

Diesel drives in mine workings threatened by explosive atmosphere

Abstract: Diesel engines are more and more often used in machines, which operate in underground workings threatened by explosive atmosphere, especially in mobile transportation machines such as suspended monorails, floor-mounted railways and locomotives. Characteristic features of mining diesel drive operating in atmosphere threatened by methane and/or flammable coal dust explosion hazard were presented in the paper. Requirements as regards its design and exploitation, which result from ensuring safe operation in specific operational conditions, were discussed. Exemplary applications, in which mining diesel drive was used, were presented.

Key words: mining machines, diesel engine, explosive atmosphere.

Napędy spalinowe w wyrobiskach górniczych zagrożonych atmosferą wybuchową

Streszczenie: Silniki spalinowe znajdują coraz częstsze zastosowanie w urządzeniach pracujących w wyrobiskach podziemnych zagrożonych atmosferą wybuchową. W szczególności w mobilnych urządzeniach transportowych takich jak kolejki podwieszane, kolejki szpagowe oraz lokomotywy. W artykule zaprezentowano charakterystyczne cechy górniczego napędu spalinowego eksploatowanego w atmosferze zagrożonej wybuchem metanu i/lub palnego pyłu węglowego. Omówiono wymagania związane z jego konstrukcją oraz eksploatacją, wynikające ze zapewnienia bezpiecznej pracy w specyficznych warunkach ich użytkowania. Ostatecznie zaprezentowano przykładowe aplikacje, w których zastosowano górniczy napęd spalinowy.

Słowa kluczowe: maszyny górnicze, silnik spalinowy, atmosfera wybuchowa.

1. Wstęp

Napędy spalinowe znajdują szerokie zastosowanie w różnych gałęziach gospodarki. Szczególnym przypadkiem jest ich użycie do napędu urządzeń eksploatowanych w wyrobiskach podziemnych zagrożonych atmosferą wybuchową metanu i/lub pyłu węglowego. W kopalniach o dużym wydobyciu konieczne jest zastosowanie urządzeń o wysokiej wydajności oraz ich maksymalne wykorzystanie, co w przypadku urządzeń transportowych wiąże się z dużymi siłami pociągowymi, dużą niezawodnością oraz krótkimi czynnościami serwisowymi. W porównaniu ze stosowanymi w górnictwie napędami akumulatorowymi, pneumatycznymi oraz urządzeniami z napędem linowym najlepiej wymogą tym sprostać może napęd spalinowy. Nie wymaga on bowiem prowadzenia liny ciągnącej wzdłuż trasy jezdnej lub instalacji sprężonego powietrza. Cechuje się dużym zasięgiem oraz niedużym stosunkiem wielkości nośnika energii do zgromadzonej w nim energii, co znacznie zwiększa zasięg urządzenia z takim napędem.

Po raz pierwszy silniki benzynowe zastosowano pod koniec XIX wieku w Niemczech, lecz zagrożenie, jakie powodują (możliwość inicjacji zapłonu gazów kopalnianych) sprawiło, że szybko zabroniono ich stosowania. Obiecującym okazał się

być wysokoprężny silnik spalinowy wynaleziony w 1893 r. przez Rudolfa Diesla [17]. Cechy konstrukcyjne takiego silnika oraz rodzaj zastosowanego paliwa dostarczyły możliwości wyeliminowania zagrożenia, jakie stwarza silnik benzynowy. Pierwsze masowe zastosowanie napędów spalinowych miało miejsce pod koniec lat trzydziestych ubiegłego stulecia w kopalniach amerykańskich. Niewątpliwie walory techniczno-ekonomiczne urządzeń z napędem spalinowym, wykazane w tych kopalniach, były podstawą rozwoju tych urządzeń. Prognozowane w dzisiejszych czasach dalsze zwiększenie liczby napędów spalinowych wiąże się głównie z ich negatywnym wpływem na środowisko górnicze. Jest to wynikiem wymagań bezpośrednio dotyczących emisji toksycznych składników spalin do atmosfery kopalnianej [5].

Bezpieczne stosowanie urządzeń napędzanych silnikiem spalinowym, zwłaszcza w wyrobiskach potencjalnie zagrożonych wybuchem metanu i/lub pyłu węglowego, wymaga spełnienia wielu wymagań, tak na etapie ich projektowania tudzież wykonywania, jak również podczas ich eksploatacji. Wszystkie te wymagania w głównej mierze dotyczą napędu spalinowego rozumianego, jako silnik spalinowy wraz z towarzyszącym mu osprzętem.

2. Historia zastosowania silnika spalinowego w polskich kopalniach węgla kamiennego

W 1970 r. w wyniku pozytywnych wniosków wynikających z dokonanej przez GIG – KD „Barbara” – „Analizy możliwości zastosowania lokomotyw spalinowych w kopalniach gazowych ze szczególnym uwzględnieniem ROW” w KOMAG-u podjęto prace konstrukcyjne oraz badawczo-wdrożeniowe nad zastosowaniem napędów spalinowych w lokomotywach dołowych [10]. Należy podkreślić, że kopalnie ROW (Rybnicki Okręg Węglowy) należały wówczas do kopalń najnowocześniejszych w Polsce, a duży postęp wydobywania urobku zmuszał zarządy kopalń do poszukiwań wydajniejszych środków odstawy.

W 1972 r. zapoczątkowano stosowanie napędu spalinowego w wyrobiskach węgla kamiennego do napędzania lokomotyw kolei podwieszanej w kopalni doświadczalnej „Jan”. W pierwszym okresie były to lokomotywy sprowadzone z Czechosłowacji o oznaczeniu ZBH-30D [8].

