowy Verva (ze stacji Koncernu Orlen, Polska) Ultimate (ze stacji BP) raz Gold (ze stacji Statoil) oraz benzyny bezołowiowej 95 (ze stacji Orlen, BP i Statoil); Zestaw certyfikowanych wzorców wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych (WWA) EPA 610 Polynuclear Aromatic Hydrocarbons Mix 100-2000 $\mu\text{g}/\text{ml}$ MEOH:CH₂Cl₂(1:1).

Do pobierania próbek spalin stosowano filtry aluminiowe o średnicy 25 mm firmy SKC, USA umieszczone w impaktorze niskociśnieniowego impaktora kaskadowego ELPI (Dekati, Finlandia). ELPI połączony był z pompą olejową o szybkości pobierania 30 l min⁻¹, system rozcieńczana spalin Dekati Diluter i przężarka powietrza z osuszaczem.

2.2. Miejsce i warunki pobierania próbek

Próbki cząstek drobnych frakcji stałej spalin diesla pobierano na modelowym stanowisku do wytwarzania i badania spalin. Stanowisko składało się z silnika wysokoprężnego Diesla TDI z Volkswagen z 2007 r. (z samochodu Skoda Fabia) pojemności skokowej 2.0 L mocy 130 kW i obrotach 1400 rpm oraz benzynowego czterocylindrowego 1.4 L o mocy 55kW z 2009 r oraz aparatury badawczo-pomiarowej (niskociśnieniowy impaktor kaskadowy – ELPI, system rozcieńczania spalin – Dekati Diluter, osuszacz powietrza, sprężarka powietrza), która

podłączona była przewodami teflonowymi do rury wydechowej silnika. Rura wydechowa była wyprowadzona na zewnątrz garażu. Silniki pracowały bez obciążenia na biegu jałowym. Spaliny silnika benzynowego nie były rozcieńczane jak w przypadku spalin Diesla.

Układu ELPI z impaktorem pobierał próbki spalin o temperaturze poniżej 52°C przez 5 dni, przez 4-5 godzin, przy szybkości przepływu 30 l min⁻¹. ELPI jest urządzeniem do pomiaru rozkładu wielkości cząstek zakresie od 7 nm-10 µm. Filtry umieszczane w impaktorze ważono przed i po zebraniu cząstek spalin. Przed każdym ważeniem filtry były przechowywane w ekcykatorze przez 10 godzin w celu usunięcia wilgoci. Próbki przed analizą przechowywano w lodówce w 4°C nie dłużej niż 7 dni.

2.3. Warunki ekstrakcji i analizy WWA

Po pobraniu spalin, filtry z impaktora zbierające frakcję cząstek drobnych poniżej 0,4 µm ważono, a następnie ekstrahowano 10 ml dichlorometanu w łaźni ultradźwiękowej z lodem przez 60 min. Ekstrakty z filtrów odparowywano do sucha w atmosferze azotu, suchą pozostałość rozpuszczano w 1 ml acetonitrylu i poddawano analizie chromatograficznej. Analizę WWA metodą wysokosprawnej chromatografii cieczowej z detekcją fluorymetryczną (HPLC/FL) prowadzono w układzie faz odwróconych, z zastosowaniem kolumny analitycznej Pinnacle II PAH dł. 15 cm, śr. wew. 3,2 mm o uziarnieniu złoża 4,6 µm pracującej w temperaturze 25°C. Analizę prowadzono zgodnie z warunkami opisanymi w literaturze (Szewczyńska i in. 2013).

3. Wyniki i omówienie

Zastosowanie w badaniach systemu ELPI umożliwiło pomiar wielkości cząstek w czasie rzeczywistym i określenie rozkładu wielkości cząstek występujących w spalinach i dało możliwość analizy chemicznej zebranego aerozolu w celu określenia stężeń wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych zaadsorbowanych na cząstkach drobnych spalin.

Prowadzone wcześniejsze badania (Szewczyńska i in. 2013) wykazały, że w spalinach z silnika Diesla emitowane są głównie cząstki o średnicy < 0,25 µm. W związku z tym za pomocą ELPI rozdzielano frakcje o średnicy aerodynamicznej od 0,4 do 0,03 µm w celu określenia stężeń WWA. Analizowano rozkład stężeń WWA na cząstkach drobnych

emitowanych ze spalin diesla i silnika benzynowego pracujących na paliwach pochodzących z różnych stacji.

