

OCENA NARAŻENIA ZAWODOWEGO NA WĘGIEL ELEMENTARNY W ZAKŁADACH STOSUJĄCYCH MASZYNY I URZĄDZENIA Z SILNIKAMI WYSOKOPRĘŻNYMI

ASSESSMENT OF OCCUPATIONAL EXPOSURE TO ELEMENTAL CARBON IN PLANTS USING DIESEL MACHINERY AND EQUIPMENT

Małgorzata Szewczyńska, Joanna Kowalska, Małgorzata Pośniak

Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy / Central Institute for Labour Protection – National Research Institute, Warszawa, Polska
Zakład Zagrożeń Chemicznych, Pyłowych i Biologicznych / Department of Chemicals, Aerosols and Biological Hazards

STRESZCZENIE

Wstęp: W artykule przedstawiono i omówiono wyniki oznaczania węgla elementarnego (*elemental carbon* – EC) emitowanego w spalinach silników Diesla (SSD) do powietrza stanowisk pracy, na których były wykorzystywane maszyny i urządzenia z takimi silnikami. Narażenie zawodowe na EC jako marker SSD oceniono, obejmując pomiarami 51 naziemnych stanowisk pracy z obsługą lub konserwacją silników Diesla. Przeprowadzono również pomiary na 9 stanowiskach pracy w kopalniach niewęglowych. **Materiał i metody:** Do pobierania próbek powietrza na stanowiskach pracy maszyn i urządzeń emitujących SSD zlokalizowanych na powierzchni do oznaczania EC wykorzystano próbnik kasetowy bez impaktora z filtrem kwarcowym, a w przypadku pomiarów w kopalniach niewęglowych – próbnik do frakcji respirabilnej typu Higgins-Dewell Cyclone FH022. Do oznaczania EC zastosowano metodę analizy termo-optycznej węgla z wykorzystaniem detektora płomieniowo-jonizacyjnego. **Wyniki:** Analiza wyników pomiarów na stanowiskach pracy zlokalizowanych na powierzchni, tj. w warsztatach samochodowych i hucie stali, wykazała, że największe stężenia EC występowały na stanowiskach pracy związanych z obsługą starych wózków widłowych. Oznaczone tam stężenia EC wynosiły, odpowiednio, 353 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ i 78 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. W kopalniach niewęglowych stężenie EC wynosiło natomiast 7,5–50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. **Wnioski:** Ocena narażenia na badanych stanowiskach w hucie stali wykazała największe, 7-krotne, przekroczenie najwyższego dopuszczalnego stężenia (NDS) na stanowisku operatora spalinowego wózka widłowego. Na pozostałych badanych stanowiskach pracy w warsztatach samochodowych oznaczone stężenia wynosiły 0,1–0,5 NDS lub <0,1 NDS. W kopalniach niewęglowych oznaczone stężenia odpowiadały natomiast 0,12–1 krotności NDS. Med. Pr. 2023;74(2):93–102

Słowa kluczowe: narażenie zawodowe, ocena narażenia, węgiel elementarny, spaliny silników wysokoprężnych, analiza termo-optyczna, marker spalin Diesla

ABSTRACT

Background: This paper presents and discusses the results of the determination of elemental carbon emitted in diesel engine exhaust into the air of workplaces where machines and equipment with diesel engines are used. In order to assess occupational exposure to elemental carbon (EC) as a marker of exhaust gases emitted by diesel engines, 51 ground-based workplaces where people who operate or maintain equipment with this type of engine work were measured. Measurements were also carried out at 9 workplaces in non-coal mines. **Material and Methods:** For air sampling at workplaces of diesel exhaust emitting machines and equipment located on the surface, a cartridge sampler without an impactor with a quartz filter was used for elemental carbon determination, while for measurements in non-coal mines the Higgins-Dewell Cyclone FH022 respirable fraction sampler was used. The thermo-optical carbon analysis method using a flame ionisation detector was used to determine elemental carbon. **Results:** Analysis of the results of the determined elemental carbon concentrations at workplaces located on the ground, i.e., in car repair shops, and in the steelworks where combustion forklifts are operated, showed that the highest concentrations of elemental carbon were determined at the old forklift workplaces in the steelworks. The determined EC concentrations at these workstations were 353 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ and 78 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, respectively. In the non-coal mines, elemental carbon concentrations were in the range of 7.5–50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. **Conclusions:** Exposure assessment at the surveyed workplace in the steelworks showed the highest 7-fold exceedance of the maximum admissible concentration (MAC) at the position of the combustion forklift operator. At the other surveyed workplaces in the car repair shop the marked concentrations were in the range of 0.1–0.5 MAC or <0.1 MAC. In non-coal mines, the determined concentrations ranged 0.12–1 times the MAC. Med Pr. 2023;74(2):93–102

Key words: occupational exposure, exposure assessment, elemental carbon, diesel exhaust, thermo-optical analysis, diesel exhaust marker

Autorka do korespondencji / Corresponding author: Małgorzata Szewczyńska, Centralny Instytut Ochrony Pracy – PIB, Zakład Zagrożeń Chemicznych, Pyłowych i Biologicznych, ul. Czerniakowska 16, 00-701 Warszawa, e-mail: mapol@ciop.pl
Nadesłano: 30 listopada 2022, zatwierdzono: 28 lutego 2023