Na podstawie opracowanej w 1974 r. w KOMAG-u dokumentacji technicznej, wykonano prototyp lokomotywy dołowej spalinowej LDS-70, w której zastosowano silnik spalinowy S44G produkcji ZM URSUS. W związku z późniejszym zaprzestaniem produkcji tej jednostki do napędu lokomotyw, wytypowano zespół napędowy ZN-400/25 wraz z silnikiem SW400/Ł1 produkcji WSW ANDORIA Andrychów. W oparciu o ten zespół zaprojektowana została zmodernizowana dołowa lokomotywa spalinowa LDS-100, a w 1982 r. jej seryjną produkcję uruchomiły zakłady ZAMET w Rudzie Śląskiej. Zastosowany w wersji seryjnej silnik SW400/Ł1 nie spełniał jednak wymagań dotyczących toksyczności i dlatego każdorazowo przed pierwszym zastosowaniem, a następnie okresowo w czasie eksploatacji lokomotywy musiały być poddawane okresowej regulacji pompy wtryskowej. Zabieg taki obniżał emisję CO, ale jednocześnie obniżał o ok. 30% moc silnika. Badania mające na celu opracowanie polskiego silnika przeciwwybuchowego na bazie jednostki 6C107 prowadzone były wspólnie przez KOMAG, Politechnikę Wrocławską, Politechnikę Śląską oraz WSW Andoria w latach 1982-87. Ograniczenia środków finansowych spowodowały zaniechanie dalszych prac badawczo-rozwojowych oraz zaprzestanie produkcji lokomotyw LDS-100 przez ZM ZAMET (brak zamówień) [10]. Lata 90-te XXw to ponowny wzrost znaczenia napędów spalinowych w polskim górnictwie węgla kamiennego. Może o tym świadczyć fakt, że w tej dekadzie kopalnie zakupiły ok. 100 maszyn z takim napędem. W większości tych urządzeń zastosowany był silniki D916-6 firmy Deutz MWM (rys. 1). Jednostka ta była fabrycznie przeznaczona do pracy w podziemnych przestrzeniach zagrożonych

atmosferą wybuchową. Silniki D916-6 posiadał wstępną komorę spalania, a układ chłodzenia obejmował również kolektor wylotowy. Zmiany polityki energetycznej w krajach zachodnich, polegające na redukcji wydobycia węgla kamiennego, spowodowały pod koniec lat 90-tych XX zaprzestanie produkcji tej jednostki.

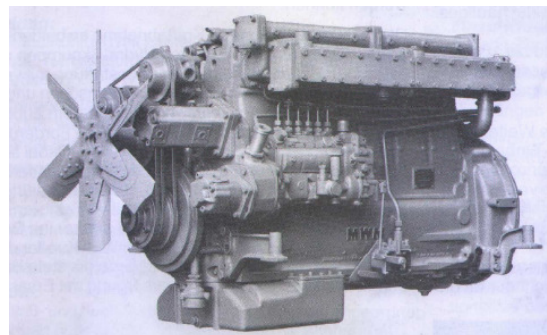


Fig. 1 D916-6 engine made by Deutz MWM [10]
Rys. 2. Silnik D916-6 firmy Deutz MWM [10]

Wzrost zapotrzebowania na węgiel kamienny, związany z koniunkturą oraz rosnące ceny ropy naftowej na początku XXI, był powodem wzrostu zapotrzebowania na wydajne środki transportu z napędem spalinowym.

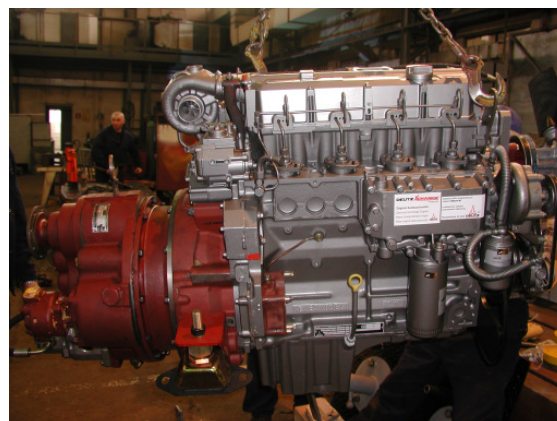


Fig. 2 BF4M1013M engine together with the hydrokinetic gear [1]
Rys. 1. Silnik BF4M1013M wraz ze przekładnią hydrokinetyczną [1]

Nie bez znaczenia był również fakt, że tabor z lat 80-tych ubiegłego wieku posiadany przez kopalnie, był już wyeksploatowany i wymagał wymiany. Brak na rynku silnika dedykowanego dla górnictwa węgla kamiennego był powodem podjęcia prac, w ramach których poszukiwano nowej jednostki napędowej możliwej do zaadaptowania w górnictwym napędzie spalinowym. W wyniku tych prac wytypowano silnika BF4M1013M (rys.2) firmy Deutz, który w chwili obecnej jest podstawowym silnikiem w urządzeniach konstrukcji KOMAG. W zagranicznych rozwiązaniach spotykane są również silniki firm Zetor, Liebherr oraz John Deere.

