



Spaliny silników diesla – prognoza narażenia zawodowego w środowisku pracy w podziemnych zakładach górniczych po roku 2025

Diesel engine exhaust - forecast of occupational exposure in the work environment in underground mines after 2025

Grzegorz Sporysz*)

Treść: Pojawiające się w debacie publicznej sugestie o „technologicznej śmierci” napędów spalinowych pojazdów górniczych z silnikami Diesla w podziemnych zakładach górniczych na korzyść napędów alternatywnych nie są do końca prawdziwe. Wskazuje się przy tym, że ustanowiona nowa wartość Najwyższego Dopuszczalnego Stężenia (NDS – wartość średnia ważona stężenia, którego oddziaływanie na pracownika w ciągu 8-godzinnego dobowego i przeciętnego tygodniowego wymiaru czasu pracy, określonego w Kodeksie pracy, przez okres jego aktywności zawodowej nie powinno spowodować ujemnych zmian w jego stanie zdrowia oraz w stanie zdrowia jego przyszłych pokoleń (Rozporządzenie MPiPS 2018) dla spalin emitowanych z silników Diesla, która będzie obowiązywać od dnia 21.02.2026 r. dla sektora górnictwa podziemnego i budowy tuneli na poziomie $0,05 \text{ mg/m}^3$ (mierzona jako węgiel elementarny) może ograniczyć stosowanie silników Diesla w pojazdach górniczych. Nowy normatyw higieniczny został opracowany by lepiej chronić pracowników narażonych na spaliny Diesla w środowisku pracy, a nie by zaprzestać całkowicie stosowania silników spalinowych Diesla. Artykuł przedstawia prognozę narażenia zawodowego na spaliny Diesla w środowisku pracy w podziemnych zakładach górniczych po roku 2025, w świetle zmiany wartości normatywu higienicznego w tym zakresie.

Abstract: The suggestions appearing in the public dispute about the „technological death” of internal combustion engines in mining vehicles with diesel engines in underground mining plants in favor of the alternative drives are not completely true. It is also indicated that the new value of the Occupational Exposure Limit has been established for exhaust gases emitted from diesel engines, which will apply from 02.22.2026. for the underground mining and tunneling sectors, a level of 0.05 mg / m^3 (measured as elemental carbon) may limit the using of diesel engines in mining vehicles. The new hygiene standard has been developed in order to better protect workers exposed to diesel exhaust gases in the work environment, and not to stop using diesel engines altogether. The article presents a forecast of occupational exposure to diesel exhaust in the work environment in underground mining plants after 2025 in the light of the change in the value of the hygiene standard in this regard.

Słowa kluczowe:

spaliny silników Diesla, najwyższe dopuszczalne stężenie

Keywords:

exhaust gases emitted from diesel, occupational exposure limit

1. Wprowadzenie

W polskim górnictwie podziemnym w procesie technologicznym wydobywania kopalin powszechnie wykorzystuje się maszyny z silnikami spalinowymi Diesla. W górnictwie rudnym większość maszyn zbudowana jest na podwoziu samojezdnym. Natomiast w górnictwie węgla kamiennego najczęściej stosowane są maszyny szynowe. W górnictwie rudnym miedzi i solnym do załadunku i odstawy urobku w transporcie oddziaływowym wykorzystywane są ładowarki. W transporcie technologicznym stosowane są również wozy odstawcze. Przy procesie urabiania wykorzystywane są wozy wiertnicze oraz wozy wierząco-

-kotwiące. Do prac pomocniczych wykorzystywane są wozy samojezdne (wozy strzelnicze, transport ludzi itp.) z silnikami spalinowymi. W kopalniach węgla kamiennego na większą skalę stosowane są w transporcie technologicznym lokomotywy spalinowe oraz podwieszane kolejki spalinowe (Sporysz 2016, Szlązak, Borowski 2002). Szacuje się, że pojazdów górniczych z napędem spalinowym z silnikami Diesla, ogółem w podziemnych zakładach górniczych w Polsce, jest ok. 1800, z tego w górnictwie rudnym miedzi ok. 1200 (pismo nr ZZPM /153/XII/2020). W ostatnim czasie toczy się ożywiona debata publiczna producentów maszyn, konsumentów, stowarzyszeń ekologicznych nad „technologiczną śmiercią” oraz końcem ery produkcji i użytkowania silników Diesla, zarówno dotyczących pojazdów drogowych, jak i tzw. niedrogowych, do których zaliczamy podziemne górnicze pojazdy wyposażo-