WSTĘP

Spaliny silników Diesla (SSD) wykorzystywanych w pojazdach w znacznym stopniu przyczyniają się do zanieczyszczenia powietrza z uwagi na szerokie zastosowanie tych silników w ciężarówkach, pociągach, autobusach, łodziach oraz samochodach dostawczych i osobowych. Emitowane do powietrza spaliny są mieszaniną gazów i cząstek stałych powstających podczas spalania oleju napędowego. Natężenie emisji i skład spalin zależą m.in. od typu, stanu eksploatacyjnego i konserwacji silnika, składu i właściwości paliwa oraz stosowanych technik oczyszczania spalin. Gdy w komorze spalania silnika Diesla występuje niedobór powietrza, dochodzi do procesu niecałkowitego spalania, w którym powstają m.in. drobne cząstki stałe (*particulate matter* – PM).

Budowa i skład chemiczny PM zależą od warunków pracy, typu i stanu technicznego silnika, w którym powstają, a także od składu paliwa, jego dodatków i oleju smarującego silnik, warunków eksploatacji oraz urządzeń kontroli emisji. Drobne cząstki stałe cechują się zróżnicowanym kształtem i różnymi wymiarami oraz są zazwyczaj zbudowane z małych, pojedynczych cząstek sadzy oraz ich długich łańcuchów i skupisk, które tworzą aglomeraty lub agregaty. Znaczą część masy PM emitowanych w SSD stanowi węgiel elementarny (*elemental carbon* – EC), który ze względu na swoją powierzchnię dobrze adsorbuje szkodliwe substancje chemiczne, w tym substancje rakotwórcze [1,2].

Obawy dotyczące rakotwórczego potencjału SSD potwierdzają badania epidemiologiczne związane m.in. z narażeniem pracowników. Przykładowo w badaniach przeprowadzonych w latach 1998–2001 w 7 kopalniach niewęglowych przez epidemiologów z Amerykańskiego Narodowego Instytutu badań nad Rakiem (US National Cancer Institute) i Narodowego Instytutu Bezpieczeństwa i Zdrowia w Pracy (US National Institute for Occupational Safety and Health) [3] oszacowano poziomy narażenia na respirabilny węgiel elementarny (*respirable elemental carbon* – REC) w zależności od stanowisk pracy i wykazano zwiększone ryzyko zgonu z powodu raka płuca wśród górników kopalni niewęglowych pracujących pod ziemią w narażeniu na SSD. Średnie poziomy narażenia na REC dla stanowisk pracy pod ziemią wynosiły 31–58 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ w zakładzie o najniższym średnim poziomie narażenia i 313–488 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ w zakładzie o najwyższym średnim poziomie narażenia. Średnie poziomy narażenia na REC w przypadku pracowników pracujących na powierzchni we wszystkich 7 obiektach wynosiły natomiast 2–6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

W 2012 r. Międzynarodowa Agencja ds. Badań nad Rakiem (International Agency for Research on Cancer – IARC) na podstawie badań epidemiologicznych zaklasyfikowała SSD jako rakotwórcze dla ludzi (grupa 1). Efektem krytycznym, który stanowił podstawę tej decyzji, był rak płuca. Istnieją również ograniczone dowody na zwiększone ryzyko raka pęcherza moczowego i przewlekłej obturacyjnej choroby płuc wśród pracowników narażonych na SSD [4,5]. Ponadto IARC wskazała, że za marker narażenia na SSD należy uznać EC, który – jak już wspomniano – stanowi znaczą część masy cząstek stałych emitowanych w SSD [6]. Dyrektywa (UE) 2019/130 [6] wprowadziła wartość normatywu dla SSD wynoszącą 0,05 mg/m^3 , mierzonych jako EC. Oczekuje się, że wprowadzenie tej wartości dopuszczalnej przyczyni się do poprawy warunków pracy dla 100 tys. osób pracujących w narażeniu na SSD w ciągu najbliższych 50 lat [7,8].

Jak wynika z danych z 2018 r. [1,9], w państwach Unii Europejskiej narażenie zawodowe na SSD może obejmować >12 mln osób i przypuszcza się, że ich liczba będzie się zwiększać. Jest to prawdopodobne, biorąc pod uwagę m.in. to, że w 2012 r. w Polsce odnotowano rekordowy wzrost liczby samochodów ciężarowych. Liczba nowych pojazdów o masie >16 ton osiągnęła 30 tysięcy [10]. Jeśli chodzi o obowiązujące w Polsce przepisy i normatywy dla górnictwa podziemnego i budowy tuneli, do 20 lutego 2026 r. nadal obowiązuje wartość najwyższego dopuszczalnego stężenia (NDS) dla frakcji respirabilnej SSD na poziomie 0,5 mg/m^3 [11], mierzonej metodą grawimetryczną. Od 20 lutego 2023 r. dla wszystkich innych przedsiębiorstw wchodzi w życie nowe przepisy dotyczące oznaczania SSD jako EC na poziomie 0,05 mg/m^3 (50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) [12]. W związku z obowiązującymi do tej pory przepisami, tj. do 31 stycznia 2023 r., w ocenie narażenia pracowników na SSD mierzono frakcję respirabilną pyłu, a obowiązek oznaczania stężenia EC nie istniał.