3. Wymagania formalne dotyczące budowy górniczego napędu spalinowego

Wymagania zasadnicze dotyczące napędów spalinowych dla górnictwa zawarte są w Dyrektywie 2006/4/WE tzw. Nowej Dyrektywie Maszynowej (wdrożonej Rozporządzeniem Ministra Gospodarki z dnia 21.10.2008 r. [13]). W przypadku napędów spalinowych, przeznaczonych do zastosowania w podziemnych wyrobiskach węgla kamiennego, konieczna jest także ocena zgodności z wymaganiami zasadniczymi zapisanymi w Dyrektywie Unii Europejskiej nr 94/9/WE – ATEX z dnia 23 marca 1994 r. (wdrożonej rozporządzeniem Ministra Gospodarki z dnia 22 grudnia 2005 r. [14]). Zgodnie z przyjętą koncepcją uwarunkowaną powszechnością zastosowania Dyrektyw, ujmowane w nich zagadnienia są formułowane w sposób ogólny tak, aby mogły objąć możliwie wszystkie przypadki dotyczące ich przedmiotu. Informacje szczegółowe dotyczące wymagań zawężonej grupy wyrobów zapisane są w normach zharmonizowanych. Domniemywa się, że wyrób spełnia wymagania zasadnicze, jeżeli jest zgodny z normami zharmonizowanymi. Najważniejsze z nich, dotyczące problematyki górniczych napędów spalinowych, w przypadku norm zharmonizowanych z Dyrektywą Maszynową, to między innymi:

- PN-EN 1679-1:2000 „Silniki spalinowe tłokowe – Bezpieczeństwo – Silniki o zapłonie samoczynnym”,

- PN-EN 1889-2:2005 „Maszyny dla górnictwa podziemnego – Podziemne maszyny samobieżne – Bezpieczeństwo – Część 2: Lokomotywy szynowe”.

W przypadku Dyrektywy ATEX najważniejszą normą zharmonizowaną, dotyczącą napędów spalinowych, jest norma PN-EN 1834-2:2002 „Silniki spalinowe tłokowe – Wymagania bezpieczeństwa dotyczące projektowania i budowy silników przeznaczonych do stosowania w przestrzeniach zagrożonych wybuchem – Część 2: Silniki grupy I przeznaczone do stosowania w pracach podziemnych zagrożonych występowaniem metanu i/lub palnego pyłu”.

Do zastosowania w strefach zagrożonych atmosferą wybuchową możemy wyróżnić cztery podstawowe rozwiązania układów spalinowych, które zilustrowano na rysunku 3. Rozróżnia się je ze względu na przestrzeń, z której zasysane jest powietrze oraz przestrzeń, do której emitowane są spaliny. Konfiguracja „C” (rys.3) przedstawia schemat napędu spalinowego przeznaczonego do stref zagrożonych wybuchem metanu i/lub pyłu

palnego (PN-EN 1834-2:2002). Do takich stref zaliczamy podziemne wyrobiska w kopalniach węgla kamiennego. W tej konfiguracji zarówno powietrze potrzebne do procesu spalania, jak i produkty spalania zasysane i emitowane są w przestrzeni potencjalnie zagrożonej wybuchem. Pozostałe konfiguracje nie są dopuszczone do eksploatacji w urządzeniach przeznaczonych do wyrobisk podziemnych zagrożonych atmosferą potencjalnie wybuchową.

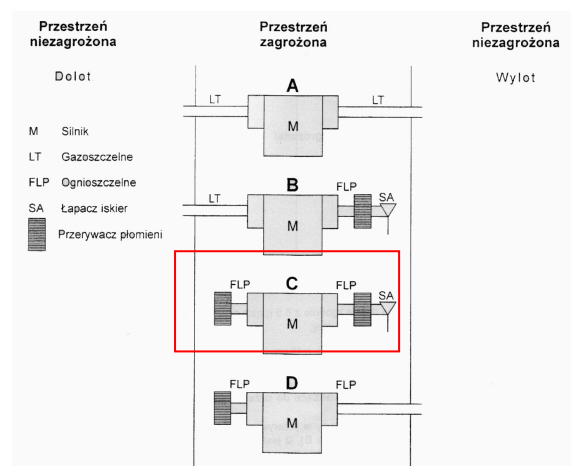


Fig. 3 Accepted solutions of installation of diesel engine [1]

Rys. 3. Dopuszczalne rozwiązania zabudowy silnika spalinowego [1]

Dla napędów spalinowych eksploatowanych w przestrzeniach zagrożonych wybuchem metanu i/lub pyłu palnego, koniecznym jest wyposażenie układu napędowego w system samoczynnego (automatycznego) zatrzymania (wyłączenia) silnika spalinowego przy przekroczeniu nadmiernej prędkości obrotowej, a także samoczynne zatrzymanie lub samoczynne zabezpieczenie silnika w przypadku stanów zagrożeń takich, jak:

- przekroczenie dopuszczalnej temperatury cieczy w układzie chłodzenia silnika spalinowego,
- niedostateczna wartość ciśnienia oleju smarującego,
- zbyt mała ilość cieczy w układzie chłodzenia,
- przekroczenie dopuszczalnej temperatury spalin,
- przekroczenie dopuszczalnej temperatury oleju silnikowego,
- przekroczenie dopuszczalnej temperatury oleju hydraulicznego.

Dodatkowo, w przypadku wystąpienia jednego z wymienionych zagrożeń, układ kontroli powinien sygnalizować to w postaci stanu alarmowego.

Zarówno normalnym, jak i awaryjnym sposobem samoczynnego zatrzymywania silnika powinno być odcięcie dopływu paliwa do układu zasilającego silnik, a ponadto każdy silnik powinien być wyposażony w zawór odcinający dopływ powietrza. Jednym z najważniejszych warunków, koniecznych do spełnienia, przy zastosowaniu silników spalinowych do górniczych napędów spalinowych eksploatowanych w kopalniach węgla, są wymagania dotyczące dopuszczalnej temperatury zewnętrznej powierzchni elementów całego układu napędowego. Według obowiązujących wymagań temperatura powierzchni zewnętrznych wszystkich elementów silnika oraz temperatura spalin emitowanych do atmosfery bezpośrednio za tłumikiem płomieni nie może przekraczać wartości 150°C. Dotyczy to warunków pracy silnika pod pełnym obciążeniem.

