

Andrzej STRUMIŃSKI, Zbigniew NĘDZA  
Instytut Górnictwa Politechniki Wrocławskiej  
Władysław TURKIEWICZ  
CPBM - CUPRUM, Wrocław

## MOŻLIWOŚĆ ZASTOSOWANIA MASZYN Z SILNIKAMI SPALINOWYMI W NIEMETANOWYCH KOPALNIACH WĘGLA KAMIENNEGO

Streszczenie. Scharakteryzowano zanieczyszczenia powietrza kopalnianego występujące w czasie pracy maszyn górniczych z silnikami spalinowymi, unormowania prawne obowiązujące w tym zakresie oraz omówiono sposoby zwalczania występujących zagrożeń. Przeprowadzono wstępną ocenę możliwości zastosowania tych maszyn w niemietanowych kopalniach węgla kamiennego.

## POSSIBILITY OF COMBUSTION ENGINE MACHINES UTILIZATION IN NON - METHANE COLLIERIES

Summary. Characteristic of mine air contamination during mine machines with combustion engine work, legal regulations being in force in this field and methods of hazard overcoming were presented. Initial estimation of possibilities of using combustion engine machines in non - methane collieries was carried out.

## POSSIBILITÉS DE L'UTILISATION DES MACHINES A MOTEURS A COMBUSTION INTERNE DANS LES MINES DE CHARBON NON GRISOUTEUSES

Resumé. On a caractérisé la pollution de l'air de mine due au travail des machines de mine a moteurs a combustion interne et on a présenté les reglements de securité obligatoires dans ce domaine ainsi que les methodes de la suppression de risques. On a fait une évaluation

préliminaire des possibilités de l'utilisation de ces machines dans les mines de charbon non grisouteuses.

## 1. WSTĘP

Maszyny samojezdne z napędem spalinowym są szeroko stosowane w podziemnym górnictwie rud metali, a w szczególności rud miedzi. Maszyny te charakteryzują się wieloma zaletami, jak np. łatwością przystosowania do sukcesywnie i szybko przemieszczającego się frontu robót eksploatacyjnych i przygotowawczych, łatwością pokonywania zmian profilu dróg dojazdowych, dużą zwrotnością oraz efektywnością pracy. Zalety te są powodem prowadzenia w niektórych krajach górniczych prób zastosowania spalinowych maszyn samojezdnych również w podziemnym górnictwie węglowym. W polskich kopalniach węgla kamiennego dotychczas nie prowadzono w ogóle robót górniczych, nawet z próbnym wykorzystaniem wymienionych maszyn. Dlatego nie ma w tym zakresie żadnych doświadczeń ruchowych.

Z doświadczeń polskich kopalń rud miedzi wiadomo jednak, że wprowadzenie maszyn górniczych z silnikami spalinowymi do kopalń węgla kamiennego spowoduje powstanie w tych kopalniach nowej grupy zagrożeń, w której jednym z podstawowych problemów będzie zanieczyszczenie powietrza kopalnianego.

W artykule scharakteryzowano zanieczyszczenia powietrza kopalnianego występujące przy pracy maszyn spalinowych, unormowania prawne obowiązujące w tym zakresie w górnictwie światowym, w tym również w górnictwie polskim, oraz omówiono sposoby zwalczania zagrożeń wynikających ze stosowania tych maszyn w kopalniach podziemnych. Ponadto na przykładzie jednej z kopalń przeprowadzono wstępną ocenę możliwości zastosowania maszyn z silnikami spalinowymi w niemietanowych kopalniach węgla kamiennego.

## 2. ZANIECZYSZCZENIA POWIETRZA KOPALNIANEGO W CZASIE PRACY MASZYN Z SILNIKAMI SPALINOWYMI

Zanieczyszczenie powietrza kopalnianego stanowią zazwyczaj gazy, ciecze oraz ciała stałe. W szczególności w powietrzu kopalnianym mogą występować: tlenki węgla, tlenki azotu, dwutlenek siarki, węglowodory, aldehydy oraz cząstki substancji stałych.

