

## Exposure of miners to exhaust emitted from diesel engines measured as elemental carbon

# Narażenie górników na spaliny emitowane z silników Diesla mierzone jako węgiel elementarny



DOI: 10.15199/62.2025.1.4

*The content of elemental C as a marker of diesel engine exhaust emitted into the air at the workplaces of miners and overhead railway drivers working in 5 mine workings was detd. Air samples were collected using samplers screening respirable particles  $\geq 1.0 \mu\text{m}$ . A thermo-optical analyzer with a flame ionization detector was used to det. the concn. of elemental C in the collected samples.*

**Keywords:** elemental carbon, occupational exposure, diesel engine exhaust, mines, miners

Przedstawiono wyniki oznaczania węgla elementarnego jako markera spalin z silników Diesla emitowanych do powietrza na stanowiskach pracy górników i maszynistów kolejek podwieszanych pracujących w wyrobiskach górniczych. Próbkę powietrza pobierano z zastosowaniem próbników z impaktorem odcinającym cząstki respirabilne  $\geq 1,0 \mu\text{m}$ . Do oznaczania stężeń węgla elementarnego w pobieranych próbkach zastosowano analizator termooptyczny z detektorem płomieniowo-jonizacyjnym.

**Słowa kluczowe:** węgiel elementarny, narażenie zawodowe, spaliny z silnika Diesla, kopalnie, górnicy

Narażenie pracowników na spaliny z silników wysokoprężnych (DE) obecnie jest powiązane ze zwiększonym ryzykiem zachorowania na choroby nowotworowe i choroby układu krążenia. Międzynarodowa Agencja Badań nad Rakiem (IARC) zaklasyfikowała spaliny emitowane z silników Diesla jako czynnik rakotwórczy dla ludzi (kategoria 1<sup>1)</sup>).

Spaliny z silnika Diesla w wyniku niepełnego spalania oleju napędowego tworzą złożoną mieszaninę substancji chemicznych występujących w stanie stałym, ciekłym i gazowym<sup>2, 3)</sup>.

Na intensywność emisji i skład spalin mają wpływ m.in. typ silnika, paliwo, olej i eksploatacja. W mieszaninie emitowanych do środowiska spalin mogą znajdować się tlenki

węgla, tlenki azotu, ditlenek siarki, para wodna, związki siarki, węglowodory o małej masie cząsteczkowej (benzen, 1,3-butadien) i aldehydy<sup>4)</sup>.

Cząstki stałe emitowane z silników Diesla składają się z węgla elementarnego (EC), który stanowi większą część cząstek stałych emitowanych z silników wysokoprężnych niż powstająca również podczas spalania oleju napędowego rozpuszczalna frakcja organiczna. EC stanowi idealne podłoże do adsorbowania innych związków organicznych węgla oraz innych cząstek stałych/ciekłych, takich jak niespalone paliwo, kropelki smaru i dodatki metaliczne. Ilość zaadsorbowanych związków zależy od temperatury spalin i stężenia węglowodorów. W temperaturze poniżej 500°C adsorbowane są cząsteczki



Dr hab. Małgorzata SZEWCZYŃSKA (ORCID: 0000-0003-3319-3024) w roku 1993 ukończyła studia na Wydziale Chemii Uniwersytetu Warszawskiego. Od tego czasu pracuje w Centralnym Instytucie Ochrony Pracy – Państwowym Instytucie Badawczym, obecnie na stanowisku kierownika Pracowni Zagrożeń Chemicznych. W 2003 r. uzyskała stopień doktora nauk technicznych, a w 2017 r. stopień doktora habilitowanego nauk chemicznych na Uniwersytecie Gdańskim. Specjalność – rozwijanie technik wysokosprawnej chromatografii cieczowej, gazowej i jonowej do analiz czynników chemicznych w środowisku pracy, ze szczególnym uwzględnieniem czynników rakotwórczych, wykorzystanie metod chromatograficznych i spektrometrii mas do identyfikowania

i oznaczania substancji chemicznych w środowisku pracy, w pomieszczeniach biurowych i mieszkalnych oraz zastosowanie nowych próbników do pobierania odpowiednich frakcji pyłu zawieszonego.