4. Wymagana jakość spalin górniczego napędu spalinowego

Wymagania dotyczące napędów spalinowych można rozpatrywać ze względu na dwa aspekty:

- dopuszczalnych wartości emisji substancji toksycznych,
- dopuszczalnych stężeń gazów w powietrzu w podziemnych wyrobiskach.

Silniki spalinowe przeznaczone do pracy w przestrzeniach zagrożonych wybuchem metanu i/lub pyłu węglowego są jednostkami o zapłonie samoczynnym. Wymóg ten zawarto w pkt. 6.16.1 Rozporządzenia Ministra Gospodarki z dnia 28 czerwca 2002 r. (znowelizowanego w 2006 r.) w sprawie bezpieczeństwa i higieny pracy, prowadzenia ruchu oraz specjalistycznego zabezpieczenia przeciwpożarowego w podziemnych zakładach górniczych – Załączniki.

Table 1 Maximal accepted values of emission [9]

Tabela 1. Dopuszczalne wartości emisji [9]

Moc P	Tlenek węgla CO	Węglowodory HC	Tlenki azotu NO _x	Cząstki stałe PM
[kW]	[g/kWh]	[g/kWh]	[g/kWh]	[g/kWh]
37 ≤ P < 75	6,5	1,3	9,2	0,85
75 ≤ P < 130	5,0	1,3	9,2	0,7
130 ≤ P < 560	5,0	1,3	9,2	0,54

Dopuszczalne wartości emisji spalin zawarto w normie PN-EN 1679-1:2000 – Silniki spalinowe tłokowe – Bezpieczeństwo – Silniki o zapłonie samoczynnym. Zapis ten dotyczy silników spalinowych o mocy w zakresie od 37 do 560 kW (tabela 1). Dla silników poniżej 37 kW nie podano wartości granicznych, ponieważ zagrożenia z nimi związane uznano za nieistotne.

Table 2 Maximal accepted values of emission acc. to 97/68/EC Directive [7]

Tabela 2. Dopuszczalne wartości emisji wg Dyrektywy 97/68/WE [7]

Moc	Data wprowadzenia	Tlenek węgla CO	Węglowodory HC	Tlenki azotu NO _x	Cząstki stałe PM
[kW]		[g/kWh]	[g/kWh]	[g/kWh]	[g/kWh]
Stage 3A					
19 ÷ 37	01.2007	5,5	NO _x +HC – 7,5		0,6
37 ÷ 75	01.2008	5,0	NO _x +HC – 4,7		0,4
75 ÷ 130	01.2007	5,0	NO _x +HC – 4,0		0,3
130 ÷ 560	01.2006	3,5	NO _x +HC – 4,0		0,2
Stage 3B					
37 ÷ 56	01.2013	5,0	NO _x +HC – 4,7		0,025
56 ÷ 75	01.2012	5,0	0,19	3,3	0,025
75 ÷ 130	01.2012	5,0	0,19	3,3	0,025
130 ÷ 560	01.2011	3,5	0,19	2,0	0,025

W górniczych napędach spalinowych najczęściej stosowane są silniki przeznaczone do niedrogowych maszyn ruchomych. Wymagania zasadnicze dla tych silników określa Dyrektywa 97/68/WE, tzw. Dyrektywa Spalinowa. Jednostki napędowe wymienione w tej dyrektywie, odnoszące się do tego samego zakresu mocy (jak w tabeli 1), muszą spełniać wymagania odnośnie wartości emisji, jak pokazano w tabeli 2.

Zastosowane w podziemnych wyrobiskach kopalni węgla kamiennego napędy spalinowe emitują do powietrza kopalnianego spaliny

Table 3 Permissible concentration of gases in mine working [12]

Tabela 3. Dopuszczalne stężenie gazów w wyrobisku górniczym [12]

Type of gas	NDS/mg/m ³ (% volume)	NDSch/mg/m ³ (% volume)
Carbon dioxide	- (1.0)	- (1.0)
Carbon monoxide	30 (0.0026)	180 (0.015)
Nitrogen oxide	5 (0.00026)	10 (0.00052)
Sulphur dioxide	2 (0.000075)	5 (0.0019)
Hydrogen sulfide	10 (0.0007)	20 (0.0014)

zawierające toksyczne składniki. Należy mieć na uwadze, że zgodnie z §187 p. 2 Rozporządzenia Ministra Gospodarki z dnia 28 czerwca 2002 r. w sprawie bezpieczeństwa i higieny pracy, prowadzenia ruchu oraz specjalistycznego zabezpieczenia przeciwpożarowego w podziemnych zakładach górniczych:

ilość powietrza doprowadzona do wyrobisk powinna zapewniać utrzymanie w tych wyrobiskach wymaganego

składu powietrza i temperatury,

wszystkie dostępne wyrobiska i pomieszczenia przewietrza się w taki sposób, aby zawartość tlenu w powietrzu nie była mniejsza niż 19% (objętościowo), a najwyższe dopuszczalne stężenia gazów w powietrzu nie przekraczały wartości określonych w tabeli 3.

Mając na uwadze warunki wentylacyjne występujące w podziemnych wyrobiskach, wynikające z aktualnej sytuacji w poszczególnych kopalniach oraz konieczność podporządkowania się wymogom odnośnie zachowania określonych stężeń poszczególnych gazów w powietrzu kopalnianym, niezbędnym staje się podejmowanie działań zmierzających do znaczącego obniżenia emisji substancji z napędów spalinowych stosowanych w podziemiach kopalń.