Pomiary cząstek w czasie rzeczywistym rejestrowane dla spalin z silnika benzynowego wskazują na znaczną redukcję wszystkich obserwowanych parametrów w porównaniu z parametrami dla silnika Diesla (tabela 1). Obserwowane wartości rozkładów stężeń liczbowych, wymiarowych, powierzchniowych, objętościowych i masowych dla spalin z silnika benzynowego stanowią odpowiednio 0,93; 0,75; 0,89; 2,05 oraz 1,38% wartości rejestrowanych dla spalin Diesla.

Tabela 1. Zestawienie średnich wartości rozkładów rzeczywistych cząstek spalin Diesla i silnika benzynowego

Table 1. A comparison of the distributions of actual diesel exhaust and the petrol engine particles

Parametr średnich wartości rozkładów rzeczywistych cząstek spalin	Diesel (n=3)	Benzyna (n=3)
Natężenie prądu, [fA]	571656	3934
Stężenie liczbowe, [1 cm^{-3}]	4983880	46184
Stężenie wymiarowe, [$\mu\text{m cm}^{-3}$]	211983	1600
Stężenie powierzchniowe, [$\mu\text{m}^2 \text{ cm}^{-3}$]	54193	483
Stężenie objętościowe, [$\mu\text{m}^3 \text{ cm}^{-3}$]	2112	43
Stężenie masowe, [mg m^{-3}]	2,11	0,03

Zakres stężeń WWA jakie oznaczano w poszczególnych frakcjach cząstek ultradrobnych spalin z silnika Diesla i benzynowego w zależności od stosowanego paliwa przedstawiono w tabeli 2.

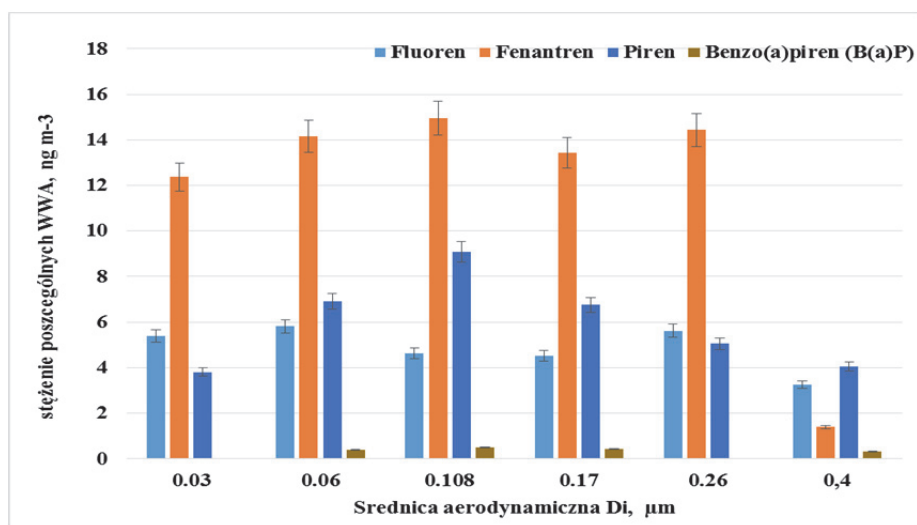
Obliczone średnie stężenia WWA zaadsorbowanych na cząstkach drobnych dla emitowanych z badanych silników wykazują ok. 10 krotne obniżenie emisji badanych związków do powietrza w przypadku pracy silnika benzynowego w stosunku do Diesla.

W cząstkach drobnych emitowanych ze spalin silnika Diesla oznaczano głównie 4 WWA: fluoren, fenantren piren i benzo(a)piren. Przykładowy rozkład zidentyfikowanych WWA w poszczególnych frakcjach cząstek drobnych emitowanych ze spalin silnika Diesla pracującego na paliwie Verwa przedstawiono na rysunku 1.