*) Centrum Badań i Dozoru Sp. z o.o. w Łęczynach

ne w silniki Diesla. Przyczyną są emitowane przez silniki Diesla spaliny zawierające szkodliwe substancje chemiczne i cząstki stałe. Spaliny silników Diesla to wieloskładnikowe mieszaniny kilkuset związków chemicznych powstające w wyniku niecałkowitego spalania paliwa (oleju napędowego) i oleju silnikowego, a także zawartych w nich modyfikatorach i dodatkach. Są to mieszaniny chemiczne o różnych stanach skupienia: ciekłym, gazowym i stałym (Szlązak, Borowski 2002, Szewczyńska, Pośniak, Kowalska 2020). Najczęściej przy określaniu narażenia zawodowego w środowisku pracy na działanie spalin wykorzystuje się pomiary: stężenia tlenu węgla i tlenków azotu oraz poziomu cząstek stałych lub węgla elementarnego (EC). Oponenty stosowania napędów silnikowych - silników Diesla w podziemnych pojazdach górniczych, wskazują na szkodliwe dla zdrowia oddziaływanie substancji chemicznych zawartych w spalinach w środowisku pracy wraz temperaturą spalin emitowanych do atmosfery. Wskazuje się, że od dnia 21.02.2026 r. dla sektora górnictwa podziemnego i budowy tuneli obowiązywać będzie nowa wartość NDS dla spalin emitowanych z silników Diesla na poziomie 0,05 mg/m³ (mierzona jako węgiel elementarny), która może ograniczyć stosowanie silników Diesla w pojazdach górniczych (Rozporządzenie MRPiT 2021). Należy wspomnieć, że wartości NDS wprowadzane przez właściwego ministra dotyczą środowiska pracy, w strefie oddychania pracowników na swoich stanowiskach pracy, a nie wartości stężenia na końcu przewodu wylotowego napędu spalinowego. Wskazuje się również na inne, alternatywne, proekologiczne rozwiązania napędów takich jak np. napędy akumulatorowe, które są praktycznie bezemisyjne w zakresie oznaczania węgla elementarnego i dodatkowo pracujące z obniżonym poziomem hałasu i emisji ciepła. Z kolei producenci i dostawcy pojazdów górniczych z napędami spalinowymi z silnikami Diesla wskazują na ich pozytywne cechy dotyczące elastyczności w transporcie kopalnianym. Maszyny z silnikami spalinowymi charakteryzują się dobrymi własnościami technologicznymi, przyczyniając się do podniesienia wydajności pracy na długich trasach transportowych, szczególnie nachylonych, gdzie moc napędu ma istotne znaczenie podczas transportu materiałów. Wskazuje się, że obecnie i w najbliższych latach nie będą dostępne maszyny, które mogłyby skutecznie zastąpić dziś używane napędzane silnikami Diesla i być w stosunku do nich konkurencyjne (Pismo nr ZZPM /153/XII/2020). Nie bez znaczenia jest również operowanie pojazdami z napędem spalinowym podczas prowadzenia szczególnych, specjalistycznych zadań np. akcji ratowniczych w wyrobiskach górniczych, w których występujące w podziemnych zakładach zagrożenia naturalne (metanowe, tapaniowe) przyczyniają się do utraty funkcjonalności wyrobisk, z pogorszeniem bezpieczeństwa ich użytkowania. Nowy normatyw higieniczny dla spalin emitowanych z silników Diesla (mierzony jako węgiel elementarny), nie przekreśla użytkowania silników Diesla. Jedynie podnosi próg bezpieczeństwa w zakresie poziomu narażenia pracowników na spaliny w środowisku pracy.

2. Wymagania dla silników spalinowych przeznaczonych dla podziemnych pojazdów górniczych

Wytyczne dla silników spalinowych stosowanych w podziemnych pojazdach górniczych określone są w dwóch obszarach: obszar producenta i obszar zakładu górniczego. Wymagania stawiane producentom silników o zapłonie samoczynnym, dla układów wydechowych w zakresie dopuszczalnych stężeń substancji toksycznych napędów spalinowych dla pojazdów „niedrogowych” w przypadku homologacji typu określone zostały w rozporządzeniu Parlamentu

Europejskiego i Rady (UE) 2016/1628 z 14.09.2016 r. Dla użytkowników zakładów górniczych określono wytyczne odnośnie dopuszczenia do stosowania napędów spalinowych dla podziemnych pojazdów górniczych zawarte w normach (PN-G-36000 i PN-EN 1679-1) oraz w przepisach dotyczących prowadzenia ruchu podziemnych zakładów górniczych (Rozporządzenie ME 2016). W przypadku polskiej normy górniczej (PN-G-36000) silnik powinien być tak skonstruowany, aby zawartość substancji toksycznych w spalinach (opuszczające rurę wydechową - przypomnienie autora) w żadnym ustalonym stanie pracy silnika nie przekraczała następujących wartości dopuszczalnych, zawartych w tabeli 1.

Tabela 1. Wartości dopuszczalne stężeń substancji toksycznych w spalinach

Table 1. Limit values for the concentration of toxic substances in the exhaust gas

Zawartość metanu w powietrzu zasysanym (%)	0,0 lub w kopalniach niewęglowych, niezagrażonych wybuchem metanu	1,0	1,5
Tlenek węgla (ppm)	500	1200	1800
Tlenki azotu (ppm)	750	1000	1000
Węglowodory (ppm)	200	200	200
Sadza- stan zacinienia wg skali Boscha	3	3	3