5. Specyfika napędu spalinowego eksploatowanego w wyrobiskach węgla kamiennego

Do napędu urządzeń spalinowych wykorzystuje się tzw. górniczy napęd spalinowy (rys. 4), w skład którego oprócz silnika wchodzi układ dolotowy, wylotowy oraz paliwowy. Układ taki stanowi całość i jest jako taki poddawany odpowiednim badaniom.

Jak wspomniano wcześniej, w chwili obecnej nie ma na rynku fabrycznych silników przeznaczonych do pracy w wyrobiskach górniczych kopalń węgla kamiennego. W związku z tym producenci maszyn górniczych prowadzą działania mające na celu dostosowanie dostępnych jednostek silnikowych do wymagań górniczych. Na tym obszarze możemy wyróżnić dwa kierunki działań polegające na:

- adaptacji silników dedykowanych do maszyn budowlanych
- adaptacji silników dedykowanych do jednostek pływających.

W pierwszym przypadku wymagane są duże ingerencje w konstrukcję silnika, w ramach których wymagane jest zabezpieczenie powierzchni, których temperatura przekracza dopuszczalne wartości. Sprowadza się to głównie do zabudowy nowego kolektora wylotowego oraz zabezpieczenia turbosprężarki. W związku z tym w większości przypadków alokacji ulega turbosprężarka, co w efekcie wpływać może na parametry pracy silnika.

Rozwiązanie polegające na zastosowaniu silników dla jednostek pływających (drugi przypadek) wynika z podobieństwa warunków pracy silnika eksploatowanego na statku oraz w wyrobisku górniczym. Jednym z podstawowych

zagrożeń możliwych do wystąpienia na jednostkach pływających jest zagrożenie pożarem. To zagrożenie zalicza się również do jednych z najniebezpieczniejszych w górnictwie. W związku z tym silnik taki (np. BF4M1013M) jest wyposażony w odpowiedniej konstrukcji zespoły

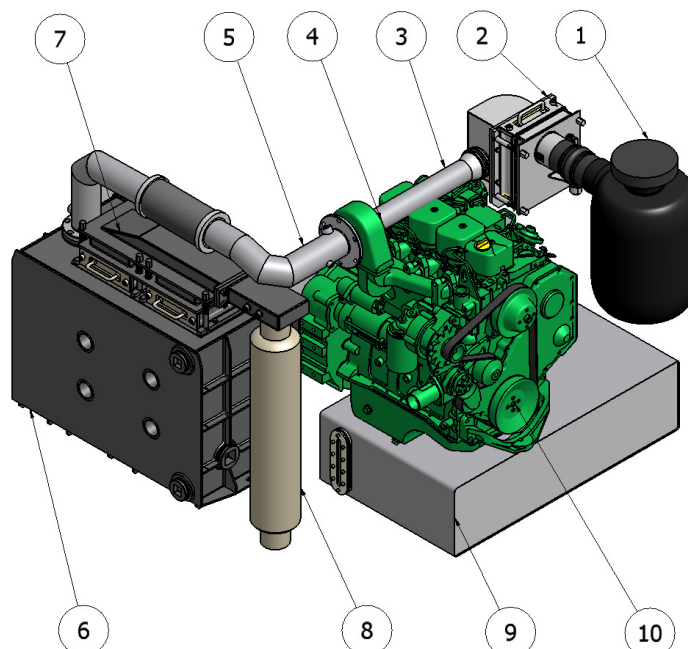


Fig. 4 Model of diesel drive [3], 1 – Air filter, 2 – Flame arrester in inlet system, 3 – Inlet hose, 4 – Turbocharger, 5 – Exhaust gases outlet hose, 6 – Water exhaust gases Nasher, 7 – Flame arrester in exhaust system with exhaust manifold, 8 – Spark arrester, 9 – Fuel tank, 10 – ZS diesel engine

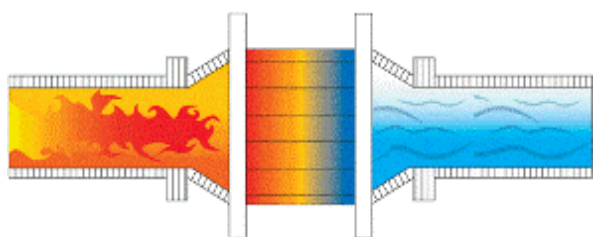
Rys. 4. Model górniczego napędu spalinowego [3], 1 – Filtr powietrza, 2 – Przerwywacz płomieni układu dolotowego, 3 – Przewód dolotowy, 4 – Turbosprężarka, 5 – Przewód wylotu spalin, 6 – Wodna płuczka spalin, 7 – Przerwywacz płomieni układu wylotowego z kolektorem zbiorczym, 8 – Iskrochron, 9 – Zbiornik paliwa, 10 – Silnik spalinowy ZS

zabezpieczające zewnętrzne powierzchnie silnika przed osiągnięciem nadmiernej temperatury. W przypadku silnika BF4M1013M są to kolektor wylotowy oraz turbosprężarka wyposażone w tzw. płaszcz wodny. W tym przypadku pozostałe działania adaptacyjne nie wpływają na konstrukcję silnika.

Silnik wraz z układem dolotowym oraz wylotowym stanowią tzw. dolotowo-wylotowy układ ognioszczelny (PN-EN 1834-2:2002). Najistotniejszymi elementami tego układu są przerwywacze płomienia zarówno dolotowe, jak i wylotowe. Zadaniem przerwywaczy jest zabezpieczenie przed przedostaniem się płomieni z części ognioszczelnej do otaczającej atmosfery (rys. 5).

Przerwywacz płomienia wykorzystuje gaszące właściwości szczeliny powietrznej. Ze względu na sposób uzyskania takiej szczeliny, spotykamy w górniczych napędach spalinowych następujące rodzaje przerwywaczy:

- płytkowe (kasetowe),
- blachowe,
- kulkowe.