Tabela 2. Zakresy stężeń WWA w poszczególnych frakcjach ultradrobnych cząstek w spalinach z silnika Diesla i benzynowego w zależności od stosowanego paliwa

Table 2. The ranges of concentrations of PAH in the individual fractions of ultra-fine particles of the exhaust gas from a diesel and gasoline engine, depending on the fuel used

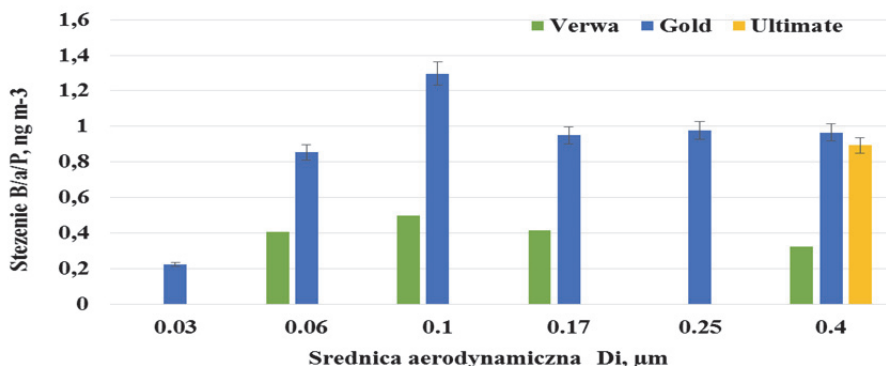
Średnica aerodynamiczna cząstek D50%, μm	0,03	0,06	0,1	0,17	0,25	0,4
Zakresy stężeń WWA w spalinach silnika benzynowego, $[\text{ng m}^{-3}]$						
min	-	0,6	0,57	1,1	1,37	2,5
max	-	0,7	1,7	3,5	8,7	11,4
Zakresy stężeń WWA w spalinach silnika Diesla, $[\text{ng m}^{-3}]$						
min	1,5	7,3	9,8	13,5	8,9	7,5
max	21,6	27,3	29,2	35,2	25,1	9,0



Rys.1. Przykładowy rozkład stężeń zidentyfikowanych WWA w poszczególnych frakcjach cząstek drobnych emitowanych w spalinach z silnika Diesla (paliwo Verva)

Fig 1. An example of the distribution of PAHs identified in fine particles emitted in the exhaust of diesel (Verva fuel)

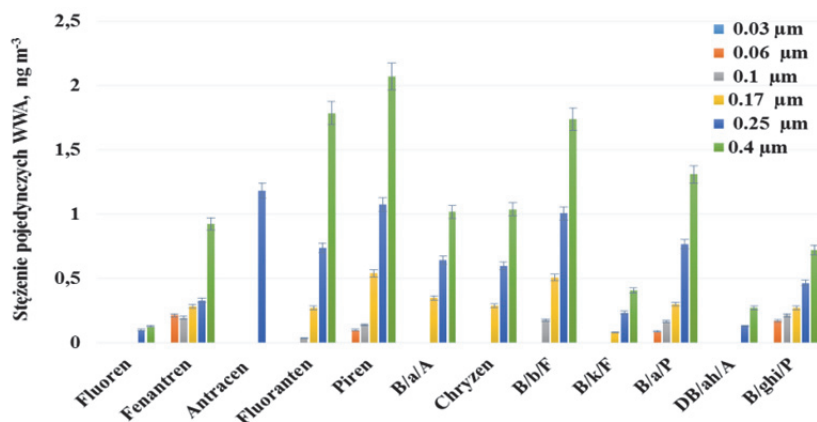
Przykładowy rozkład stężeń związku referencyjnego – benzo(a)pirenu we frakcjach cząstek drobnych emitowanych ze spalin Diesla przedstawiono na rysunku 2.



Rys. 2. Przykładowy rozkład stężeń benzo(a)pirenu w poszczególnych frakcjach cząstek drobnych emitowanych w spalinach z silnika Diesla
Fig. 2. Distribution of concentrations of benzo(a)pyrene in fine particles emitted from diesel engine