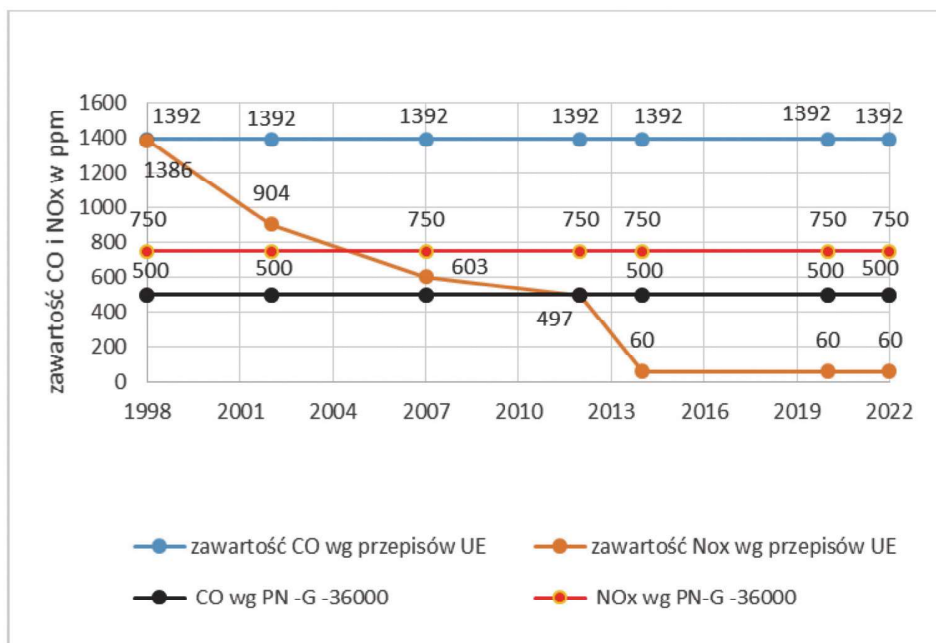
Obowiązujące przepisy górnicze (Rozporządzenie ME 2016) określają zawartość tlenu węgla w spalinach wyrzucanych przez układ wydechowy silnika (tabela 2).

Tabela 2. Wartości dopuszczalne stężeń tlenu węgla w spalinach

Table 2. Limit values for concentration of carbon monoxide in the exhaust gas

Zawartość metanu w powietrzu zasysanym (%)	0,0 lub w kopalniach niewęglowych, niezagrażonych wybuchem metanu	1,0	1,5
Tlenek węgla (ppm)	500	1200	1800

Liczbę pojazdów i maszyn z napędem spalinowym pracujących równocześnie w wyrobisku ustala się w sposób zapewniający nieprzekroczenie dopuszczalnych wartości stężenia szkodliwych gazów w powietrzu, o których mowa w ww. rozporządzeniu. Wartości stężeń podane w przepisach górniczych (tabela 2) są identyczne z normą (PN-G-36000). W zakresie zawartości tlenu węgla przepisy górnicze są ostrzejsze w zakresie wymagań w stosunku do wymagań zawartych w rozporządzeniu Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2016/1628 i normy PN-EN 1679-1. Na rysunku 1 przedstawiono podsumowanie dopuszczalnych wartości emisji tlenu węgla i tlenków azotu według wytycznych dla producenta w oparciu o normę (PN-G-36000), dyrektyw i rozporządzenia tzw. „spalinowe” UE (etap I do V homologacji typu) na przestrzeni lat od 1998 do 2022 (Dyrektywa 97/68/WE, Dyrektywa Komisji 2012/46/UE, Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2016/1628). Przedstawione na rysunku 1 wymagania dotyczą układów wydechowych napędów spalinowych, czyli tego co wychodzi z „rury” spalinowej i są wytycznymi dla producentów i dostawców silników Diesla. W celu wzajemnego porównania dopuszczalnych poziomów zawartości substancji toksycznych jednostki emisji zostały wyrażone w ppm, według przeliczników stosowanych



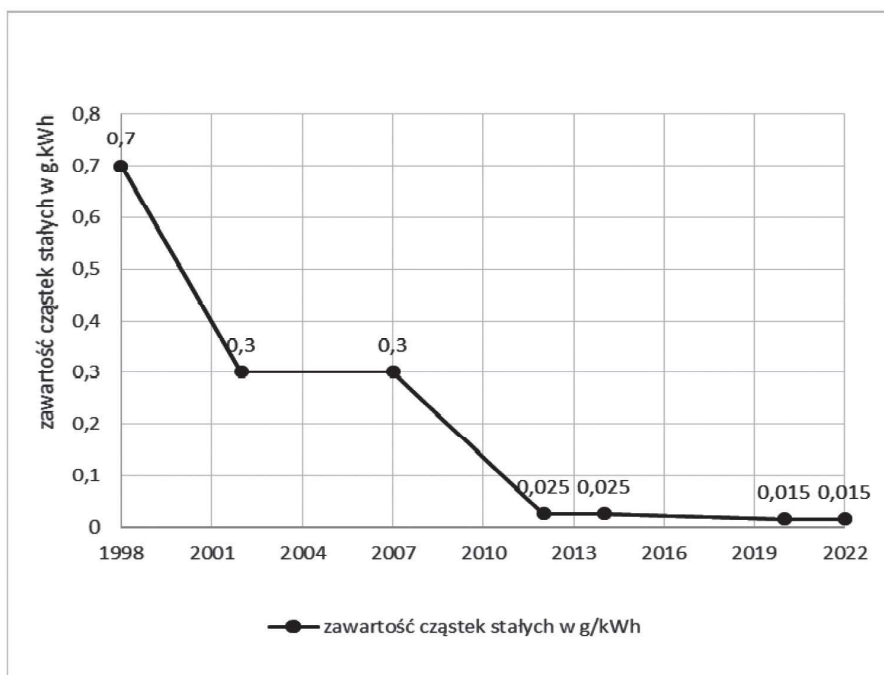
Rys. 1. Dopuszczalne wartości emisji CO i NOx wg. przepisów UE i normy (PN-G-36000) dla silnika Diesla o mocy od 75 do 130 kW.