#### \* Adres do korespondencji:

Pracownia Zagrożeń Chemicznych, Zakład Zagrożeń Chemicznych, Pyłowych i Biologicznych, Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy, ul. Czerniakowska 16, 00-701 Warszawa, tel.: (22) 623-32-52, fax: (22) 623-36-93, e-mail: mapol@ciop.pl



Dr Elżbieta DOBRZYŃSKA (ORCID: 0000-0003-1595-9663) w roku 2003 ukończyła studia na Wydziale Chemii Uniwersytetu Warszawskiego. W tym samym roku rozpoczęła pracę w Centralnym Instytucie Ochrony Pracy – Państwowym Instytucie Badawczym, gdzie obecnie jest adiunktem w Pracowni Zagrożeń Chemicznych Zakładu Zagrożeń Chemicznych, Pyłowych i Biologicznych. W 2014 r. uzyskała stopień doktora nauk technicznych. Jej działalność naukowa związana jest m.in. z analizą związków chemicznych z wykorzystaniem technik chromatograficznych, oceną narażenia i ryzyka zawodowego związanego ze stosowaniem i występowaniem substancji chemicznych w środowisku pracy. Specjalność – inżynieria środowiska.

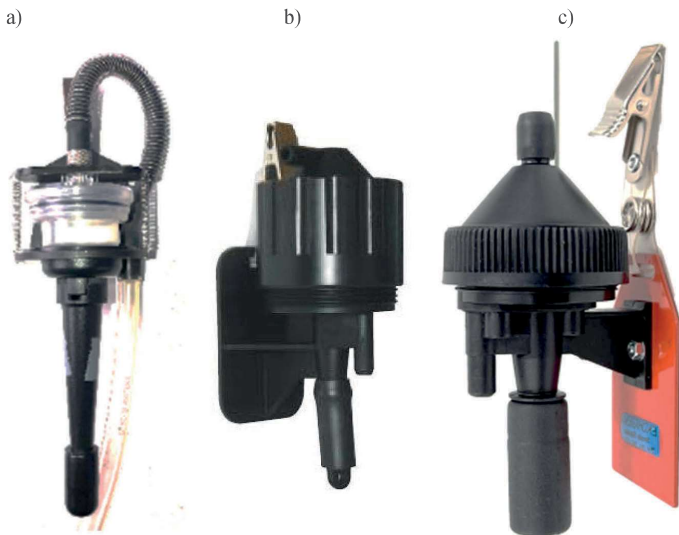


Fig. 1. Samplers used (quartz filter diameter 37 mm); a) DPM1 (flow rate 2 L/min); b) DPM2 (flow rate 2 L/min); c) FH022 (flow rate 2.2 L/min)

Rys. 1. Stosowane próbniki (średnica filtra kwarcowego 37 mm); a) DPM1 (przepływ 2 L/min); b) DPM2 (przepływ 2 L/min); c) FH022 (przepływ 2,2 L/min)

o dużej masie cząsteczkowej, takie jak wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne, ketony, estry, etery, niespalone węglowodory pochodzące z par paliwa i oleju smarującego oraz związki nieorganiczne. W fazie początkowej spalania powstają cząstki o średnicy 0,02–0,8  $\mu\text{m}$ , które w wyniku procesów kondensacji przechodzą z formy cząsteczkowej w formę skumulowaną o średnicy nawet 30  $\mu\text{m}$ . Większość cząstek znajduje się w obrębie frakcji respirabilnej, ale 92% cząstek emitowanych w spalinach Diesla ma średnicę mniejszą niż 1  $\mu\text{m}$ <sup>4</sup>.

Istotne jest zatem monitorowanie stężenia spalin emitowanych z silników Diesla, mierzonych jako EC, za pomocą selektywnego próbnika względem wielkości cząstek, aby zbierał właściwą frakcję w zakresie submikronowym, czyli poniżej 1  $\mu\text{m}$ .