Flame-proof part | Flame arrester | External atmosphere

Fig. 5. Flame arrester's principle of operation
Rys. 5. Zasada działania przerywacza płomienia

Przerywacze płytkowe nazywane popularnie kasetowymi (ze względu na zewnętrzną budowę) składają się z pakietu płytek stalowych. Przejście ognioszczelne stanowią szczeliny pomiędzy płytkami. Istotnymi parametrami przerywacza są: szerokość szczeliny „S” oraz jej długości „L”. Budowę przerywacza kasetowego pokazano na rysunku 6. Badania wykazały, że przerywacze płomienia powodują duże opory przepływu [3],

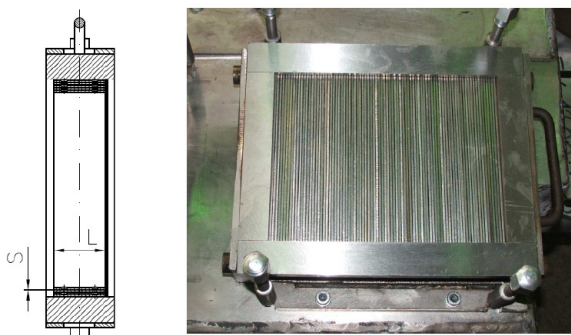


Fig. 6 Design of the cassette flame arrester [1]
Rys. 6. Budowa przerywacza kasetowego [1]

dlatego też w celu zmniejszenia tego niekorzystnego skutku, płytki dodatkowo są polerowane uzyskując, uzyskując w ten sposób niską chropowatość powierzchni.

Rozwiązanie przerywaczy kasetowych jest popularnie stosowane w krajowych napędach górniczych. Przede wszystkim ze względu na proste rozwiązanie oraz łatwe ich czyszczenie. Problem stanowi znaczna waga takich przerywaczy. Wynika ona z grubości płytek zastosowanych przy ich budowie. Jest to jednak niezbędne, by zachować odpowiednią sztywność. Analogicznym do rozwiązania płytkowego jest rozwiązanie blachowe. Rdzeń takiego przerywacza jest okrągły, a składa się on z zwiniętego spiralnie układu dwóch blach, przy czym jedna jest płaska a druga odpowiednio falista. Spiralnie zwinięcie takiego układu

powoduje powstanie szczelin posiadających własności ognioszczelne. Rozwiązanie to jest szeroko stosowane w przemyśle, w szczególności rafineryjnym, gdzie przerywacze takie zbudowane są w rurociągach. W porównaniu z kasetowymi przerywaczami, przerywacze blachowe uzyskują wyższe pole przepływu gazów w stosunku do całkowitego pola poprzecznego przerywacza, co skutkuje odpowiednio niższą masą całego elementu. Problem stanowi czyszczenie, ponieważ takie przerywacze praktycznie są nierozbieralne. Całkowicie odmiennym rodzajem przerywacza są przerywacze kulkowe. Odpowiednią liczbą szklanych kulek o określonej średnicy, zamkniętych pomiędzy dwoma perforowanymi blachami tworzy szczelinę ognioszczelną. Spaliny powstałe w procesie spalania są odprowadzane poprzez układ wylotowy, którego pierwszym elementem jest przewód wylotowy spalin (poz. 5 rys. 4). Przewód ten posiada tzw. płaszcz wodny, który zabezpiecza powierzchnię zewnętrzną przed przekroczeniem wartości temperatury powyżej 150°C oraz obniża wstępnie temperaturę samych spalin. Podstawowym zespołem służącym do obniżenia temperatury spalin jest płuczka wodna (poz. 6 rys. 4). Mokra płuczka spalin przeznaczona jest głównie do schładzania spalin oraz wychwytywania cząstek stałych (sadzy; redukcja o około 20%). Przyjmuje się jednak, że w trakcie kąpieli wodnej część toksycznych składników spalin reaguje chemicznie z wodą, „wytrącając się” ze strumienia spalin. Według [6] wodne płuczki spalin, w zależności od konstrukcji, mogą usuwać 50÷80% SO₂ i do 20% węglowodorów. Z tego względu, w trakcie czyszczenia wodę ze płuczki spalin należy poddać utylizacji. Niedogodnością stosowania wodnej płuczki spalin jest konieczność okresowego uzupełniania wody, gdyż parująca woda uchodząca z płuczki obniża skuteczności jej działania. Wskazane jest stosowanie płuczek o możliwie największej pojemności oraz układów dodatkowego odprowadzania ciepła poprzez korpus. Takie działania wpływają z kolei negatywnie na elastyczność całego napędu ze względu na jego rosnące gabaryty. Użytkownik winien dbać o utrzymanie wymaganego poziomu wody w płuczce i jej okresowe czyszczenie, ponieważ parująca woda zabiera ze sobą również czynniki szkodliwe, emitując je do otaczającej atmosfery. Potencjalne zagrożenie inicjacji wybuchu stanowi również przestrzeń skrzyni korbowej, jak i klawiatury silnika, dlatego przestrzenie te wymagają także zabezpieczenia poprzez zastosowanie układów przerywaczy na drodze połączenia z atmosferą. Ostatnim elementem bezpieczeństwa układu wylotowego jest łapacz iskier (poz. 8 rys. 4). Wyróżniamy ich dwa rodzaje: mokry i suchy. Przykładem mokrego

łapacza jest płuczka wodna, jednakże obniżający się w trakcie eksploatacji poziom wody nie gwarantuje skuteczności. Kontrola poziomu wody jest również utrudniona z powodu burzliwych procesów w trakcie przechodzenia spalin przez kąpiel wodną. W rozwiązaniu pokazanym na rysunku 4 zastosowano suchy łapacz iskier, którego działanie polega na zawirowaniu spalin.