Fig. 1. Permissible values of CO and NOx emissions acc. to EU regulations and standard (PN-G-36000) for diesel engine with power from 75 to 130 kW.

w podręczniku VDMA Exhaust Emission Legislation Diesel and Gas Engines. Na rysunku 1 można zaobserwować szczególnie dwie tendencje. Wymagania dla zawartości tlenku węgla w spalinach silników Diesla układów wydechowych stosowanych w podziemnych pojazdach górniczych są na niższym poziomie, według wymagań normy (PN-G-36000) i przepisów górniczych, niż wymagania stawiane w przepisach unijnych dotyczących homologacji typu dla maszyn „nie drogowych”. Natomiast wymagania dla zawartości tlenków azotu w przepisach unijnych na przestrzeni lat 1998 - 2022 wyraźnie spadają i są ostrzejsze niż wymagania stawiane dla

nich w normie (PN-G-36000).

Na rysunku 2 przedstawiono dopuszczalną zawartość cząstek stałych w emisji silników Diesla według wytycznych dla producenta w oparciu o przepisy unijne dotyczące homologacji typu na przestrzeni lat 1998 do 2022 dla maszyn „nie drogowych” (Dyrektywa 97/68/WE, Dyrektywa Komisji 2012/46/UE, Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2016/1628). Przedstawione na rysunku wymagania dla zawartości cząstek stałych w spalinach silników Diesla na przestrzeni lat 1998 do 2022 wykazują tendencję spadkową do obecnego poziomu 0,015 g/kWh.



Rys. 2. Dopuszczalna zawartość emisji cząstek stałych wg przepisów UE dla silnika Diesla o mocy od 75 do 130 kW

Fig. 2. Permissible particle emission content acc. to EU regulations for diesel engine from 75 to 130 kW power.

3. Narazenie zawodowe na spaliny Diesla – wymagania

Narazenie zawodowe na substancje chemiczne i cząstki stałe wchodzące w skład spalin emitowanych przez silniki wysokoprężne Diesla dotyczy osób obsługujących lub konserwujących sprzęt wyposażony w tego typu silniki. W Polsce również występuje liczna grupa osób obciążonych podwyższonym ryzykiem zdrowotnym, związanym z narażeniem na bezpośredni kontakt z substancjami niebezpiecznymi pochodzącymi ze spalin emitowanych z silników Diesla. Są to między innymi: górnicy, kierowcy samochodów, pracownicy zajezdni autobusowych i zakładów zajmujących się naprawą i serwisem samochodów, pracownicy kolei, operatorzy dźwigów, wózków widłowych i podnośników, pracownicy obsługi logistycznej oraz strażacy. Prace związane z narażeniem na spaliny emitowane z silników Diesla uważane są za procesy technologiczne o działaniu rakotwórczym ([Rozporządzenie MZ 2021](#)). Ponieważ spaliny emitowane z silników Diesla stanowią bardzo złożone mieszaniny, żaden pojedynczy składnik nie stanowi uniwersalnego wskaźnika narażenia. Najczęściej wykorzystuje się pomiar poziomu cząstek stałych lub węgla elementarnego, ponieważ oba parametry są znacznie większe w emisji spalania oleju napędowego niż w innych produktach spalania ([Szewczyńska, Pośniak, Kowalska 2020](#)). Zgodnie z obecnym wykazem wartości Najwyższych Dopuszczalnych Stężeń (NDS) chemicznych i pyłowych czynników szkodliwych dla zdrowia spalin silników Diesla – frakcja respirabilna (*- frakcja aerozolu wnikająca do dróg oddechowych, która stwarza zagrożenie dla zdrowia po zdeponowaniu w obszarze wymiany gazowej, określona zgodnie z normą PN-EN 481 (Rozporządzenie MRPiPS 2018)*) ma wartość NDS na poziomie $0,5 \text{ mg/m}^3$ i obowiązuje w przypadku sektora górnictwa podziemnego i budowy tuneli do dnia 20.02.2026 r. Od dnia 21.02.2023 r. obowiązywać będzie nowa wartość NDS dla spalin emitowanych z silników Diesla na poziomie $0,05 \text{ mg/m}^3$ (mierzona jako węgiel elementarny), za wyjątkiem sektora górnictwa podziemnego i budowy tuneli z datą wejścia wartości NDS 3 lata później ([Rozporządzenie MRPiT 2021](#)). Należy wyraźnie zaznaczyć, że obowiązujący normatyw NDS dla spalin silników Diesla – frakcja respirabilna został ustanowiona na bazie metody badawczej oznaczania frakcji aerozolu, całkowicie nieadekwatnej do nowej metody oznaczania węgla elementarnego (EC) w spalinach. Stąd podejmowane w debacie publicznej próby porównywania wartości NDS według obowiązującej i proponowanej nowej metody badawczej są całkowicie nieuzasadnione, dlatego że dotyczą badania dwóch odmiennych badanych parametrów. Dopiero nowe badania węgla elementarnego (EC) w powietrzu kopalnianym na stanowiskach pracy pracowników narażonych na spaliny Diesla