Oznaczanie EC emitowanego do powietrza środowiska pracy ze spalin silników Diesla na naziemnych stanowiskach pracy i ocenę zastosowanych tam próbników przedstawiono w publikacjach Szewczyńskiej i współpr.<sup>5,6</sup>. Na stanowiskach zlokalizowanych na powierzchni ziemi nie ma problemu z zastosowaniem próbników i zbieraniem odpowiedniej frakcji pyłu/węgla. Sytuacja z doбором próbnika komplikuje się przy pobieraniu próbek w podziemnych wyrobiskach górniczych, gdzie są złoża węgla kamiennego.

Dla górnictwa podziemnego i budowy tuneli wartość najwyższego dopuszczalnego stężenia (NDS) dla spalin emitowanych z silników Diesla na poziomie 0,05  $\text{mg}/\text{m}^3$  (mierzonych jako EC) będzie obowiązywać od 20 lutego 2026 r.<sup>7</sup>. Zmiany w wykazie wartości NDS nakładają na pracodawców przedsiębiorstw obowiązek dostosowania się do zaleceń rozporządzenia<sup>7</sup>, aby zapewnić odpowiednie warunki pracy i ochronę zdrowia pracowników przed rakotwórczymi substancjami emitowanymi w spalinach z silników Diesla.

Celem pracy było sprawdzenie poziomów stężeń spalin z silników Diesla emitowanych do powietrza stanowisk pracy górników oraz maszynistów kolejek pracujących w wyrobiskach kopalni, gdzie stosowane są maszyny z silnikami wysokoprężnymi, a także oszacowanie wielkości narażenia górników i wytypowanie właściwego próbnika do zbierania odpowiedniej frakcji.

## Część doświadczalna

### Miejsca pobierania próbek

Próbki powietrza pobierano na stanowiskach pracy w podziemnych wyrobiskach górniczych w szybach 5 kopalni, w których stosowane są podwieszane kolejki spalinowe oraz pociągi z lokomotywami spalinowymi do transportu urobku, ludzi oraz elementów obudów podporowych do zabezpieczenia i budowy wyrobisk górniczych.

### Sprzęt do pobierania próbek powietrza

W podziemnych wyrobiskach kopalni górniczych (KWK) zastosowano próbniki jednorazowe DPM (*diesel particular matter*) (SKC Inc., Eighty Four, PA, USA), w których impaktor ekranował cząstki respirabilne  $\geq 1,0$   $\mu\text{m}$ . Cząstki  $< 1$   $\mu\text{m}$  były zatrzymywane na filtrze kwarcowym. W badaniach stosowano próbnik DPM połączony z cyklonem CS-1 (DPM1), próbnik DPM umieszczony w środku specjalnie zaprojektowanego cyklonu, który zapewnia bezpieczne trzymanie próbnika DPM (DPM2). Cyklon ten jest mały, lekki i wykonany z przewodzącego tworzywa sztucznego, aby zapobiec powstawaniu efektów elektrostatycznych. Stosowano też próbnik do frakcji respirabilnej typu Higgins-Dewell Cyclone FH022 z filtrem kwarcowym 37 mm, np. Tissuequartz 2500QAT-UP Pallflex (Pall Corporation, Port Washington, NY, USA). Stosowane próbniki przedstawiono na rys. 1.



Dr Joanna KOWALSKA (ORCID: 0000-0002-1431-3089) w roku 1993 ukończyła studia na Wydziale Chemii Uniwersytetu Warszawskiego. W 1994 r. rozpoczęła pracę w Centralnym Instytucie Ochrony Pracy – Państwowym Instytucie Badawczym, gdzie obecnie jest adiunktem w Zakładzie Zagrożeń Chemicznych, Pyłowych i Biologicznych. W 2014 r. uzyskała stopień doktora nauk technicznych. Jej działalność naukowa związana jest z analizą związków chemicznych z zastosowaniem technik chromatograficznych i opracowywaniem metod oznaczania substancji chemicznych w powietrzu na stanowiskach pracy. Specjalność – inżynieria środowiska.



Mgr Paweł WASILEWSKI (ORCID: 0000-0001-6735-4207) w roku 2019 ukończył studia na Wydziale Chemii Uniwersytetu Warszawskiego. Obecnie jest chemikiem w Zakładzie Zagrożeń Chemicznych, Pyłowych i Biologicznych Centralnego Instytutu Ochrony Pracy – Państwowego Instytutu Badawczego w Warszawie. Jego działalność naukowa jest związana z analizą oraz opracowywaniem metod oznaczania niebezpiecznych substancji chemicznych w powietrzu na stanowiskach pracy, ze szczególnym naciskiem na metale oznaczane z wykorzystaniem absorpcyjnej spektrometrii mas. Specjalność – inżynieria środowiska.