Jednym z podstawowych źródeł zanieczyszczeń powietrza kopalnianego mogą być spaliny wydzielane z samojedznych maszyn górniczych napędzanych silnikami wysokoprężnymi.

Według badań przeprowadzonych w Anglii [ 1,6 ], każdy kilogram paliwa spalane w silniku dieslowskim wytwarza 11,2 m<sup>3</sup> gazów spalinowych zawierających około 0,018 m<sup>3</sup> tlenku węgla (*CO*), 0,018 m<sup>3</sup> tlenków azotu (*NO*, *NO*<sub>2</sub>, *NO*<sub>x</sub>) oraz 1,14 m<sup>3</sup> dwutlenku węgla (*CO*<sub>2</sub>). Większość składników spalin ma właściwości toksyczne.

Trujące działanie tlenku węgla polega na tym, że wiąże się on niezmiernie intensywnie z hemoglobina, która normalnie łączy się nietrwale z tlenem i rozprowadza go po organizmie. Tlenek węgla natomiast łączy się dość trwale z hemoglobina i uniemożliwia krwi przenoszenie tlenu.

Tlenki azotu są silnie toksyczne, podrażniają błony śluzowe oczu, dróg oddechowych oraz płuc.

Głównym składnikiem tlenków azotu jest tlenek azotu *NO*. Jednak tlenek azotu w obecności tlenu łatwo utlenia się do dwutlenku azotu; proces ten zachodzi zarówno w rurze wydechowej, jak też w atmosferze kopalnianej. Proces przechodzenia tlenku azotu w dwutlenek azotu wymaga pewnego czasu w zależności od stężenia *NO*. Zachodzi on zwykle w ciągu około pół godziny od utworzenia się tlenku azotu.

Tlenki siarki wydzielają się podczas spalania paliw zawierających siarkę. Ilość siarki w paliwie zależy od stopnia niedojrzałości ropy naftowej i jej rafinacji. Oba tlenki siarki, zarówno *SO*<sub>2</sub>, jak i *SO*<sub>3</sub>, są produktami zupełnego spalania paliwa w silnikach Diesla. Siarka zawarta w paliwie podczas spalania przechodzi w tlenki siarki wydalone z silnika do powietrza kopalnianego. Jeżeli stosunek paliwa do powietrza w procesie spalania jest wysoki, to w emisji spalin do powietrza kopalnianego przeważa dwutlenek siarki *SO*<sub>2</sub>, jeżeli ten stosunek jest niski, to przeważa *SO*<sub>3</sub>.

Tlenki siarki, których zawartości w gazach spalinowych są małe i zależą od jakości paliwa,

mają własności toksyczne, drażniące błony śluzowe dróg oddechowych i oczu, podobnie jak aldehydy. Wśród aldehydów najbardziej niebezpieczny jest formaldehyd, który wywołuje martwicę skóry, nieżyt nosa, uczulenie, słabość, bóle głowy, bezsenność.

W wyniku rozkładu dieslowskiego paliwa pod działaniem wysokich temperatur powstaje akreolina. Jest to łatwo utleniająca się ciecz, występująca w powietrzu w postaci pary. Akreolina jest substancją bardzo trującą, drażni błony śluzowe, powoduje zawroty głowy, mdłości, bóle żołądka i wymioty.

Produktami niepełnego spalania związków organicznych są także węglowodory i sadze. Według badań amerykańskich [6], przeciętny wysokoobrotowy silnik spalinowy emituje w przybliżeniu 13,2 kg dymu podczas spalania 1000 litrów paliwa. Dym stanowi mieszaninę cząstek ciał stałych, cieczy i gazów. Około 60% tych cząstek stanowi węgiel, pozostałe to m. in. tlenki metali w ilościach śladowych.

Ilość lekkich węglowodorów wydzielanych w spalinach jest funkcją stosunku paliwa do powietrza dostarczanego do cylindrów silników spalinowych.