dadzą właściwą odpowiedź co do poziomu jego stężenia w powietrzu kopalnianym, uwzględniające również tło związane z naturalnymi procesami zachodzącymi w górotworze lub innymi procesami technologicznymi prowadzonymi w podziemnych wyrobiskach. Spaliny wychodzące z układów wydechowych podziemnych pojazdów górniczych z napędem spalinowym wraz z innymi substancjami chemicznymi będącymi w powietrzu na skutek procesów technologicznych (prace spawalnicze, prace strzelnicze, iniekcje chemiczne górotworu) oraz procesów utleniania pokładów węgla mieszają się ze strumieniem przepływającego w wyrobisku powietrza, tworząc atmosferę kopalnianą. W tym zakresie obowiązują przepisy prawne, zarówno górnicze, jak i higieniczne ([Rozporządzenie ME 2016](#), [Rozporządzenie MRPiPS 2018](#)), które określiły skład powietrza i dopuszczalne poziomy stężenia chemicznych i pyłowych czynników szkodliwych dla zdrowia. W tabelicy 3 przedstawiono zbiorcze wymagania dopuszczalnych poziomów stężeń chemicznych czynników szkodliwych dla zdrowia według odrębnych przepisów górniczych i higienicznych. W celu wzajemnego porównania dopuszczalnych poziomów zawartości substancji szkodliwych przeliczono jednostki stężenia podane w mg/m^3 na stężenie wyrażone w ppm. Do obliczeń zastosowano przeliczenie jednostek na bazie równania Clapeyrona (stanu gazu doskonałego) dla warunków temperatury $20 \text{ }^\circ\text{C}$ i ciśnienia $101,3 \text{ kPa}$ ([Sporysz 2016](#)).

Przedstawione w tabelicy 3 wartości dopuszczalne stężeń szkodliwych czynników chemicznych w powietrzu zabezpieczają środowisko pracy w podziemnych zakładach górniczych dla pracowników, w tym dla: operatorów pojazdów górniczych i ich obsługi, zajezdni, oraz pracowników przebywających na trasach transportowych. Porównanie stężeń szkodliwych substancji chemicznych obu wymienionych wyżej przepisów nie jest jednoznaczne, szczególnie w przypadku wartości NDS i Najwyższe Dopuszczalne Stężenie Chwilowe NDSC (*- wartość średnia stężenia, które nie powinno spowodować ujemnych zmian w stanie zdrowia pracownika, jeżeli występuje w środowisku pracy nie dłużej niż 15 minut i nie częściej niż 2 razy w czasie zmiany roboczej, w odstępstwie czasu nie krótszym niż 1 godzina (Rozporządzenie MRPiPS 2018)*), będącej wartością średnią ważoną pomiaru stężenia. W szczególnych przypadkach określonych w przepisach górniczych dopuszcza się występowanie przekroczeń stężeń gazów określonych w tabelicy 3 w wyniku stosowania dopuszczalnych procesów technologicznych, w szczególności robót strzałowych, prac spawalniczych, pracy maszyn z napędem spalinowym lub wydzielania się gazów wskutek urabiania, na zasadach określonych przez kierownika ruchu zakładu górniczego ([Rozporządzenie ME 2016](#)). Należy zaznaczyć, że wartości dopuszczalnych stężeń, w tym NDS i NDSC, wprowadzane przez właściwych ministrów dotyczą środowiska pracy,

Tabela 3. Porównanie wartości dopuszczalnych poziomów stężenia gazów w powietrzu kopalnianym wg odrębnych przepisów dla warunków temperatury $20 \text{ }^\circ\text{C}$ i ciśnienia atmosferycznego $101,3 \text{ kPa}$

Table 3. Comparison of permissible gas concentration levels in the mine air acc. to separate regulations for the temperature of $20 \text{ }^\circ\text{C}$ and atmospheric pressure of $101,3 \text{ kPa}$

Rodzaj gazu	Wartości dopuszczalne stężeń składników powietrza w wyrobiskach wg rozporządzenie Ministra Energii z dnia 23.11.2016 r. Wartość maksymalna (ppm)	Wartości dopuszczalne stężeń wybranych szkodliwych substancji chemicznych wg rozporządzenia Ministra Rodziny, Pracy i Polityki Społecznej z dnia 12.06.2018 r. NDS / NDSC (ppm)
Dwutlenek węgla	10 000	4923 / 14769
Tlenek węgla	26	20 / 100
Tlenek azotu	2,6	2,8 / 5,6
Dwutlenek siarki	0,75	0,5 / 1
Siarkowodór	7	5 / 10

w strefie oddychania pracowników na swoich stanowiskach pracy, a nie wartości stężenia na końcu przewodu wylotowego napędów spalinowych.