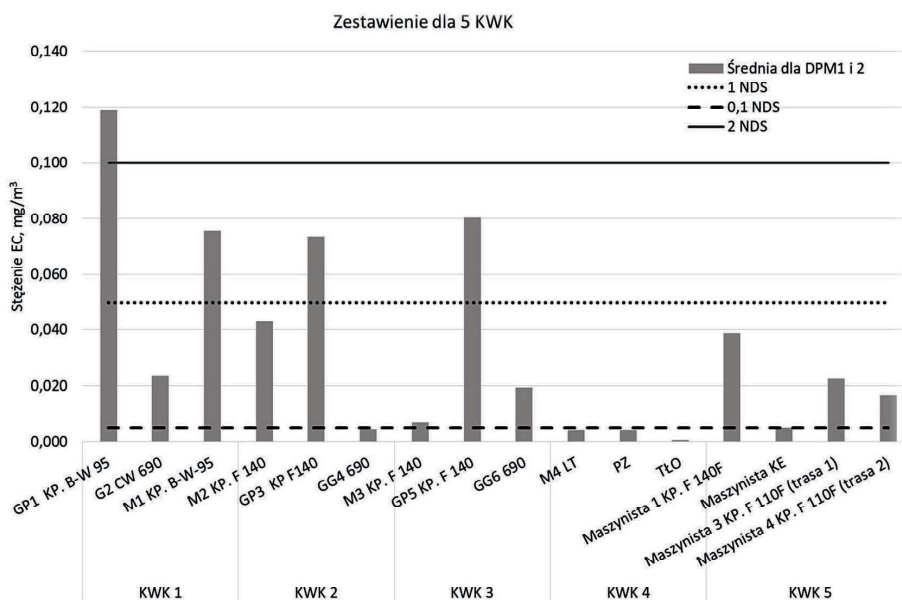


Fig. 2. Summary of the results of the average EC concentration at the surveyed sites in the mine workings of 5 coal mines

Rys. 2. Zestawienie wyników średniego stężenia EC na badanych stanowiskach w wyrobiskach górniczych 5 kopalni węgla kamiennego

## Metodyka badań

Na wytypowanych stanowiskach pracy, zgodnie z zasadami dozymetrii indywidualnej, pobierano próbki przez 75% czasu trwania zmiany roboczej. Przez próbniki przepuszczano powietrze o natężeniu przepływu od 2 L/min. Warunki analizy termooptycznej szczegółowo przedstawiono w pracach<sup>5,9)</sup>.

Stężenie EC w próbkach powietrza pobieranych na stanowiskach pracy oznaczano za pomocą analizatora termooptycznego z detektorem płomieniowo-jonizacyjnym OCEC Dual-Optical Analizator (Sunset Laboratory Inc., USA), zgodnie z metodą NIOSH<sup>8)</sup> z zastosowaniem procedury opisanej w pracy<sup>9)</sup>.

## Wyniki badań

Wyniki badań stężenia węgla elementarnego na stanowiskach maszynistów i górników pracujących przy kolejkach spalinowych w 4 kopalniach, w których testowano 3 próbniki przedstawiono w tabeli 1. Do statystycznej oceny poprawności wyniku oznaczania węgla elementarnego w próbce powietrza pobieranej za pomocą danego próbnika zastosowano parametr statystyki indywidualnej, standaryzowany współczynnik Z (reszta standaryzowana). Resztę obliczano wg wzoru (1):

$$Z = \frac{EC_{Próbnik} - EC_{ODN}}{SD} \quad (1)$$

w którym  $EC_{Próbnik}$  oznacza zawartość EC oznaczoną danym próbnikiem,  $EC_{ODN}$  zawartość EC odniesienia/przyjęta (średnia z DPM1 i DPM2), a  $SD$  odchylenie standardowe.