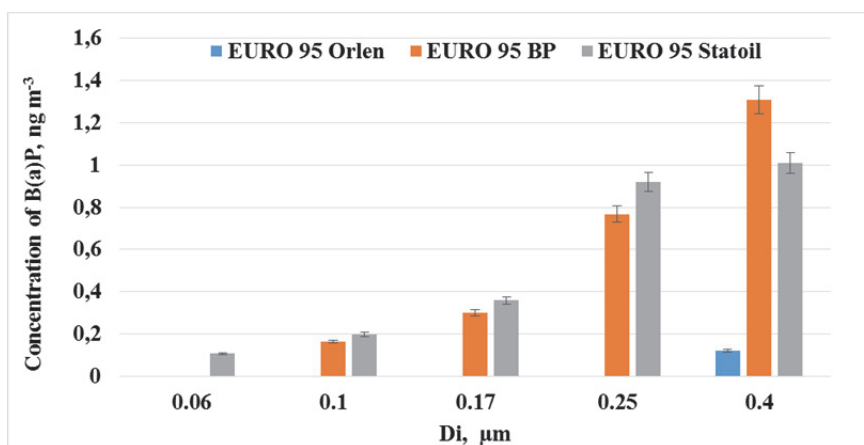
Benzo(a)piren w cząstkach drobnych emitowanych ze spalin silnika Diesla był na poziomie od 0,2 do 1,3 ng m^{-3} we frakcji o średnicy aerodynamicznej odpowiednio 0,03 i 0,11 μm dla paliwa Gold i na poziomie 0,4 do 0,9 ng m^{-3} we frakcji o średnicy aerodynamicznej odpowiednio 0,06 i 0,17 μm dla paliwa Verwa (rys. 2). Największe sumaryczne stężenie WWA w zakresie od 21 do 35 ng m^{-3} oznaczono we frakcjach poniżej 0,17 μm cząstek drobnych emitowanych ze spalin silnika Diesla. W przypadku analizy WWA we zebranych frakcjach cząstek drobnych emitowanych ze spalin silników benzynowych oznaczono 12 WWA we frakcji: 0,26 μm i 9 WWA we frakcji 0,17 μm . Przykładowy rozkład stężeń WWA oznaczonych w poszczególnych frakcjach spalin silnika benzynowego przedstawiono na rys. 3. Związek referencyjny – benz(a)piren był zidentyfikowany w czterech frakcjach poniżej 0,4 μm . Stężenie B(a)P było w zakresie od 0,1 ng m^{-3} dla frakcji o średnicy aerodynamicznej 0,06 μm do 0,92 ng m^{-3} dla frakcji 0,25 μm .

Związek referencyjny – benz(a)piren był zidentyfikowany w czterech frakcjach poniżej 0,4 μm . Stężenie B(a)P było w zakresie od 0,1 ng m^{-3} (na poziomie granicy wykrywalności) dla frakcji o średnicy aerodynamicznej 0,06 μm do 1,3 ng m^{-3} dla frakcji 0,4 μm (rys.4).



Rys. 3. Przykładowy rozkład stężeń zidentyfikowanych WWA w poszczególnych frakcjach cząstek drobnych emitowanych ze spalin silnika benzynowego (benzyna EURO 95 z BP)

Fig. 3. An example of the distribution of PAHs identified at different levels of filtration for a gasoline engine (fuel from BP petrol station).



Rys. 4. Przykładowy rozkład stężeń benzo(a)pirenu w poszczególnych frakcjach cząstek drobnych emitowanych w spalinach z silnika benzynowego

Fig. 4. Distribution of concentrations of benzo(a)pyrene in fine particles emitted from a gasoline engine

4. Podsumowanie i wnioski

Zastosowanie elektrycznego impaktora niskociśnieniowego (EL-PI) pozwoliło na pomiar rozkładu cząstek stałych emitowanych w spaliniach silnika Diesla i benzynowego w czasie rzeczywistym. Jednocześnie przez zastosowanie kilkudniowego cyklu pobierania cząstek stałych możliwe było wykonanie analizy chemicznej rozdzielonych frakcji cząstek drobnych i określenia rozkładu stężeń WWA. Pomiary wykazały że cząstki drobne frakcji poniżej $0,4 \mu\text{m}$ są emitowane do środowiska w wyniku emisji spalin zarówno z silnika Diesla jak i w zredukowanym stopniu z silnika benzynowego.