4. Prognoza narażenia zawodowego na spaliny Diesla w środowisku pracy w podziemnych zakładach górniczych po roku 2025

Od dnia 21.02.2026 r. dla sektora górnictwa podziemnego i budowy tuneli obowiązywać będzie nowa wartość NDS dla spalin emitowanych z silników Diesla na poziomie 0,05 mg/m³ (mierzona jako węgiel elementarny). Przy interpretacji różnych danych dotyczących toksyczności spalin silników Diesla ważne jest, aby zdać sobie sprawę, że wcześniejsze badania opierały się prawie wyłącznie na danych dotyczących spalin tzw. tradycyjnych silników wysokoprężnych. Postęp technologiczny w tej dziedzinie doprowadził jednakże do znacznych zmian w składzie spalin silnika Diesla. Silniki zbudowane pod koniec lat 80. wykazywały około 40-procentową redukcję emisji cząstek stałych. Dalsze innowacje, np. elektroniczne sterowanie silnikiem, doprowadziły do 90-procentowej redukcji cząstek stałych w porównaniu z silnikami sprzed 1988 r. Podobna sytuacja dotyczyła emisji: tlenków azotu, tlenku węgla, węglowodorów (głównie formaldehydu, etylenu, acetaldehydu i benzenu), WWA i nitrotworów pochodnych WWA. Według niektórych autorów obecnie poziomy różnych składników spalin silnika Diesla są porównywalne lub niższe niż w spalinach ze sprężonego gazu ziemnego, który jest ogólnie uważany za „czysty”. Dlatego biorąc pod uwagę ilościowe i jakościowe zmiany w składzie spalin tego silnika w ciągu ostatnich dwóch dekad, ważne jest, aby pamiętać, że spaliny silnika Diesla nie są jednolitym materiałem (Szymańska, Frydrych, Bruchajzer 2019). W Polsce dotychczas nie było konieczności oznaczania stężenia węgla elementarnego (EC) w celu oceny narażenia inhalacyjnego pracowników, ponieważ polska wartość NDS była ustalona dla frakcji respirabilnej spalin silników Diesla. Nie ma również żadnych danych dotyczących poziomu stężenia EC w powietrzu stanowisk pracy, a narażenie na ten niebezpieczny dla zdrowia czynnik dotyczy bardzo dużej populacji pracowników zatrudnionych m.in. w podziemnych wyrobiskach górniczych, jak również strażaków, kierowców tirów, autobusów, a także pracowników stacji obsługi samochodów. Na podstawie przeprowadzonych badań opracowano w CIOP w Warszawie metodę oznaczania węgla elementarnego w spalinach silników Diesla emitowanych do powietrza na stanowiskach pracy, z zastosowaniem termo-optycznego analizatora z detektorem płomieniowo-jonizacyjnym. Metoda polega na przepuszczeniu badanego powietrza zawierającego spaliny silnika Diesla przez filtr kwarcowy umieszczony w kasecie. Analizę prowadzi się zgodnie z protokołem temperaturowym zaproponowanym przez NIOSH. Opracowana metoda umożliwia oznaczenie węgla w zakresie stężenia 2,7 ÷ 434,4 µg/m³. W atmosferach, w których konieczne jest oddzielenie cząstek spalin Diesla od innych respirabilnych pyłów, takich jak pył węglowy, zaleca się pobieranie próbek na jednorazowe kasetki DPM, w których impaktor ekranuje cząstki respirabilne ≥ 1,0 µm. Do pobierania cząstek stałych z silników wysokoprężnych w środowiskach, gdzie nie jest konieczne różnicowanie cząstek spalin Diesla od innych cząstek respirabilnych, takich jak pył węglowy, zaleca się pobieranie na próbniki kasetowe z filtrem kwarcowym bez impaktora. Do pobierania próbek powietrza do badań za pomocą wyżej wymienionych próbników należy stosować aspiratory o przepływie 2 l/min i pobierać próbkę o objętości 960 l (Szewczyńska, Pośniak, Kowalska 2020). Pracownicy kopalni używających sprzętu z silnikami Diesla są jednymi z wielu grup zawodowych narażonych na działanie

spalin. Według niektórych autorów dopuszczalna wartość narażenia zawodowego EC 0,05 mg/m³ powinna dotyczyć tylko pracowników narażonych na spaliny z silników Diesla starej generacji. W celu sprawdzenia narażenia zawodowego na spaliny Diesla istnieje możliwość zbadania w warunkach *in situ* narażenia poprzez pomiar stężenia węgla elementarnego EC w środowisku pracy jeszcze przed datą wejścia normatywu higienicznego, w celu oszacowania poziomu narażenia na ten czynnik szkodliwy. Postęp technologiczny w konstrukcji silników doprowadził do znacznych zmian w składzie spalin silnika Diesla. Silniki zbudowane pod koniec lat 80. wykazywały około 40-procentową redukcję emisji cząstek stałych. Dalsze innowacje, np. elektroniczne sterowanie silnikiem, doprowadziły do 90-procentowej redukcji cząstek stałych w porównaniu z silnikami sprzed 1988 r. Przy szacowaniu narażenia na spaliny silnika Diesla należy wziąć pod uwagę następujące czynniki: modernizację konstrukcji silników i technologii emisji, a także stosowanie paliw o zmienionym składzie – wszystko to powoduje, że narażenie na spaliny ulega zmniejszeniu (Szymańska, Frydrych, Bruchajzer 2019, Szlązak, Borowski, Sporysz 2013). Dostawcy pojazdów górniczych z silnikami Diesla nie mają wpływu na jakość paliwa, czyli oleju napędowego stosowanego przez kopalnię, co jest niewątpliwie elementem podwyższonego ryzyka. Sygnalizowane są problemy z czystością i zawadzeniem oleju napędowego, co bezpośrednio przekłada się na stan jakości spalin. Do rozważenia pozostaje wykonywanie dodatkowych badań i analiz stosowanych paliw, co pomogłoby określić czy skład jakościowy paliwa odpowiada zaleceniom dostawcy oraz normy produktu. Rozwój systemów transportowych w kopalniach wymaga wdrażania nowych rozwiązań technicznych oraz zmian organizacyjnych pozwalających na zwiększenie efektywności i wzrost bezpieczeństwa w procesie transportu, przechowywania i tankowania paliw w podziemnych wyrobiskach górniczych. Gospodarka paliwowa jest niewątpliwie ważnym elementem logistyki w transporcie kolejkami z napędem spalinowym (Mrowiec, Skóra 2016). Biorąc pod uwagę obecną transformację energetyczną związaną z odejściem węgla kamiennego, jako surowca energetycznego w Polsce, okres żywotności kopalń węgla kamiennego wynosić będzie jeszcze około 15-20 lat. Trudno byłoby zrozumieć decyzję władz spółek górniczych by zastąpić posiadane pojazdy górnicze z silnikami Diesla innymi, z uwagi przede wszystkim na wysokie koszty ekonomiczne takiej transformacji. To samo dotyczy górnictwa podziemnego rud miedzi, węgla koksującego, soli. Wskazuje się, że koszt takiej wymiany może wynieść co najmniej kilka miliardów złotych (Pismo nr ZZPM /153/XII/2020). Posiadana obecnie w podziemnych zakładach górniczych baza pojazdów z silnikami Diesla powinna być utrzymana do końca eksploatacji węgla kamiennego z uwzględnieniem bezpiecznych warunków pracy przy narażeniu na spaliny poprzez właściwą modernizację i konserwację silników Diesla, jak i odpowiednią wentylację wyrobisk górniczych zgodnie z obowiązującymi w tym zakresie przepisami górnictwa i higienicznymi. Rozwój technologiczny innych alternatywnych napędów (akumulatorowego, hybrydowego, wodorowego, e-paliw) nie ominie również zapewne górnictwa podziemnego. Będzie on przebiegał równoległe do rozwoju napędów pojazdów drogowych z uwzględnieniem alternatywnych napędów. To przepisy prawne UE będą decydować po roku 2025 jak będzie wyglądała ostatecznie sytuacja dostawców i producentów silników spalinowych Diesla. Proces zastąpienia napędów spalinowych alternatywnymi napędami, jak np. akumulatorowe wymaga wciąż czasu, tak by wszystkie cechy i zadania przynależne transportowi materiałów i ludzi były w zakresie wymagań spełnione. Zaletą napędów spalinowych wciąż jest ich wysoka elastyczność w transporcie