Zgodnie z przyjętym założeniem oceny, jeżeli  $|Z| \leq 1$ , to wynik uzyskany przy zastosowaniu danego próbnika jest poprawny.

Jak wynika z tabeli 1, na wszystkich badanych stanowiskach zawartości EC uzyskane za pomocą głowicy FH022 były ponad 2-krotnie wyższe niż zawartości EC uzyskane przy zastosowaniu próbnika typu DMP zbierającego cząstki  $< 1 \mu\text{m}$ .

Przeprowadzona analiza statystyczna i obliczony współczynnik Z (tabela 1) wskazują, że uzyskane wyniki stężeń EC dla próbników DPM umieszczonych w różnych cyklonach (DPM1 i DPM2) były zadowalające. Wyniki EC uzyskane z próbnika przeznaczonego do frakcji respirabilnej typu Higgins-Dewell Cyclone FH022 oceniono jako niepoprawne. Głowica do frakcji respirabilnej zbierała cząstki poniżej  $2,5 \mu\text{m}$ , a więc nie tylko cząstki pochodzące ze spalin Diesla, ale również cząstki z tła kopalni.

Na rys. 2 zestawiono wyniki oznaczenia średniego stężenia EC w próbkach powietrza na badanych stanowiskach w wyrobiskach górniczych 5 kopalni węgla kamiennego przy zastosowaniu tylko próbników DPM umieszczonych w różnych cyklonach. Z zestawienia tego wynika, że oznaczone stężenia EC w kabinach maszynistów były w zakresie  $0,004\text{--}0,078 \text{ mg/m}^3$ , co stanowi  $0,08\text{--}1,5$ -krotności NDS. Największe stężenie EC oznaczano w kabinie maszynisty kolejek podwieszanych M1 K. B-W-95 ( $0,076 \text{ mg/m}^3$ ) w kopalni KWK 1 i stanowiło 1,5-krotności NDS. Stężenia mierzone dla górników przewożonych kolejką w wagonie z napędem było w zakresie  $0,074\text{--}0,12 \text{ mg/m}^3$  ( $1,5\text{--}2,4$ -krotności NDS). Największe stężenie ( $0,12 \text{ mg/m}^3$ ) oznaczono dla górnika GP1 KP. B-W-95 w kopalni KWK 1. W zakresie  $0,004\text{--}0,023 \text{ mg/m}^3$  ( $0,08\text{--}0,5$ -krotności NDS) oznaczono stężenie EC dla pozostałych górników pracujących w różnych miejscach wyrobisk.

W publikacji Berlingera i współpr.<sup>10)</sup> autorzy przedstawiają wyniki pomiarów m.in. EC w spalinach z silnika Diesla np. w kopalniach górniczych, odkrywkowych i przy drażeniu tuneli w Norwegii. Największe stężenia EC w powietrzu (średnia geometryczna, GM) oznaczono przy wykańczaniu tuneli drogowych ( $GM = 37,8 \mu\text{g/m}^3$ ) i w górnictwie podziemnym ( $GM = 18,9 \mu\text{g/m}^3$ ). Małe stężenia EC w powietrzu zmierzono natomiast w kopalni odkrywkowej ( $GM = 1,2 \mu\text{g/m}^3$ ).

W pracy Hesterberga i współpr.<sup>11)</sup> przedstawiono wyniki oznaczania EC w wyrobiskach górniczych. Oznaczenia prowadzono na stanowiskach pracy górników, pracowników kopalni i pracowników doków. Stężenia na tych stanowiskach były w zakresie  $4\text{--}637 \mu\text{g/m}^3$ . Mniejsze stężenia oznaczano dla górników kopalni odkrywkowych w zakresie  $13\text{--}23 \mu\text{g/m}^3$ .