Nie ma więc danych dotyczących stężeń EC w powietrzu na stanowiskach pracy w Polsce. Należy jednak zwrócić uwagę na to, że narażenie na ten niebezpieczny czynnik dotyczy licznej grupy pracowników, w tym obsługujących maszyny wykorzystywane w podziemnych wyrobiskach górniczych oraz przy kopaniu tuneli, zatrudnionych jako kierowcy samochodów ciężarowych (TIR-ów) i autobusów, a także osób serwisujących pojazdy z silnikami Diesla.

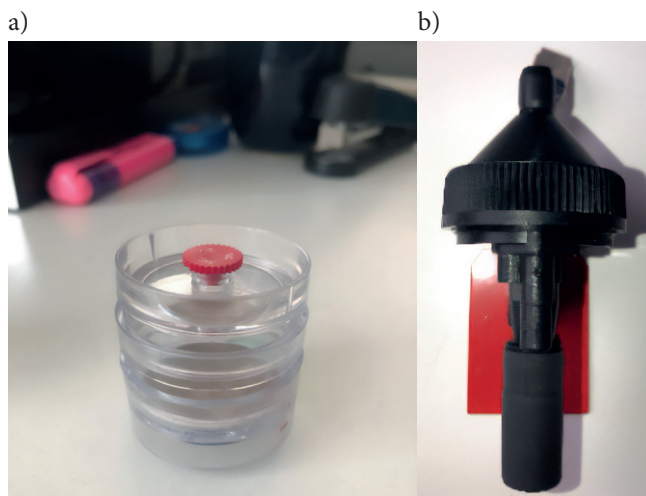
W związku z tym celem niniejszych badań było rozpoznanie poziomu stężeń EC, który jest głównym wskaźnikiem narażenia zawodowego pracowników na SSD, na wybranych stanowiskach pracy.

MATERIAŁ I METODY

Stanowiska pracy objęte badaniami

W celu oceny narażenia zawodowego na EC jako marker SSD wykonano pomiary na 60 stanowiskach pracy. Pomiarami objęto mechaników w 3 serwisach samochodowych, kierowców wózków widłowych i operatorów maszyn z silnikami wysokoprężnymi w hucie stali oraz pracowników i kierowców maszyn podziemnych z silnikami Diesla w kopalniach niewęglowych zlokalizowanych w Polsce. Pomiary przeprowadzono w:

- serwisach samochodowych A i B – stanowiska mechaników znajdowały się w halach o powierzchni ok. 450 m² (A) i ok. 350 m² (B), w których zlokalizowano, odpowiednio, 6 i 5 stanowisk serwisowych. W halach działała wentylacja mechaniczna i szynowe odciążenie spalin. Ponieważ pomiary prowadzono wiosną, wrota hali były częściowo otwarte. W serwisach wykonywano m.in. wymianę opon, wyważanie kół i sprawdzanie ich geometrii, wymianę oleju, serwis zawieszania, hamulców, układu wydechowego i klimatyzacji, a także diagnostykę komputerową. Czas pobierania próbek wynosił 6 godz.;
- serwisie samochodowym C – składał się on z kilku obiektów ze stanowiskami do diagnostyki, tj. hali serwisowej o powierzchni ok. 800 m², na której znajdowało się 10 stanowisk serwisowych, blacharni, lakierni, myjni, serwisu łodzi oraz serwisów szybkich napraw i napraw samochodów ciężarowych. Na wszystkich stanowiskach działała wentylacja mechaniczna, a w hali serwisowej na każdym stanowisku był miejscowy odciąg spalin. W serwisie prowadzono kompleksowe usługi naprawcze związane z bieżącą eksploatacją samochodów, usuwano wszelkiego rodzaju usterki oraz wykonywano naprawy i serwisowania. Pomiary przeprowadzono w 2 etapach – I w listopadzie i II w kwietniu. Czas pobierania próbek wynosił 6 godz.;
- hucie stali – pomiary wykonywano w różnych oddziałach huty, gdzie pracowały spalinowe wózki widłowe różnych firm i w różnym stanie technicznym oraz maszyny i urządzenia z silnikami wysokoprężnymi. W halach huty stosowano wentylację naturalną. Czas pobierania próbek wynosił 6 godz.;
- kopalniach niewęglowych – pomiarami objęto operatorów maszyn górniczych z silnikiem Diesla. Pomiary przeprowadzano we wnętrzu kabin maszyn. Kabin te były klimatyzowane. W wyrobiskach podziemnych działała kopalniana sieć wentylacyjna. Czas pobierania próbek wynosił ok. 3–4 godz.



Rycina 1. Próbniki zastosowane do pobierania węgla elementarnego (*elemental carbon – EC*): a) próbnik kasetowy z filtrem kwarcowym bez impaktora, b) głowica do frakcji respirabilnej typu Higgins-Dewell Cyclone FH022

Figure 1. Samplers used for elemental carbon (EC) collection: a) quartz filter cartridge sampler without impactor, b) Higgins-Dewell Cyclone FH022 respirable fraction