Cząstki stałe emitowane z układów wydechowych samojezdnych maszyn górniczych zostają rozproszone w atmosferze kopalnianej, w wyniku czego wzrasta zapylenie wyrobisk górniczych. Oddychanie powietrzem - aerozolem powoduje osadzanie w układzie oddechowym załogi dołowej różnych cząstek stałych, w tym również sadzy. Stwarza to potencjalne zagrożenie zdrowia górników, przy czym stwierdzono [ 2, 4-6 ], że cząstki stałe emitowane z rur wydechowych maszyn i pojazdów górniczych, po przedostaniu się do dróg oddechowych osadzają się głównie w płucach. W jamie nosowo-gardłowej następuje depozycja cząstek o średnicy większej od 1 m, ilość cząstek osadzających się natomiast w tchawicy i oskrzelach w stosunku do pozostałych części układu oddechowego jest bardzo mała. Najmniejsze cząsteczki ciał stałych o rozmiarach poniżej 0,01 m są pochłaniane przez ciecz fizjologiczną i wraz z nią wydalane z organizmu.

Należy nadmienić, że aktualnie działanie pyłu w płucach sprowadza się przede wszystkim do oddziaływania chemicznego, a nie mechanicznego.

Badania pojazdów samochodowych z silnikami Diesla wykazały obecność na cząstkach sadzy policyklicznych węglowodorów aromatycznych. Związki te, zawierające w cząsteczce kilka skondensowanych ze sobą pierścieni benzenowych, można wiązać z powstaniem nowotworów złośliwych płuc załóg dołowych.

### 3. PRZEPISY I NORMY DOTYCZĄCE DOPUSZCZALNYCH STĘŻEŃ GAZÓW TOKSYCZNYCH W POWIETRZU KOPALNIANYM

W krajach górniczych przepisy normujące wartości stężeń gazów toksycznych w spalinach nierozrzedzonych wydzielanych przez silniki wysokoprężne są na ogół różne [ 3, 6 ]. Przykładowo norma szwedzka dopuszcza maksymalne stężenie  $CO$  - 800 ppm, niemiecka - 500 ppm, a przepisy obowiązujące w polskich kopalniach rud miedzi w LGOM - 300 ppm; są to jednak stężenia mierzone w spalinach częściowo już rozrzedzonych w pobliżu rury wydechowej.

Krajowe przepisy dotyczące testowania silników spalinowych określają, że próby gazów nierozrzedzonych należy pobierać bezpośrednio z układu wydechowego na biegu jałowym i pod obciążeniem, na maksymalnych obrotach, po 20 minutach pracy, a stężenia maksymalne  $CO$  nie powinny przekraczać 1000 ppm.

W większości krajów górniczych, w których są normowane maksymalne stężenia tlenków azotu  $NO_x$  w spalinach nierozrzedzonych, obowiązuje granica progowa 1000 ppm.

Polska jest jednym z nielicznych krajów, w których nie ma znormalizowanej dopuszczalnej wartości tlenków azotu w spalinach nierozrzedzonych.

Według polskich przepisów górniczych ujętych w Rozporządzeniu Prezesa Rady Ministrów dnia 1.03.1969 r. dopuszczalne stężenie tlenku węgla w powietrzu kopalnianym, wynoszące 20 ppm, jest jedną z najostrejszych norm. W większości państw dopuszczalne stężenie  $CO$  wynosi 50 ppm, a nawet 100 ppm. Dopuszczalne stężenia  $CO_2$  i  $SO_2$ , wynoszące odpowiednio 10 000 ppm i 7 ppm, w naszych kopalniach są zbyt łagodne, prawie o 100% w porównaniu z innymi krajami górniczymi. Obowiązująca u nas wartość graniczna dla  $NO_x$ , wynosząca 2,5 ppm, należy do najniższych w świecie, tym bardziej że nasze przepisy nie normują łącznej zawartości tlenków azotu  $NO_x$ .

Według postanowień "Szczegółowych przepisów prowadzenia ruchu i gospodarki złożem w podziemnych zakładach górniczych resortu hutnictwa" zawartość tlenku węgla w gazach spalinowych pobranych bezpośrednio z rury wydechowej nie powinna przekraczać 300 ppm (0,03%).