6. Górnicze urządzenia transportowe zgodne z ATEX polskiej konstrukcji

W ramach prowadzonej współpracy KOMAG-u z firmami: FMG PIOMA S.A., RFM RYFAMA S.A., ENERGO-MECHANIK Sp. z o.o. oraz firmą VACAT Sp. z o.o. powstało szereg rozwiązań urządzeń transportowych zasilanych silnikami spalinowymi dla górnictwa węgla kamiennego, np:

- Szynowa kolej podziemna - SKZ-81,
- Podwieszony ciągnik spalinowy - PIOMA CS 80,
- Lokomotywa dołowa spalinowa - PIOMA LDS 80,
- Spalinowa kolej spągowa - PIOMA-VACAT,
- Lokomotywa dołowa spalinowa - Lds-100K-EMA.

Innowacyjnym rozwiązaniem, niespotykanym dotychczas w polskim górnictwie, jest ciągnik SKZ-81. Do napędu wykorzystano silnik spalinowy o mocy 80kW. Podstawowym założeniem przy opracowaniu tej kolei było zapewnienie możliwości transportu ładunków (w tym kompletnych sekcji obudowy zmechanizowanej) bezpośrednio od podszybia, aż do wyrobiska ścianowego bez konieczności przeładunku. Mając na uwadze obniżenie kosztów wykonania trasy, postawiono za cel wykorzystanie istniejących torowisk kopalnianych, dobudowując na odcinkach nachylonych listwę zębatą. W związku z tym kolej wyposażono w dwa napędy:

- adhezyjny do jazdy na poziomych odcinkach trasy,
- zębaty do jazdy w wyrobiskach nachylonych do 30°.

Podwójny system napędu rozwiązano w ten sposób, że zespół silnika spalinowego oraz zespół pompy jest wspólny dla obu układów wykonawczych, to jest dla napędu zębatkowego i dla napędu szynowego[4].

Lokomotywa PIOMA LDS 80, podobnie jak Ciągnik SKZ-81, posiada hydrostatyczny układ napędowy. W układzie takim moment napędowy z silnika spalinowego przenoszony jest bezpośrednio na pompę hydrauliczną, która napędza silniki hydrauliczne wózków kołowych. Rozwiązanie takie

przy zastosowaniu odpowiedniego sterowania umożliwia pracę silnika spalinowego w optymalnych parametrach.



Fig. 7 SKZ-81 railway with a dual drive

Rys. 7. Kolej SKZ-81 z podwójnym systemem napędowym

Lokomotywa PIOMA LDS 80 zbudowana jest z trzech modułów połączonych z sobą w sposób umożliwiający wzajemne przemieszczanie względem osi przegubów. Moduły lokomotywy to:

- wózek napędowy, w skład którego wchodzi rama, przekładnie wraz z silnikami i hamulcami hydraulicznymi oraz kołami jezdnyymi,
- dwie kabiny maszynisty z utwierdzonymi zderzakami; każda kabina połączona jest z wózkiem napędowym za pomocą sworzni,
- przedział silnikowy z zaadaptowanym z kolei podwieszanej PIOMA CS 80 agregatem spalinowo-hydraulicznym utwierdzonym w saniach łączących ze sobą zespoły napędowe.

Przykładem klasycznego zastosowania górniczego na napędu spalinowego jest lokomotywa dołowa spalinowa Lds-100K-EMA. Lokomotywa ta jest przeznaczona do prac transportowych i manewrowych w podziemnych kopalniach węgla, rud, soli i innych minerałów użytkowych w pomieszczeniach ze stopniem „a”, „b” i „c” niebezpieczeństwa wybuchu metanu oraz klas „A” i „B” zagrożenia wybuchem pyłu węglowego. W układzie napędowym silnik spalinowy, połączony jest na sztywno z przekładnią hydrokinetyczną, która napędza poprzez przekładnię rewersyjną przednią oraz tylną przekładnię kątową. Wały główne przekładni kątowych są jednocześnie osiami zestawów kołowych.



Fig. 8 PIOMA LDS 80 underground diesel locomotive [1]

Rys. 8. Lokomotywa dołowa spalinowa PIOMA LDS 80 [1]



Fig. 9 Lds-100K-EMA locomotive in underground conditions [2]

Rys. 9. Lokomotywa Lds-100K-EMA w warunkach dołowych [2]

7. Podsumowanie

W ostatnich latach nastąpiło znaczące zwiększenie liczby górniczych napędów spalinowych w górnictwie węgla kamiennego. Prognozowany jest dalszy wzrost zastosowań napędów tego typu, w szczególności w urządzeniach transportu pomocniczego. W przypadku atmosfery potencjalnie wybuchowej, silnik wraz z układem dolotowym i wylotowym musi być podporządkowany wymaganiom Dyrektywy ATEX. Spełnienie tych zaleceń powoduje znaczne zwiększenie gabarytów oraz masy tych układów i nie wpływa korzystnie na warunki pracy silnika, wywołując zwiększenie oporów przepływu, czego przyczyną są głównie przerywacze płomienia. Pomimo wielu zalet napędy te powodują negatywne oddziaływanie na warunki środowiskowe, głównie w postaci emisji

spalin (a zwłaszcza zawartych w nich toksycznych składników).