Table 1. Results of elemental carbon concentration tests on miners and machinists at 4 mines where samplers were tested

Tabela 1. Wyniki badań stężenia węgla elementarnego na stanowiskach górników i maszynistów w 4 kopalniach, w których testowano próbniki

Symbol stanowiska	Miejsce pobierania prób	Rodzaj próbника	Stężenie EC, mg/m <sup>3</sup> <i>EC<sub>Próbnik</sub></i>	Krotność NDS (0,05 mg/m <sup>3</sup> )	Średnie EC dla DPM1 i DPM2, mg/m <sup>3</sup> <i>EC<sub>ODN</sub></i>	SD	RSD, %	Współczynnik Z	Ocena
KWK 1									
GP1 KP. B-W-95	górnik przewożony kolejką KP. B-W-95 wagon za napędem	DPM1	0,1234	2,47	0,119	0,040	33,27	0,12	+
		DPM2	0,1142	2,28				-0,12	+
		FH022	0,1868	3,74				1,72	-
G2 CW 690	górnik chodnik wentylacyjny -690 m pod ziemią	DPM1	0,0251	0,5	0,023	0,004	16,07	0,47	+
		DPM2	0,0216	0,43				-0,47	+
		FH022	0,0291	0,58				1,53	-
M1 KP. B-W-95	maszynista 1 KP. B-W-95	DPM1	0,0012	0,02	0,076	0,139	183,56	-0,54	+
		DPM2	0,15	3				0,54	+
		FH022	0,2785	5,57				1,46	-
KWK 2									
M2 KP. F 140	maszynista 2 KP. F 140	DPM1	0,0294	0,59	0,029	0,008	29,14	0,11	+
		DPM2	0,0276	2,55				-0,11	+
		FH022	0,0428	0,86				1,72	-
GP3 KP F 140	górnik przewożony kolejką KP. F 140 wagon za napędem	DPM1	0,076	1,52	0,074	0,018	23,91	0,14	+
		DPM2	0,0712	1,42				-0,14	+
		FH022	0,0434	0,87				-1,72	+
GG4 690	górnik garaż - 690 m pod ziemią	DPM1	0,0038	0,08	0,004	0,005	128,20	-0,07	+
		DPM2	0,0046	0,09				0,07	+
		FH022	0,0135	0,27				1,73	-
KWK 3									
M3 KP. F 140	maszynista 3 KP. F 140	DPM1	0,0083	0,17	0,007	0,006	85,35	0,22	+
		DPM2	0,0057	0,11				-0,22	+
		FH022	0,0171	0,34				1,69	-
GP5 KP. F 140	górnik przewożony kolejką KP. F 140 wagon za napędem	DPM1	0,087	1,74	0,080	0,027	33,76	0,25	+
		DPM2	0,0737	1,47				-0,25	+
		FH022	0,1259	2,52				1,68	-
GG6 690	górnik garaż - 690 m pod ziemią	DPM1	0,0206	0,41	0,019	0,039	203,15	0,03	+
		DPM2	0,0181	0,36				-0,03	+
		FH022	0,0874	1,75				1,73	-
KWK 4									
M4 LT	maszynista 4 LT	DPM1	0,0058	0,12	0,004	0,012	293,03	0,14	+
		DPM2	0,0024	0,05				-0,14	+
		FH022	0,0247	0,49				1,71	-
PZ	pracownik zajezdni kolejek	DPM1	0,0072	0,14	0,004	0,004	106,78	0,79	+
		DPM2	0,0006	0,01				-0,79	+
		FH022	0,0083	0,17				1,06	-
TŁO	tło czystego powietrza	DPM1	0,0021	0,04	0,002	0,001	41,69	-0,06	+
		DPM2	0,0022	0,04				0,06	+
		FH022	0,0037	0,07				1,73	-

Table 2. Ranges of EC concentrations measured at mine workplaces in Polish mines

Tabela 2. Zakresy stężeń EC zmierzone na stanowiskach przy w wyrobiskach górniczych w polskich kopalniach

Stanowisko	Stężenie EC, $\mu\text{g}/\text{m}^3$	
	minimalne	maksymalne
Maszyści kolejek podwieszanych	4	74
Maszynista lokomotywy torowej	19	
Maszynista kolejki elektrycznej	5	
Górnik przewożony kolejką	74	119
Inni górnicy	4	23

Jak wynika z danych przedstawionych w tabeli 2, na badanych stanowiskach pracy w wyrobiskach górniczych w Polsce poziom zmierzonych stężeń EC był podobny do przedstawionego w literaturze.