Pobieranie próbek powietrza

Do pobierania próbek powietrza na stanowiskach pracy operatorów lub konserwatorów maszyn i urządzeń emitujących SSD zlokalizowanych na powierzchni w celu oznaczania EC zastosowano próbnik kasetowy z filtrem kwarcowym bez impaktora (SKC, USA) połączony z aspiratorem typ AirCheck (SKC, USA) z ustawionym strumieniem powietrza 2 l/min (rycyna 1a). W przypadku pomiarów w kopalniach niewęglowych zastosowano głowicę do frakcji respirabilnej typu Higgins-Dewell Cyclone FH022 (SKC, USA) i aspirator typu AirCheck (SKC, USA) o ustawionym strumieniu objętości powietrza 2,2 l/min (rycyna 1b). Wybór tego próbnika poprzedzono licznymi badaniami prowadzonymi w tym środowisku i szczegółowo opisanymi w publikacji Szewczyńskiej i wsp. [13]. Objętość próbki powietrza przepuszczonej przez filtr umieszczony w próbnikach wyniosła 400–720 l w zależności od czasu pobierania i ustawionego strumienia objętości zalecanego przez producenta próbników. Próbki powietrza pobierano zgodnie z zasadami dozimetrii indywidualnej.

Metoda oznaczenia węgla elementarnego

Analizę EC przeprowadzano z wykorzystaniem analizatora termo-optycznego z detektorem płomieniowo-jonizacyjnym. Zastosowano analizator węgla organicznego (*organic carbon – OC*) / węgla elementarnego (EC) Model 5L, wersja termiczno-optyczna z wykorzystaniem transmitancji (TO-T), produkcji firmy Sunset (USA) oraz komputer współpracujący z analizatorem

i oprogramowaniem do analizy oraz obróbki danych. Analizator umożliwia selektywne oznaczanie EC, OC i węgla całkowitego (*total carbon* – TC) [14,15].

W badaniach wykorzystano następujące odczynniki: sacharozę (100% cukier trzcinowy) (Sunset Laboratory Inc., USA), roztwór sacharozy o stężeniu 3,68 µg C/µl oraz wodę o wysokiej czystości uzyskaną z aparatu Milli-Q (Millipore, USA) do kalibrowania analizatora.

Do pobierania próbek powietrza w celu oznaczenia EC wykorzystywano filtry kwarcowe ultraczyste PallFlex (PALL Life Sciences, USA) o średnicy 37 mm, wstępnie oczyszczone przez wygrzewanie przez 2–3 godz. w piecu (Nabertherm, Niemcy) w temperaturze ok. 800°C. Ponadto stosowano: wykalibrowany do rozmiaru 1,5 cm² przycinak do filtrów (Sunset Laboratory Inc. USA), strzykawkę pojemności 10 µl (Hamilton, USA), mikropipetę automatyczną o zakresie 0,1–1 µl (Brand, USA), podstawkę z igłą do suszenia filtrów (Sunset Laboratory Inc., USA) i folię aluminiową.

Po pobraniu próbek powietrza z każdego filtra wycinano przycinakiem 4 próbki o powierzchni 1,5 cm². Pojedynczo analizowano każdą próbkę filtra poprzez umieszczenie jej w piecu analizatora.

Podczas walidacji metody oznaczania EC zastosowano warunki analizy termo-optycznej szczegółowo wymienione w publikacjach [14,15]. Parametry walidacyjne i podstawowe parametry pracy analizatora przedstawiono w pracy Szewczyńskiej i wsp. [15].

Wynikiem analizy termo-optycznej jest zawartość EC na filtrze (w µg C/cm²) podana przez program obliczeniowy analizatora wraz z niepewnością.

Dla próbnika z filtrem kwarcowym o średnicy 37 mm o powierzchni zbierającej 8,5 cm² i próbki powietrza o objętości 720 l najmniejsze stężenie EC, jakie można oznaczyć przy tych warunkach pobierania próbek powietrza i wykonania oznaczania opisanych w procedurze, wyniosło 0,42 µg C/cm², tj. 0,0049 mg/m³ (4,9 µg/m³).

Obliczanie wyniku oznaczania węgla elementarnego w powietrzu

Wynikiem oznaczenia EC na filtrze (W_{EC}) o średnicy 37 mm w µg/cm² jest średnia arytmetyczna uzyskana z wyników analizy 4 wyciętych z filtra próbek o powierzchni 1,5 cm².

Końcowe stężenie EC w mg/m³ w SSD emitowanych do powietrza (C_{EC}) wyznaczano, korzystając ze wzoru:

$$C_{EC} = \frac{(W_{EC} - W_o) \times k}{V} \quad (1)$$

gdzie:

W_{EC} – średnie stężenie EC dla całego filtra oznaczone w pojedynczych próbkach filtra [µg/cm²],

W_o – średnie stężenie EC oznaczone w próbkach z zastosowaniem czystego filtra kwarcowego [µg/cm²],

k – pole powierzchni zbierającej aerol (dla filtra 37 mm wynosi 8,5 cm²) [cm²],

V – objętość powietrza przepuszczonego przez filtr kwarcowy [l].

WYNIKI

Wyniki oznaczania średnich stężeń EC na badanych stanowiskach w serwisach samochodowych i w hucie przedstawiono w tabeli 1.

Wyniki przedstawione w tabeli 1 wskazują, że w serwisie samochodowym A najwyższe stężenie EC, które wynosiło 8,2 µg/m³, oznaczono na stanowisku mechanika 3 (M3). Na pozostałych stanowiskach w serwisie A i na wszystkich stanowiskach w serwisie B oznaczone stężenia węgla były poniżej oznaczalności metody.