#### 4. ZWALCZANIE ZAGROŻEŃ WYNIKAJĄCYCH ZE STOSOWANIA MASZYN GÓRNICZYCH Z SILNIKAMI SPALINOWYMI

W celu ograniczenia ilości wydzielających się w spalinach maszyn samojezdnych substancji toksycznych są stosowane różne rozwiązania techniczne [ 1, 6 ].

Podczas procesu spalania paliw organicznych może występować spalanie niezupełne i wówczas m. in. powstaje produkt toksyczny, jakim jest tlenek węgla.

Tlenek węgla powstaje wówczas, gdy ilość paliwa dostarczana do cylindra silnika spalinowego jest nadmierna w stosunku do tlenu zasysanego przez cylinder. Przy normalnym zasysaniu silnika Diesla ilość powietrza zasysana do cylindra jest taka sama na każdy suwssania. Tak więc spalanie zupełne występuje tylko przy niskim poziomie obciążenia, kiedy silnik pobiera stosunkowo małe ilości paliwa. Wyższe poziomy obciążenia silnika wymagają zwiększenia ilości paliwa, przy takich samych ilościach powietrza w cylindrze i aby zapewnić spalanie zupełne, należałoby zwiększyć ilość zasysanego powietrza. Okazuje się, że silniki z tzw. turboladowaniem zdolne są w pewnym stopniu skompensować zwiększone obciążenie i wzrost zużycia paliwa. Silniki z turboladowaniem spalają czystiej niż z naturalnym zasysaniem i wytwarzają mniej tlenku węgla.

Tlenki azotu tworzą się w przybliżeniu proporcjonalnie do obciążenia silnika, ponieważ ciśnienie i temperatura spalania zwiększają się ze wzrostem ilości wtryskiwanego paliwa. Silniki z turboladowaniem emitują więcej tlenków azotu ( w przeciwieństwie do tlenku węgla) niż z normalnym zasysaniem powietrza. Jednak silniki Diesla ze wstępną komorą spalania wydzielają tylko 50%  $NO_x$  wytwarzanych przez silniki z zasilaniem bezpośrednim przy porównywalnym zużyciu paliwa.

Dla danego typu silnika wielkość stopnia zadymienia zależy głównie od obciążenia silnika, wydatku pompy wtryskowej oraz stanu technicznego silnika. W miarę wzrostu mocy, a zatem i ilości podawanego paliwa, wzrasta emisja cząstek stałych.

Istotny wpływ na stopień zadymienia ma regulacja pompy wtryskowej. Niesprawne lub wadliwie działające elementy układu zasilania paliwem powodują zwiększone zużycie oleju napędowego i wzrost zawartości cząstek stałych (sadzy) w spalinach. Istotny wpływ na zmniejszenie emisji cząstek stałych ma układ oczyszczania spalin. Już w filtrze katalitycznym następuje wstępne obniżenie ilości cząstek stałych w spalinach. Właściwe jednak wymycie

cząstek stałych z gazów spalinowych zachodzi w zbiorniku z płuczką wodną. Dlatego też, jak również w celu ochłodzenia spalin, należy uzupełniać wodę w zbiorniku na początku oraz w trakcie każdej zmiany roboczej.

W celu zapewnienia właściwego procesu spalania oraz zapobiegania zatrutowaniu atmosfery kopalnianej toksycznymi składnikami spalin, paliwa silnikowe dołowych maszyn górniczych muszą odznaczać się odpowiednią jakością.

Do olejów napędowych stosowane są także różne dodatki, jak np. przeciwdymne zmniejszające zadymienie spaln, obniżające temperaturę krzepnięcia, tzw. depresatory oraz dodatki ułatwiające samoczynny zapłon silnika. Stosuje się także specjalne dodatki przeciwdziałające wydzielaniu się w paliwie smół i osadów w czasie przechowywania.