kopalnianym. Dlatego istotne jest zrównoważone podejście do stosowania różnych napędów w podziemnych pojazdach górniczych. Nawet jeżeli ostatecznie to napędy elektryczne doprowadzą do roku 2050 roku do neutralności klimatycznej, zgodnie z polityką Komisji Europejskiej.

5. Podsumowanie

Należy zaznaczyć, że obowiązujący normatyw NDS dla spaliny silników Diesla – frakcja respirabilna został ustanowiony na bazie metody badawczej oznaczania frakcji aerozolu, całkowicie nieadekwatnej do nowej metody oznaczania węgla elementarnego (EC) w spalinach. Stąd podejmowane w debacie publicznej próby porównywania wartości NDS lub ich krotności według obowiązującej i proponowanej nowej metody badawczej są całkowicie nieuzasadnione, dlatego że dotyczą badania dwóch odmiennych parametrów badawczych. Nowy normatyw higieniczny dla spalin emitowanych z silników Diesla (mierzone jako węgiel elementarny), który będzie obowiązywał od 21.02.2026 r. w przypadku górnictwa podziemnego i budowy tuneli nie przekreśla dalszego użytkowania silników Diesla w pojazdach górniczych, a jedynie podnosi próg bezpieczeństwa w zakresie poziomu narażenia pracowników na spaliny w środowisku pracy. Proces zastąpienia napędów spalinowych alternatywnymi napędami, jak np. akumulatorowe, wymaga wciąż czasu, tak by wszystkie cechy i zadania przynależne transportowi materiałów i ludzi były w zakresie wymagań spełnione. Zaletą napędów spalinowych wciąż jest ich wysoka elastyczność w transporcie kopalnianym. Trudno byłoby zrozumieć decyzję władz spółek górniczych węgla kamiennego, rud miedzi, węgla koksującego, soli by zastąpić w 2026 roku wszystkie posiadane pojazdy górnicze z silnikami Diesla na inne, z uwagi przede wszystkim na wysokie koszty ekonomiczne takiej transformacji. Nie bez znaczenia jest również operowanie pojazdami z napędem spalinowym podczas prowadzenia szczególnych, specjalistycznych zadań np. akcji ratowniczych w wyrobiskach górniczych, w których występujące w podziemnych zakładach zagrożenia naturalne (metanowe, tąpniowe) przyczyniają się do utraty funkcjonalności wyrobisk, z pogorszeniem bezpieczeństwa ich użytkowania. W celu zmniejszenia poziomu emisji substancji szkodliwych w powietrzu konieczne jest dalsze stosowanie sposobów ograniczających poziom zanieczyszczeń do atmosfery kopalnianej poprzez: optymalizację oprzyrządowania silnika pod kątem zmniejszenia zużycia energii, optymalizację mocy silników spalinowych, regularną konserwację silnika, monitorowanie jakości paliwa, dobór odpowiedniego strumienia objętości świeżego powietrza przepływającego przez wyrobiska górnicze w celu ograniczenia poziomu zanieczyszczeń powietrza kopalnianego w rejonie operowania pojazdami górniczymi. Dlatego istotne jest zrównoważone podejście do zastępowania napędów spalinowych alternatywnymi napędami w podziemnych pojazdach górniczych.