W serwisie samochodowym C w I etapie badań stężenia na wszystkich stanowiskach wynosiły <5 µg/m³, z wyjątkiem stanowiska blacharza 2 (B2), na którym oznaczone stężenie wyniosło 14,5 µg/m³. W II etapie badań w serwisie C stężenia na badanych stanowiskach były wyższe, co wynikało z większego obciążenia serwisu pracami naprawczymi oraz konieczności częstszego uruchamiania pojazdów. Największe stężenia EC – odpowiednio, 18,2 µg/m³ i 17,6 µg/m³ – oznaczono na stanowiskach blacharza (B1) i mechanika w hali (HM2).

Jak pokazują wyniki dotyczące huty stali zamieszczone w tabeli 1, największe stężenia EC oznaczono na stanowiskach operatorów wózków widłowych w walcowni (WOW1 i WOW2) i wynosiły one, odpowiednio, 353,2 µg/m³ i 77,9 µg/m³. Na pozostałych stanowiskach w hucie stężenia EC przedstawiały się następująco: na stanowiskach operatorów maszyn w stalowni (S1OM1 – S2OM2) wynosiły one 5,3–23,8 µg/m³, w prasowni największe stężenie EC, wynoszące 18,5 µg/m³, stwierdzono na stanowisku operatora wózka widłowego Engel (POM1), a na stanowiskach operatorów maszyn w dziale zakupów magazynowych najwyższe stężenie EC wynosiło 15,5 µg/m³ (ZM2P2). Na pozostałych stanowiskach operatorów maszyn w hucie, tj. ZM1P2, HOW1 i HOW2, oznaczone stężenia EC były poniżej oznaczalności metody.

Na rycinie 2 zestawiono średnie wyniki oznaczania EC w kopalniach niewęglowych na 9 stanowiskach

Tabela 1. Wyniki oznaczania średnich stężeń węgla elementarnego (*elemental carbon* – EC) na stanowiskach mechaników i pracowników konserwujących pojazdy z silnikiem Diesla w 3 serwisach samochodowych oraz pracowników obsługujących sprzęt z silnikami Diesla w hucie stali w Polsce w latach 2021–2022

Table 1. Results of the determination of the average elemental carbon (EC) concentrations at the sites diesel mechanics and maintenance workers in 3 car service stations and workers operating diesel equipment in a steel mill in Poland, 2021–2022

Miejsce pracy Workplace	Oznaczenie Marking	Stężenie EC EC concentration [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]
Serwis samochodowy / Car service station		
A		
mechanik 1 / mechanic 1	M1	1,1
mechanik 2 / mechanic 2	M2	4,4
mechanik 3 / mechanic 3	M3	8,2
mechanik 4 / mechanic 4	M4	3,3
mechanik 5 / mechanic 5	M5	3,2
mechanik 6 / mechanic 6	M6	2,3
B		
mechanik 1 / mechanic 1	M1	2,6
mechanik 2 / mechanic 2	M2	2,6
mechanik 3 / mechanic 3	M3	3,7
mechanik 4 / mechanic 4	M4	1,0
mechanik 5 / mechanic 5	M5	1,2
C		
stacja kontroli pojazdów / vehicle inspection station		
mechanik 1 / mechanic 1	SM1	
I etap pomiarów / measurement stage I		0,4
II etap pomiarów / measurement stage II		11,4
mechanik 2 / mechanic 2	SM2	
I etap pomiarów / measurement stage I		0,7
II etap pomiarów / measurement stage II		4,3
pracownik myjni / washer-upholsterer	PM	
I etap pomiarów / measurement stage I		0,6
II etap pomiarów / measurement stage II		1,2
pracownik wulkanizacji / vulcanization technician	PW	
I etap pomiarów / measurement stage I		0,6
II etap pomiarów / measurement stage II		2,0
hala główna / head shop		
mechanik 1 / mechanic 1	HM1	
I etap pomiarów / measurement stage I		0,9
II etap pomiarów / measurement stage II		13,3
mechanik 2 / mechanic 2	HM2	
I etap pomiarów / measurement stage I		0,6
II etap pomiarów / measurement stage II		17,6

Tabela 1. Wyniki oznaczania średnich stężeń węgla elementarnego (*elemental carbon* – EC) na stanowiskach mechaników i pracowników konserwujących pojazdy z silnikiem Diesla w 3 serwisach samochodowych oraz pracowników obsługujących sprzęt z silnikami Diesla w hucie stali w Polsce w latach 2021–2022 – cd.

Table 1. Results of the determination of the average elemental carbon (EC) concentrations at the sites diesel mechanics and maintenance workers in 3 car service stations and workers operating diesel equipment in a steel mill in Poland, 2021–2022 – cont.