Instytut Techniki Górniczej KOMAG stale wprowadza modyfikacje przyczyniające się do poprawy warunków i jakości eksploatacji oferowanych maszyn, jak również zwraca baczną uwagę na zagadnienia związane z bezpieczeństwem eksploatacji. Opisany powyżej i stosowany obecnie górniczy napęd spalinowy spełnia obowiązujące wymagania stawiane tego typu urządzeniom, przy czym istnieje w nim znaczny potencjał rozwojowy umożliwiający poprawę jego właściwości konstrukcyjnych i eksploatacyjnych takich jak: zmniejszenie masy i gabarytów zespołu, ułatwienie czynności obsługowych, zmniejszenie zagrożeń wynikających z jego eksploatacji.

Obecnie przez KOMAG prowadzone są działania dotyczące górniczych napędów spalinowych w trzech płaszczyznach:

- obniżanie negatywnych skutków oddziaływania napędu spalinowego na środowisko kopalniane w wyrobisku,
- zwiększenie sprawności całego napędu górniczego w zakresie wykorzystania traconej energii cieplnej,
- -analiza wzajemnych oddziaływań silnik-układ przeniesienia napędu.

Należy podkreślić, że górnicze napędy spalinowe, pracują w zamkniętych pomieszczeniach, jakimi są wyrobiska kopalń, korzystają przy tym z tego samego zasobu powietrza, z jakiego korzysta załoga kopalni.

Bibliography/Literatura

- [1] Brzeżański M., Pieczora E., Kaczmarczyk K.: Rozwiązania napędów spalinowych do zastosowań w wyrobiskach podziemnych węgla kamiennego. „Silniki Spalinowe” 3/2010 (142).
- [2] Dobrzaniecki P., Suffner H., Budzyński Z.: Nowoczesne lokomotywy dołowe produkcji Energo-Mechanik Sp. z o. o., „Transport przemysłowy” 3(29)/2007.
- [3] Dobrzaniecki P.: „Badania napędu spalinowego w aspekcie wybranych parametrów pracy”, sprawozdanie z realizacji pracy statutowej E33/EG-05836, niepublikowane, KOMAG 2009.
- [4] Drwięga A., Pieczora E., Suffner H.: Nowe rozwiązania górniczych urządzeń transportowych z napędem spalinowym. Monografia KOMTECH 2007: „Innowacyjne i bezpieczne maszyny i urządzenia dla górnictwa węgla kamiennego”, Szczyrk 2007.
- [5] Jaszczuk M., Kozieł A.: „Scenariusze rozwoju technologicznego mechanizacji podstawowych procesów produkcyjnych w górnictwie węgla kamiennego”, KOMAG, Gliwice 2008.
- [6] Kaczmarczyk K., Dobrzaniecki P.: Wybrane metody oczyszczania spalin możliwe do zastosowania w górniczych napędach spalinowych. Monografia KOMTECH 2010: „Paliwo - Bezpieczeństwo - Środowisko” Ryto 2010.
- [7] Merkisz J., Lijewski P., Wasali S.: Analiza warunków pracy silników pojazdów o zastosowaniach pozadrgowych w aspekcie przepisów dotyczących emisji związków toksycznych spalin. „Eksploatacja i Niezawodność” nr 1/2010.
- [8] Nasiek M.: Napędy spalinowe w pomocniczym transporcie kopalnianym.

-
- „Automatyzacja i Mechanizacja Górnictwa”
Nr 4(149) kwiecień 1981r.
- [9] PN-EN 1679-1:2000 Silniki spalinowe tłokowe – Bezpieczeństwo – Silniki o zapłonie samoczynnym.
- [10] Pieczora E.: „Doskonalenie napędów spalinowych maszyn i urządzeń górniczych, sprawozdanie z realizacji pracy statutowej E/BD-7774, niepublikowane, KOMAG 1999.
- [11] Pieczora E.: Napęd spalinowy do pojazdów górniczych eksploatowanych w podziemnych wyrobiskach zagrożonych wybuchem pyłu i metanu. Materiały konferencyjne „Napędy i sterowanie” 2001.
- [12] Rozporządzeniu Ministra Gospodarki z dnia 28 czerwca 2002 w sprawie bezpieczeństwa i higieny pracy, prowadzenia ruchu oraz specjalistycznego zabezpieczenia przeciwpożarowego w podziemnych zakładach górniczych (Dz. U. Nr 139, poz. 1169) wraz ze zmianą wprowadzoną rozporządzeniem Ministra Gospodarki z dnia 9 czerwca 2006 r. (Dz. U. Nr 124, poz. 863).
- [13] Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 20 grudnia 2005 r. w sprawie zasadniczych wymagań dla maszyn i elementów bezpieczeństwa (Dz.U. Nr 259, poz. 2170).
- [14] Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 22 grudnia 2005 r. w sprawie zasadniczych wymagań dla urządzeń i systemów ochronnych przeznaczonych do użytku w przestrzeniach zagrożonych wybuchem (Dz.U. z 2005 r. nr 263, poz. 2203) .
- [15] Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 19 sierpnia 2005 r. w sprawie szczegółowych wymagań dla silników spalinowych w zakresie ograniczenia emisji zanieczyszczeń gazowych i cząstek stałych przez te silniki (Dz.U. Nr 202, poz. 2203).
- [16] Szlązak J., Szlązak N.: Zastosowanie układu CoZSM-5 jako katalizatora ograniczającego emisję tlenków azotu z maszyn górniczych. „Szkoła Eksploatacji Podziemnej” Kraków 2005.
- [27] Szlązak N., Borowski M.: Wentylacyjne aspekty stosowania maszyn z silnikami spalinowymi w kopalniach podziemnych. „Szkoła Eksploatacji Podziemnej” Kraków 2002.

Mr Krzysztof Kaczmarczyk, DEng. –
KOMAG Institute of Mining Technology,
Gliwice

*Mgr inż. Krzysztof Kaczmarczyk –
Instytut Techniki Górniczej KOMAG,
Gliwice*

e-mail:Kaczmarczyk@komag.eu.