Oznaczenie składu chemicznego cząstek drobnych emitowanych ze spalin silników jest istotne ze względu na zanieczyszczenie środowiska naturalnego i środowiska życia. Cząstki drobne i zaadsorbowane na nich substancje chemiczne jak rakotwórcze WWA mają istotne znaczenie i mogą negatywnie wpływać na zdrowie człowieka ze względu na miejsce kumulowania się w organizmie, o czym wspomniano we wstępie pracy. Przeprowadzone badania wykazały, że oprócz silników diesla, również silniki benzynowe mogą być potencjalnym źródłem zanieczyszczenia środowiska cząstkami ultra drobnymi. W wyniku badań nie zaobserwowano tendencji poszczególnych związków z grupy WWA do adsorbowania się tylko na pojedynczych frakcjach cząstek drobnych o określonych rozmiarach.

Podziękowanie

Praca przygotowana została na podstawie wyników uzyskanych w ramach III etapu programu wieloletniego pn. „Poprawa bezpieczeństwa i warunków pracy” dofinansowanego w latach 2014-2016 w zakresie badań naukowych przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego. Koordynator programu: Centralny Instytut Ochrony Pracy-Państwowy Instytut Badawczy

Literatura

- Alföldy, B., Giechaskiel, B., Hofmann, W., Drossinos, Y. (2009). Size-distribution dependent lung deposition of diesel exhaust particles. *Journal of Aerosol Science*, 40, 652-663.
- Chao He, Yunshan Ge, Chaochen Ma, Jianwei Tan, Zhihua Liu, Chu Wang, Linxiao Yu, Yan Ding. (2011). *Emission characteristics of a heavy-duty diesel engine at simulated high altitudes. Science of the Total Environment*, 409, 3138-3143.
- Harley, R.A. (2009). *On-road Measurement of Light-duty Gasoline and Heavy-duty Diesel Vehicle Emission*. California Air Resources Board (CARB) and the California Environmental Protection Agency, CA, USA.
- Hwang, I., Hopke, P.K. (2007). Estimation of source apportionment and potential source locations of PM_{2.5} at a west coastal IMPROVE site. *Atmospheric Environment*, 41, 506-518.
- Kam, W., Liacos, J.W., Schauer, J.J., Delfino, R.J., Sioutas, C., (2012) Size-segregated composition of particulate matter (PM) in major roadways and surface streets. *Atmospheric Environment*, 55, 90-97.
- Katoshevski, D., Ruzal, M., Shakked, T., Sher, E. (2010). Particle grouping, a new method for reducing emission of submicron particles from diesel engines. *Fuel*, 89, 2411-2416.
- Kelly, F.J., Fussell, J.C. (2012). Size, source and chemical composition as determinates of toxicity attributable to ambient particulate matter. *Atmospheric Environment* 60, 504-526.
- Kizu, R., Okamura, K., Toriba, A., Mizokami, A., Burnstein, K.L., Klinge, C.M., Hayakawa, K. (2003). Antiandrogenic activities of diesel exhaust particle extracts in PC3/AR human prostate carcinoma cells. *Toxicological Science*, 76, 299-309.
- Kozielska, B. (2015) *Wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne zawarte w pyłach zanieczyszczających środowisko*, Monografia, Wydanie I
- Mainka, A., Zajusz-Zubek, E., Kozielska, B., Brągoszewska, E. (2015). Badanie zanieczyszczeń powietrza oddziałujących na dzieci w przedszkolu miejskim zlokalizowanym przy drodze o dużym natężeniu ruchu. *Inżynieria i Ochrona Środowiska*, 18 (1), 119-133
- Oanh, N.T.K., Thiansathit, W., Bond, T.C., Subramanian, R., Winijkul, E., Paw-Armart, I. (2010). Compositional characterization of PM_{2.5} emitted from in-use diesel vehicles. *Atmospheric Environment*, 44, 15-22.
- López-Veneroni, D. (2009). The stable carbon isotope composition of PM_{2.5} and PM₁₀ in Mexico City Metropolitan Area air. *Atmospheric Environment*, 43, 4491-4502.