Miejsce pracy Workplace	Oznaczenie Marking	Stężenie EC EC concentration [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]
Serwis samochodowy – cd. / Car service station – cont.		
C – cd. / cont.		
hala główna – cd. / head shop – cont.		
blacharz 1 / sheet metal worker 1	B1	
I etap pomiarów / measurement stage I		2,9
II etap pomiarów / measurement stage II		18,2
blacharz 2 / sheet metal worker 2	B2	
I etap pomiarów / measurement stage I		14,5
II etap pomiarów / measurement stage II		11,0
lakiernik 1 / painter 1	L1	
I etap pomiarów / measurement stage I		3,0
II etap pomiarów / measurement stage II		5,0
lakiernik 2 / painter 2	L2	
I etap pomiarów / measurement stage I		0,5
II etap pomiarów / measurement stage II		5,0
naprawa łodzi – mechanik 1 / boat repairman – mechanic 1	NLM1	
I etap pomiarów / measurement stage I		0,5
II etap pomiarów / measurement stage II		1,2
mechanik samochodów ciężarowych / truck mechanic	MSC	
I etap pomiarów / measurement stage I		0,3
II etap pomiarów / measurement stage II		0,8
mechanik szybkich napraw / quick service mechanic	MSN	
I etap pomiarów / measurement stage I		1,3
II etap pomiarów / measurement stage II		2,1
Huta stali / Steelworks		
walcownia / rolling mill		
operator wózka 1 / trolley operator 1	WOW1	353,2
operator wózka 2 / trolley operator 2	WOW2	77,9
stalownia / steel mill		
1		
operator maszyn 1 / machine operator 1	S1OM1	23,7
operator maszyn 2 / machine operator 2	S1OM2	23,8
2		
operator maszyn 1 / machine operator 1	S2OM1	7,9
operator maszyn 2 / machine operator 2	S2OM2	5,3

Tabela 1. Wyniki oznaczania średnich stężeń węgla elementarnego (*elemental carbon* – EC) na stanowiskach mechaników i pracowników konserwujących pojazdy z silnikiem Diesla w 3 serwisach samochodowych oraz pracowników obsługujących sprzęt z silnikami Diesla w hucie stali w Polsce w latach 2021–2022 – cd.

Table 1. Results of the determination of the average elemental carbon (EC) concentrations at the sites diesel mechanics and maintenance workers in 3 car service stations and workers operating diesel equipment in a steel mill in Poland, 2021–2022 – cont.

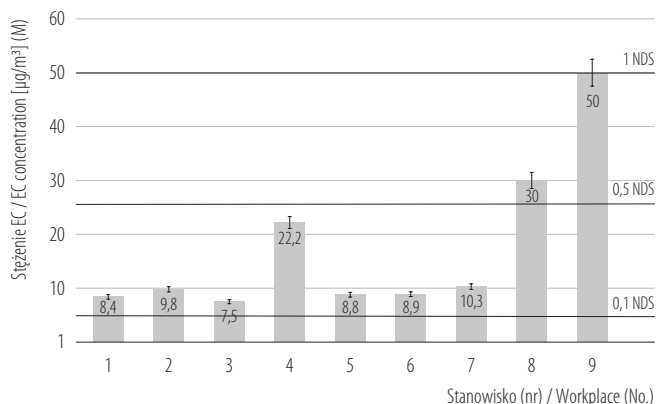
Miejsce pracy Workplace	Oznaczenie Marking	Stężenie EC EC concentration [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]
Huta stali – cd. / Steelworks – cont.		
prasownia / press shop		
opreator maszyny Engel 1 / Engel machine operator 1	POM1	18,5
opreator maszyn 2 / machine operator 2	POM2	11,5
dział zakupów magazynowych / materials sourcing department		
1		
pracownik 1 / employee 1	ZM1P1	15,1
pracownik 2 / employee 2	ZM1P2	2,0
2		
pracownik 1 / employee 1	ZM2P1	13,0
pracownik 2 / employee 2	ZM2P2	15,5
hala 2 / hall 2		
operator wózka 1 / fork-lift truck operator 1	HOW1	2,2
operator wózka 2 / fork-lift truck operator 2	HOW2	0,3

pracowników obsługujący maszyny górnicze z silnikiem Diesla. Średnie stężenia EC na badanych stanowiskach wynosiły 7,5–50,0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Najwyższe stężenia – odpowiednio, 30,0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ i 50,0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ – oznaczono na stanowiskach operatorów maszyn górniczych nr 8 i 9. Najniższe stężenia – odpowiednio, 7,5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ i 8,4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ – oznaczono na stanowiskach operatorów maszyn górniczych 1 i 3.

W tabeli 2 zestawiono zakresy stężeń EC oznaczane na badanych stanowiskach w serwisach samochodowych, hucie stali i kopalniach niewęglowych oraz odpowiadające im krotności NDS. W hucie na stanowisku pracy operatora wózka widłowego z silnikiem wysokoprężnym wykazano 7-krotne przekroczenie wartości NDS dla SSD mierzonych jako EC. W przypadku pracowników obsługujących maszyny w kopalniach niewęglowych najwyższe stężenie oznaczono na poziomie 1 NDS.

OMÓWIENIE

Z wyjątkiem 2 stanowisk operatorów wózków widłowych z silnikiem Diesla, gdzie zarejestrowano znaczne przekroczenia wartości dopuszczalnej, wyniki pomiarów wskazują, że na pozostałych badanych stanowiskach



NDS – najwyższe dopuszczalne stężenie / maximum admissible concentration.