Szczegółowe wymagania w stosunku do handlowych olejów napędowych są określone w polskich normach PN-86 / C-96025.03-05.

Reasumując, należy stwierdzić, że ograniczenie emisji gazów toksycznych wydzielanych przez dołowe samojezdne maszyny górnicze uzyskuje się w rezultacie doboru właściwych silników spalinowych, optymalnej regulacji tych silników, stosowania odpowiedniego rodzaju paliwa i odpowiednich domieszek oraz katalitycznego filtrowania i neutralizacji związków toksycznych występujących w spalinach.

## **5. WSTĘPNA OCENA MOŻLIWOŚCI STOSOWANIA MASZYN Z SILNIKAMI SPALINOWYMI W KOPALNIACH WĘGLA KAMIENNEGO**

Najskuteczniejszą metodą zwalczania zagrożeń gazowych w podziemnych wyrobiskach górniczych jest ich odpowiednio intensywne przewietrzanie, zapewniające w każdym miejscu wyrobiska i w każdej chwili obniżenie stężenia gazów poniżej granicy dopuszczonej przepisami górniczymi lub odpowiednimi normami [ 1, 5-6 ].

W celu skutecznego zwalczania zanieczyszczenia powietrza tlenkami azotu w kopalniach LGOM powszechnie stosuje się intensywne przewietrzanie wyrobisk górniczych.

W pracach [1,6] wyprowadzono wzory umożliwiające wyznaczenie intensywności przewietrzania wyrobisk z wentylacją opływową i wentylacją lutniową przy pracy maszyn spalinowych przemieszczających się zgodnie lub niezgodnie z prądem powietrza.

Opierając się na wspomnianych wzorach dokonano obliczeń intensywności przewietrzania dla wybranych wyrobisk górniczych KWK "Czczott", przy czym założono m.in., że:

- wyrobiska mają pola przekrojów  $A=11,8 \text{ m}^2$  (ŁP-8),
- w wyrobiskach pracują ładowarki łyżkowe ŁK-1 z silnikami SW-400,
- długość przejazdu maszyny 1500 m,
- prędkość przemieszczania maszyny 3 m/s,
- wydatek gazów spalinowych  $0,1 \text{ m}^3/\text{s}$ ,
- odstęp czasowy między przejazdami maszyn 30 min.

W tablicy 1 zestawiono obliczone prędkości i strumienie objętości powietrza dla tych wyrobisk.

Tablica 1

Prędkości i strumienie objętości powietrza dla wybranych wyrobisk KWK "Czczott"

Sposób przemieszczania się maszyny samojezdnej	Prędkość powietrza $w_p$ [ m / min ]	Strumień objętości powietrza $V_k$ [ $\text{m}^3 / \text{min}$ ]
Ruch ŁK-1 niezgodny z kierunkiem przepływu powietrza	0,26	185
Ruch ŁK-1 zgodny z kierunkiem przepływu powietrza	0,32	230
Dwukierunkowy ruch ładowarki ŁK-1	0,60	416

Zestawione w tablicy 1 strumienie objętości powietrza niezbędne dla zapewnienia w odnośnych wyrobiskach górniczych właściwej koncentracji gazów spalinowych przy przewietrzaniu prądami opływowymi wskazują na to, że w kopalniach węgla kamiennego nie powinny występować trudności w przewietrzaniu takich wyrobisk. Jak widać, np. w KWK

"Czczott" strumienie objętości powietrza w wyrobiskach górniczych przewietrzanych prądami opływowymi, w których odbywa się ruch maszyny spalinowej w obu kierunkach, powinny wynosić około 420 m<sup>3</sup>/min. Przy tych strumieniach objętości powietrza powinien być zapewniony właściwy skład atmosfery kopalnianej.

Inaczej wygląda sprawa przewietrzania wyrobisk ślepych przewietrzanych lutniociągami. Okazuje się, że w celu prawidłowego przewietrzania chodnika ślepego przy tych samych warunkach, które założono dla prądów opływowych, strumień objętości powietrza powinien wynosić około 780 m<sup>3</sup>/min. Dostarczenie takich ilości powietrza do przodków przewietrzanych lutniociągami może wiązać się z pewnymi trudnościami, jednak przy współczesnej technice jest w pełni realne.