- Makoto, E., Masato, N., Masao, H., Haruhisa, K. (2013). Developmental toxicity of diesel exhaust: A review of studies in experimental animals Review Article. *Reproductive Toxicology*, 42, 1-17.
- Raghu, B., Rajasekhar, B. (2011). *Emissions of particulate-bound elements from stationary diesel engine: Characterization and risk assessment*. *Atmospheric Environment*, 45, 5273-5281.
- Szewczyńska, M., Pośniak, M., Dobrzyńska, E. (2013). Study on Individual PAHs Content in Ultrafine Particles from Solid Fractions of Diesel and Biodiesel Exhaust Fumes. *e-Journal of Chemistry*, Article ID 528471, 10 pages <http://dx.doi.org/10.1155/2013/528471>
- Tervahattu, H., Kupiainen, K.J., Raisanen, M., Makela, T., Hillamo, R. (2006). Generation of urban road dust from anti-skid and asphalt concrete aggregates. *Journal of Hazardous Materials*, 132, 39-46.
- Tobiszewski, M., Namieśnik, J. (2012). PAH diagnostics ratios for the identification of pollution emission sources. *Environmental Pollution*, 162, 110-119.
- Thorpe, A.J., Harrison, R.M., Boulter, P.G., McCrae, I.S. (2007). Estimation of particle resuspension source strength on a major London Road. *Atmospheric Environment*, 41, 8007-8020.
- Villeneuve, P.J., Parent, M.É., Sahni, V., Johnson, K.C. (2011). Occupational exposure to diesel and gasoline emissions and lung cancer in Canadian men. *Environmental Research*, 111(5), 727-735.
- Vu, T.V., Delgado-Saborit, J.M., Harrison, R.M., (2015). Review: Particle number size distributions from seven major sources and implications for source apportionment studies. *Atmospheric Environmental*, 122, 114-132.

The Distributin of Concentrations Carcinogenic Substances in Fractions of Fine Particles Emitted During the Operation of Motor Vehicles

Abstract

Particulate matter and chemical substances adsorbed by it, such as carcinogenic PAHs, are of massive significance and may negatively impact human health due to the place where they accumulate within the human body, as mentioned in the introduction. The conducted studies have indicated that in addition to diesel engines, also petrol engines may be a potential source of environmental pollution with ultra-fine particles.

The text presents the results of the study of carcinogenic substances (PAH) in particulate matter emitted in the exhaust gases of diesel and petrol engines. An Electric Low Pressure Impactor (ELPI) was used to measure the

size of particulate matter in real time and to establish the distribution of particulate matter size present in the exhaust gases. Also using the ELPI, fractions smaller than $0.25\ \mu\text{m}$ were separated and then, in order to establish PAH concentrations, the material collected on the impactor level filters cutting off the $0.4\text{-}0.03\ \mu\text{m}$ fractions was analysed. The observed numerical, dimensional, surface, volume and mass concentration distribution values for the exhaust gases from a petrol engine corresponded to, respectively, 0.93; 0.75; 0.89; 2.05; and 1.38% of the values recorded for diesel exhaust gases. The calculated average PAH concentrations adsorbed on small fractions for emissions from the tested engines also indicated a reduction of emissions of tested compounds in the case of petrol engine operation. The largest total PAH concentration, i.e. $35\ \text{ng m}^{-3}$, was marked in fractions smaller than $0.1\ \mu\text{m}$ of fine particulate matter emitted in diesel engine exhaust, whereas in the case of a petrol engine, it amounted to $11\ \text{ng m}^{-3}$ and was marked in the $0.4\ \mu\text{m}$ fraction.

Benzo(a)pyrene was at a maximum concentration of $1.3\ \text{ng m}^{-3}$ in the fine particulate matter fraction with the aerodynamic diameter of $0.1\ \mu\text{m}$ in the diesel engine exhaust gases and respectively in the $0.4\ \mu\text{m}$ fraction in the petrol engine exhaust gases. Measurements have indicated that the particulate matter in fraction below $0.4\ \mu\text{m}$ is emitted into the environment by the emissions from diesel engine exhaust and, to a lesser degree, also from petrol engine exhaust.

The studies have not indicated the tendency of individual PAH compounds to be adsorbed only on single fractions of particulate matter with specific dimensions.

Słowa kluczowe:

substancje rakotwórcze, wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne (WWA), rozkład cząstek drobnych, spaliny Diesla, spaliny z benzyny

Keywords:

carcinogenic substances, polyaromatic hydrocarbons, particle size distribution; motor vehicles, Diesel exhaust, gasoline exhaust