Rycina 2. Średnie stężenie węgla elementarnego (*elemental carbon* – EC) oznaczone na stanowiskach pracowników obsługujących maszyny i urządzenia z silnikiem Diesla w kopalniach niewęglowych w Polsce w latach 2021–2022
Figure 2. Average elemental carbon (EC) concentrations determined at the surveyed positions of workers operating diesel machinery and equipment in non-coal mines in Poland, 2021–2022

nie zarejestrowano przekroczeń wprowadzanej wartości NDS. Na stanowiskach pracy mechaników w serwisach A i B, z wyjątkiem 1 stanowiska mechanika (M3), oznaczone stężenia EC wyniosły $<0,1$ NDS. Podobnie kształtowały się krotności NDS dla oznaczonych stężeń

Tabela 2. Stężenie węgla elementarnego (*elemental carbon* – EC) oznaczane na badanych stanowiskach w serwisach samochodowych, hucie stali i kopalniach niewęglowych oraz odpowiadające im krotności najwyższego dopuszczalnego stężenia (NDS) w Polsce w latach 2021–2022
Table 2. Elemental carbon (EC) concentration determined at test sites in car service stations, steelworks and non-coal mines, and the corresponding maximum admissible concentration (MAC) in Poland, 2021–2022

Miejsce pracy Workplace	Stężenie EC (min.–maks.) EC concentration (min.–max) [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	Krotność NDS* dla C_{EC} min.–maks. Multiple MAC* for C_{EC} min.–max
Serwis samochodowy / Car service station		
A	1,1–8,2	0,02–0,16
B	1,0–3,7	0,02–0,07
C	0,2–18,2	0,004–0,36
Huta stali / Steelworks	0,3–353,2	0,006–7,06
Kopalnia niewęglowa / Non-coal mine	7,5–50,0	0,1–1

* 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

EC w serwisie samochodowym C w I etapie pomiarów. W II etapie pomiarów oznaczone tam stężenia na 4 stanowiskach były nieco wyższe w porównaniu z I etapem i mieściły się w zakresie 0,1–0,5 krotności NDS. W hucie stali najwyższe stężenia EC oznaczono na stanowisku operatorów wózków widłowych – stanowiły one tam 1,6 i 7 krotności NDS. Na pozostałych badanych stanowiskach w hucie oznaczone stężenia w większości nie przekraczały 0,5 wartości NDS.

Podobne wyniki do uzyskanych w niniejszej pracy odnotowali Haiducu i wsp. [8], którzy dla wszystkich wybranych 10 jednorodnych grup badanych pracowników w hali magazynowo-sortowniczej firmy kurierskiej wykazali narażenia w zakresie od <1 do 14 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, co stanowi maksymalnie 0,3 krotności NDS.

W innym badaniu Lee i wsp. [16] oceniali narażenie m.in. na EC wśród 72 pracowników zbierających odpady z gospodarstw domowych. Średni poziom narażenia na EC u badanych wynosił 7,2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ przy zakresie 2–30,4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Uzyskano więc zbliżone wyniki do tych, które przedstawiono w niniejszym artykule odnośnie do narażenia mechaników w serwisach samochodowych.

W przypadku kopalni niewęglowych oznaczone w niniejszym badaniu stężenia w kabinach operatorów maszyn z silnikiem wysokoprężnym na 7 stanowiskach wynosiły 0,1–0,5 NDS, a na 2 stanowiskach – 0,5–1 NDS. W pracy Park i wsp. [17] przedstawiono zbliżone wyniki, a pomiary EC prowadzono podczas podziemnych prac wykopaliskowych. Próbkę powietrza do oznaczania EC pobierano podczas podziemnych wykopów w 4 różnych miejscach budowy, wewnątrz i na zewnątrz pracującej koparki. Stężenie EC

wewnątrz koparki wynosiło 8,69 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, a na zewnątrz – 33,2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Zbliżone wyniki stężeń EC do tych, które uzyskano w niniejszych badaniach w kopalniach niewęglowych, przedstawili również inni autorzy. Lewne i wsp. [18] podczas badania miejsc pracy wykorzystujących pojazdy z silnikami Diesla do budowy tuneli w Sztokholmie wykazali średnie stężenia EC na poziomie 87 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Galea i wsp. [19] oznaczyli stężenia EC w wykopach podziemnych na poziomie 18 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, a przy drążeniu tuneli przez maszyny stężenie to wynosiło 37 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Hedmer i wsp. [20] oceniali narażenie pracowników na EC podczas budowy tuneli kolejowych. Oznaczone stężenia EC dla pracowników zaangażowanych w obsługę maszyn do drążenia tuneli były w zakresie 2,6–11 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

WNIOSKI

Przedstawiono wyniki badań stężenia EC na 51 naziemnych stanowiskach głównie w serwisach samochodowych i wśród operatorów wózków widłowych oraz na 9 podziemnych stanowiskach operatorów maszyn górniczych.

Należy zwrócić uwagę, że wartości stężeń, jakie uzyskano na podziemnych stanowiskach pracy w kopalniach niewęglowych, były nieco wyższe niż obserwowane na stanowiskach w serwisach samochodowych i hucie stali. Wynikało to prawdopodobnie z tego, że pracownicy kopalni przebywali w przestrzeniach zamkniętych i gorzej wentylowanych niż stanowiska naziemne pomimo działania klimatyzacji w kabinach maszyn. Dlatego ważne jest, aby

odpowiednio monitorować narażenie pracowników na SSD i śledzić w czasie wpływ tego narażenia na zdrowie narażonych pracowników. Należy też pamiętać, że na SSD zawodowo narażonych jest znacznie więcej pracowników, głównie w górnictwie, budownictwie, transporcie, rolnictwie oraz innych działaniach wykorzystujących pojazdy i urządzenia z silnikami wysokoprężnymi.