Należy jeszcze zaznaczyć, że w kopalniach rud miedzi przyjmuje się minimalny strumień objętości powietrza niezbędny do rozrzedzenia gazów spalinowych 5-6 m<sup>3</sup>/min / KM. Wobec tego przy pracy maszyny samojezdnej napędzanej silnikiem SW-400 o mocy 85,5 kW (117 KM) konieczne jest stosowanie strumienia objętości powietrza 600-700 m<sup>3</sup>/min, natomiast przy silnikach SW-680 o mocy 136 kW (186 KM) - 930 do 1100 m<sup>3</sup>/min powietrza świeżego.

## 6. ZAKOŃCZENIE

Maszyny górnicze o napędzie spalinowym dają duże korzyści ruchowe i produkcyjne. Wysokoprężne silniki spalinowe, pomimo niekorzystnych zjawisk, jakie towarzyszą ich pracy, tzn. skażenia atmosfery kopalnianej gazami toksycznymi, są chyba jednym z głównych przyszłościowych napędów maszyn samojezdnych. Ze wstępnej oceny wynika, że stosowanie maszyn górniczych z napędem spalinowym w wyrobiskach niegazowych kopalń węgla kamiennego jest w pełni realne i nie powinno nastęczać większych trudności, zwłaszcza w wyrobiskach z prądami opływowymi. Niemniej jednak należy prowadzić dalsze badania w tym zakresie, a w szczególności należałoby dla celów eksperymentalnych wyposażyć wybraną kopalnię węgla kamiennego (np. KWK "Czczott") w określoną liczbę maszyn samojezdnych z napędem spalinowym.

## LITERATURA

- [1] Wala A.: *Koncentracja gazów spalinowych w ślepych wyrobiskach górniczych* Zeszyty Naukowe AGH, nr 119, Kraków 1992.
- [2] Logoń A., Turkiewicz W.: *Wstępna ocena stanu zagrożenia tlenkami azotu w kopalniach LGOM w świetle norm obowiązujących w innych krajach*. CBPM "Cuprum" 1989.
- [3] Logoń A.: *Określenie nowych wartości dopuszczalnych stężeń pyłów i gazów uwzględniających normy międzynarodowe*. CBPM "Cuprum" 1992.
- [4] Nowysz M.: *Określenie składu chemicznego cząstek stałych emitowanych z rur wydechowych maszyn samojezdnych do atmosfery kopalnianej w aspekcie ich szkodliwości*. CBPM "Cuprum" 1990.
- [5] Praca zbiorowa pod kierunkiem Frycza A.: *Analiza zagrożenia tlenkami azotu w oddziale eksploatacyjnym kopalni miedzi na tle ruchu maszyn i rozprywu powietrza*. Politechnika Śląska, Gliwice 1984.
- [6] Turkiewicz W., Nowysz M., Gajosiński S.: *Badanie sieci wentylacyjnej w aspekcie zapewnienia właściwych warunków pracy w oddziałach o dużej koncentracji wydobywania*. Zadanie Nr 1, CBPM "Cuprum" 1993.

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Konrad WANIELISTA

Wpłynęło do Redakcji w marcu 1994r.

## Abstract

One of the main trends of collieries transformation will be mining concentration and gallery works technology changes. It appears that during initial and transport works self-propelled combustion engined machines can be used. Introducing of such machine in coal mines needs execution of many technical and organizational problems. One of the main tasks will be ensuring, for mine crew, work conditions according to the mine regulations. Work of self-propelled combustion engined machines in mine excavations will cause new hazards groups where one of the basic element will be colliery air impurity.

On the base of the experiences from copper mines, the most essential impurities of mine air resulting from combustion machines used, requirements in this field and legal regulations in Polish and world mining were presented in this paper. Moreover, an initial analysis and possibility of using such machines estimation was carried out.