## Podsumowanie

Nowe regulacje prawne dotyczące narażenia zawodowego na spaliny emitowane z silników Diesla, mierzone jako EC, dla górnictwa podziemnego i budowy tuneli w Polsce zaczną obowiązywać od 20 lutego 2026 r. Prezentowana seria pomiarowa na pewno nie wyczerpuje tematu rozpoznania poziomów narażenia na spaliny z silników Diesla na różnych stanowiskach pracy w Polsce. Należy kontynuować badania i pomiary w celu weryfikacji poziomów stężeń EC w powietrzu na wszystkich stanowiskach, gdzie stosowane są pojazdy z silnikami Diesla, gdyż jest to czynnik rakotwórczy, który dotychczas nie był monitorowany. Środowisko wyrobisk w kopalniach, szczególnie węgla kamiennego, jest trudnym obszarem do badania i oznaczania EC pochodzącego ze spalin Diesla, ze względu na możliwe interferencje węgla z zewnątrz, ze środowiska samej kopalni. Duży wpływ na stężenia EC w wyrobiskach górniczych ma przepływ powietrza w wyrobisku i prawidłowa jego wentylacja. Biorąc pod uwagę fakt, że wyrobiska mogą być różnych rozmiarów, wymiana powietrza może

być różna, a że te same kolejki podwieszane mogą pracować w różnych wyrobiskach, a ich obciążenie podczas pracy może być różne, to wyniki oznaczania stężeń EC mierzone np. dla maszynisty kolejki mogą się zmieniać w zależności od warunków i miejsca, w jakich jeździ dana kolejka.

*Publikację opracowano na podstawie wyników VI etapu programu wieloletniego pn. „Rządowy Program Poprawy Bezpieczeństwa i Warunków Pracy”, finansowanego w zakresie zadań służb państwowych ze środków Ministerstwa Rodziny i Polityki Społecznej. Zadanie nr 3.ZS.07 Koordynator Programu: Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy.*

Otrzymano: 23-10-2024

Zrecenzowano: 28-10-2024

Zaakceptowano: 14-11-2024

Opublikowano: 24-01-2025

## LITERATURA

- [1] International Agency for Research on Cancer, IARC monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans, Diesel and gasoline engine exhaust and some nitroarenes, Lyon, France, 2012.
- [2] C. Nordenhall, J. Pourazar, A. Blomberg, J.O. Levin, T. Sandstrom, E. Adelroth, *Eur. Respir. J.* 2001, **17**, nr 5, 909.
- [3] Y. Xu, L. Barregard, J. Nielsen i in., *Part Fibre Toxicol.* 2013, **10**, 60.
- [4] M. Debia, C. Couture, P.E. Njanga, E. Neesham-Grenon, G. Lachapelle, H. Coulombe, S. Hallé, S. Aubin, *Int. J. Min. Sci. Technol.* 2017, **27**, 641.
- [5] M. Szewczyńska, J. Kowalska, M. Przybyła, A. Szczurek, *Przem. Chem.* 2023, **102**, nr 10, 1064.
- [6] M. Szewczyńska, J. Kowalska, M. Przybyła, A. Szczurek, *Przem. Chem.* 2022, **101**, nr 8, 591.
- [7] 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.
- [8] NIOSH 5040, Elemental Carbon (Diesel Particulate), NIOSH Manual of Analytical Methods (NMAM), 2004.
- [9] M. Szewczyńska, M. Pośniak, J. Kowalska, *Podst. Metody Oceny Środ. Pracy* 2023, nr 1(115), 5.
- [10] B. Berlinger, D.G. Ellingsen, N. Romanova, G. Friisk, H.L. Daae, S. Weinbruch, N.P. Skaugset, Y. Thomassen, *Ann. Work Expo. Health* 2019, **63**, nr 3, 349.
- [11] T.W. Hesterberg, C.M. Long, W.B. Bunn, C.A. Lapin, R.O. McClellan, P.A. Valberg, *Inhal. Toxicol.* 2012, **24**, 1.

przemysł chemiczny 1 11 listopada 2025

KONFERENCJA przemysł chemiczny

Laureaci Konkursu o tytuł „Inżynier Przemysłu Chemicznego” 2024

Stowarzyszenie Inżynierów i Techników Przemysłu Chemicznego

Polub nas na Facebooku