Żeby ograniczyć wpływ SSD na zdrowie pracowników, należy zainstalować urządzenia filtrujące na wylotach spalin silników wysokoprężnych, poddawać urządzenia/silniki regularnym przeglądom i konserwacji oraz wymienić stare pojazdy, w tym wózki widłowe.

PIŚMIENNICTWO

1. Szymańska J. Spaliny emitowane z silników Diesla, mierzone, jako węgiel elementarny Dokumentacja proponowanych dopuszczalnych wielkości narażenia zawodowego. *Podst Met Oceny Środow Pr.* 2019;4(102):43–103. <https://doi.org/10.5604/01.3001.0013.6378>.
2. Silverman DT. Diesel exhaust causes lung cancer: now what? *Occup Environ Med.* 2017;74(4):233–234. <https://doi.org/10.1136/oemed-2016-104197>.
3. Coble JB, Stewart PA, Vermeulen R, Yereb D, Stanevich R, Blair A, Silverman DT, Attfield M. The Diesel Exhaust in Miners Study: II. Exposure monitoring surveys and development of exposure groups. *Ann Occup Hyg.* 2010;54:747–761. <https://doi.org/10.1093/annhyg/meq024>.
4. IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risk of chemicals to Humans. Chemical Agents and Related Occupations. Vol. 100F. Lyon: IARC; 2012.
5. IARC Monographs on evaluation of carcinogenic risks to humans. Diesel and gasoline engine exhausts and some nitroarenes. Vol. 105. Lyon: IARC; 2014.
6. 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.U. L 30/112 z 31.01.2019*.
7. European Commission, Proposal for a Directive of the European Parliament and of the Council amending Directive 2004/37/EC on the protection of workers from the risks related to exposure to carcinogens or mutagens at work/Impact Assessment, 2016.
8. Haiducu M, Ștepa RA, Chiurtu ER, Scarlat IP. Research on the exposure of workers in a courier company to the exhaust emissions of diesel engines IOP Conf. Ser. Mater Sc En. 2022;1251:012003. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/1251/1/012003>.
9. Summary Report. Technical seminar concerning a 2nd proposal amending the Carcinogens and Mutagens Directive 2004/37/EC. 14 September 2018.
10. 40ton.net motoryzacja dla profesjonalistów [Internet]. [cited 2022 Nov 23]. Available from: <https://40ton.net/polski-rynek-ciezarowek-juz-trzecim-najwiekszym-w-europie-podium-po-2021-roku>.
11. 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. *DzU z 2018 r., poz. 1286, zm.: DzU z 2020 r., poz. 61, DzU z 2021 r., poz. 325*.
12. 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. *DzU z 2021 r., poz. 325*.
13. Szewczyńska M, Kowalska J, Przybyła M, Szczurek A. Badania porównawcze różnych próbników do oznaczania poziomu węgla elementarnego jako głównego wskaźnika narażenia zawodowego pracowników na spaliny emitowane z silników Diesla. *Przem Chem.* 2022;101(8):591–597. <https://doi.org/10.15199/62.2022.8.9>.
14. National Institute for Occupational Safety and Health: NIOSH Method 5040. Elemental Carbon (Diesel Particulate). U.S. Department of Health and Human Services, Public Health Service. Centers for Disease Control, National Institute for Occupational Safety and Health. NIOSH Manual of Analytical Methods NIOSH Manual of Analytical Methods (NMAM), Fourth Edition, Issue 3:15 March 2003 [cited 2022 Oct 6]. Available from: <https://www.cdc.gov/niosh/docs/2003-154/pdfs/5040.pdf>.
15. Szewczyńska M, Kowalska J, Pośniak M. Spaliny emitowane z silników Diesla, mierzone jako węgiel elementarny. *Podst Met Oceny Środow Pr.* 2020;4(106):143–162. doi: 10.5604/01.3001.0014.5869.
16. Lee KH, Jung J, Shin, JA, Kwa HS, Yi GY, Ryu SH, Lee KM, Ha KC, Park DU. Characteristics of Respirable Elemental Carbon (EC) Exposures of Household Waste Collectors. *Aerosol Air Qual. Res.* 2016;16:1000–1009. <https://doi.org/10.4209/aaqr.2015.06.0414>.
17. Park H, Hwang E, Jang M, Yoon C. Exposure assessment of elemental carbon, polycyclic aromatic hydrocarbons and crystalline silica at the underground excavation sites for top-down construction buildings. 2020; *PLoS ONE*:15(9):e0239010. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0239010>.
18. Lewne M, Plato N, Gustavsson P. Exposure to particles, elemental carbon and nitrogen dioxide in workers exposed to motorexhaust. *Ann Occup Hyg.* 2007;51(8):693–701.

-
19. Galea K, Mair C, Alexander C, Vocht F, Tongeren M. Occupational Exposure to Respirable Dust, Respirable Crystalline Silica and Diesel Engine Exhaust Emissions in the London Tunnelling Environment. *Ann Occup Hyg.* 2016;60(2):263–69.
20. Hedmer M, Wierzbicka A, Li H, Albin M, Tinnerberg H, Broberg K. Diesel exhaust exposure assessment among tunnel construction workers – correlations between nitrogen dioxide, respirable elemental carbon and particle number. *Ann Work Expo Health.* 2017;61(5):539–553.