Literatura

- MROWIEC M., SKÓRA T. 2016 - Gospodarka paliwowa jako ważny element logistyki w kopalnianym transporcie kolejkami z napędem spalinowym. „Przeгляд Górnicy” nr 12, s. 94-99.
- SPORYSZ G. 2016 - Środowisko pracy w górnictwie podziemnym - uwagi do oceny narażenia na czynniki szkodliwe dla zdrowia. „Bezpieczeństwo Pracy i Ochrona Środowiska w Górnictwie” nr 10 Miesięcznik Wyższego Urzędu Górniczego, Katowice.
- SZLAŹAK N., BOROWSKI M. 2002 - Wentylacyjne aspekty stosowania maszyn z silnikami spalinowymi w kopalniach podziemnych. Biblioteka

Szkoły Eksploatacji Podziemnej, Kraków.

- SZLAŹAK N., BOROWSKI M., SPORYSZ G. 2013 - Analiza emisji składników spalin silników z maszyn z silnikami spalinowymi w kopalniach podziemnych. Materiały 7 Szkoły Aerologii Górniczej, Krynica Górnska. s.147-160.
- SZEWCZYŃSKA M., POŚNIAK M., KOWALSKA J., 2020 - Spaliny emitowane z silników Diesla, mierzone jako węgiel elementarny. Metoda oznaczania w powietrzu na stanowiskach pracy, PIMOSP nr 4 (106) s. 143-162.
- SZYMAŃSKA E., FRYDRYCH B., BRUCHAJZER E., 2019 - Spaliny emitowane z silników Diesla, mierzone jako węgiel elementarny. Dokumentacja proponowanych dopuszczalnych wartości wielkości narażenia zawodowego, PIMOSP nr 4, s. 43-103.
- Rozporządzenie MRPiPS** (Ministra Rodziny, Pracy i Polityki Społecznej) z dnia 12 czerwca 2018 r. w sprawie najwyższych dopuszczalnych stężeń i natężeń czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy (Dz. U. z 2018 r. poz. 1286 z późn. zm).
- Rozporządzenie MRPiT** (Ministra Rozwoju, Pracy i Technologii) z dnia 18 lutego 2021r. zmieniające rozporządzenie w sprawie najwyższych dopuszczalnych stężeń i natężeń czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy (Dz. U. z 2021 r. poz. 325).
- Rozporządzenie ME** (Ministra Energii) z dnia 23 listopada 2016 r. w sprawie szczegółowych wymagań dotyczących prowadzenia ruchu podziemnych zakładów górniczych (Dz.U. z 2016 r. poz. 1118 z późn. zm.)
- Rozporządzenie MZ** (Ministra Zdrowia) z dnia 10 lutego 2021r. zmieniające rozporządzenie w sprawie substancji chemicznych, ich mieszanin, czynników lub procesów technologicznych o działaniu rakotwórczym lub mutagennym w środowisku pracy (Dz.U. z 2021r. poz. 279)
- Dyrektywa 97/68/WE** Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 16 grudnia 1997 r. w sprawie zbliżenia ustawodawstw Państw Członkowskich odnoszących się do środków dotyczących ograniczenia emisji zanieczyszczeń gazowych i pyłowych z silników spalinowych montowanych w maszynach samojezdnych nie poruszających się po drogach.
- Dyrektywa Komisji 2012/46/UE** z dnia 6 grudnia 2012 r. zmieniająca dyrektywę 97/68/WE Parlamentu Europejskiego i Rady w sprawie zbliżenia ustawodawstw państw członkowskich odnoszących się do środków dotyczących ograniczenia emisji zanieczyszczeń gazowych i pyłowych z silników spalinowych montowanych w maszynach samojezdnych nie poruszających się po drogach.
- Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2016/1628** z dnia 14 września 2016 r. w sprawie wymogów dotyczących wartości granicznych emisji zanieczyszczeń gazowych i pyłowych oraz homologacji typu w odniesieniu do silników spalinowych wewnętrznego spalania przeznaczonych do maszyn mobilnych nie poruszających się po drogach, zmieniające rozporządzenia (UE) nr 1024/2012 i (UE) nr 167/2013 oraz zmieniające i uchylające dyrektywę 97/68/WE.
- PN-G-36000**: 1997 Napędy spalinowe dla podziemnych pojazdów górniczych. Wymagania.
- PN-EN 1679-1**: 2000 Silniki spalinowe tłokowe. Bezpieczeństwo. Silniki o zapłonie samoczynnym.
- Stanowisko** Związku Pracodawców Polska Miedź w sprawie projektu rozporządzenia Ministra Rozwoju, Pracy i Technologii zmieniającego rozporządzenie w sprawie najwyższych dopuszczalnych stężeń i natężeń czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy – **Pismo nr ZZPM /153/XII/2020** z dnia 18.12.2020, Lubin.

Artykuł wpłynął do redakcji w marcu 2022 r.
Artykuł zaakceptowano do druku 15.05.2022 r.

Grzegorz Sporysz, dr inż. zatrudniony w Centrum Badań i Dozoru Sp. z o.o. w Łędzinach na stanowisku Głównego specjalisty ds. badań środowiska i zagrożeń naturalnych. Autor i współautor 31 publikacji naukowych nt. bezpieczeństwa i środowiska pracy oraz zagrożeń naturalnych w górnictwie podziemnym. Członek Komitetu Technicznego PKN nr 275 Technika i Zagrożenia w Górnictwie.