

Dostosowanie silnika spalinowego z układem wtryskowym common rail górniczej maszyny roboczej do obowiązujących wymagań i przepisów

dr inż. Piotr Dobrzaniecki
Instytut Techniki Górniczej KOMAG

Streszczenie:

W niniejszym artykule przybliżono problematykę związaną z wprowadzeniem do eksploatacji oraz bezpiecznym użytkowaniem maszyny roboczej wyposażonej w wysokoprężny silnik spalinowy z układem common rail. Przedstawiono wymagania prawne odnośnie pozadrogowych maszyn roboczych z napędem spalinowym oraz odniesiono się do wymagań stawianych pojazdom z napędem spalinowym, przeznaczonym do pracy w podziemiach kopalń, ze szczególnym uwzględnieniem stref zagrożonych wybuchem metanu i/lub pyłu węglowego. Scharakteryzowano źródła potencjalnych zagrożeń oraz przewidywany sposób ich neutralizacji w procesie dostosowania silnika spalinowego do wymogów prawnych.

Słowa kluczowe: wysokoprężny silnik spalinowy, silnik z układem zasilania common rail, dyrektywa spalinowa, etap IV, przestrzeń zagrożona wybuchem

Keywords: diesel engine, engine with common rail injection system, diesel directive, stage IV, potentially explosive atmosphere

Abstract:

Problems associated with commercialization and safe use of the machine equipped with diesel engine with common rail system are presented. Legal requirements regarding the machines with diesel drive, which operate off the roads, are given and referred to the requirements for vehicles with diesel drive designed for operation in mine undergrounds, with special attention paid to the areas threatened by methane and/or coal dust explosion hazard. Sources of potential hazards and planned method for their elimination by adaptation of diesel engine to the legal requirements are characterized.

1. Wstęp

Obecnie stosowane maszyny robocze z napędem spalinowym są wyposażane w wysokoprężne silniki z elektronicznie sterowanym układem wtryskowym, najczęściej układem common rail. Jest to konsekwencja rosnących wymagań zarówno w odniesieniu do zapotrzebowania na moc silnika, jak również ze względu na aspekty ekologiczne, związane z emisją spalin. Zastosowanie w silniku spalinowym układu zasilania typu common rail zapewnia osiągnięcie poziomu emisji etapu IIIA. Jednak ze względu na wymagania tzw. *dyrektywy spalinowej* [3] niezbędne jest, na dzień dzisiejszy, zapewnienie emisji na poziomie etapu IV ww. dyrektywy. W efekcie należy dodatkowo zastosować system pozaukładowej obróbki spalin w postaci katalizatora oraz filtra cząstek stałych. Rozwiązania tego typu są znane i powszechnie stosowane w pozadrogowych maszynach roboczych. Trudności techniczne pojawiają się gdy istnieje potrzeba zastosowania napędu spalinowego z układem obróbki spalin w przestrzeniach zagrożonych wybuchem palnych pyłów i/lub gazów. Przykładem takiego środowiska pracy są m.in. podziemia kopalń węgla kamiennego, gdzie zagrożenie stanowią pył węglowy oraz metan. W niniejszym artykule poruszono problematykę wprowadzenia i bezpiecznej eksploatacji nowoczesnego napędu spalinowego maszyny roboczej, w odniesieniu do obowiązujących przepisów, ze szczególnym uwzględnieniem stref zagrożonych wybuchem. Zagadnienie omówiono na przykładzie rozwiązań stosowanych na powierzchni oraz w podziemnych wyrobiskach, w tym w przestrzeniach zagrożonych wybuchem metanu i/lub pyłu węglowego. Szczegóły zostały omówione w dalszej części artykułu.

2. Przepisy prawne dotyczące zastosowania maszyn roboczych z napędem spalinowym

W ustawodawstwie polskim obowiązuje dyrektywa 97/68/WE [3] z dnia 16 grudnia 1997 r., wdrożona Rozporządzeniem Ministra Gospodarki z dnia 30 kwietnia 2014, ze zmianami wprowadzonymi m.in. dyrektywą 2012/46/UE. Wymienione dyrektywy regulują kwestie związane z ograniczeniem emisji zanieczyszczeń gazowych i pyłowych z silników spalinowych montowanych w maszynach samojezdnych nieporuszających się po drogach. Ograniczenia związane z emisją substancji toksycznych obecnych w spalinach nie wyczerpują jednak wszystkich aspektów bezpieczeństwa stosowania maszyn roboczych z napędem spalinowym. W przypadku pracy w przestrzeniach zagrożonych wybuchem palnych pyłów i/lub gazów kluczowe staje się zabezpieczenie przeciwwybuchowe poszczególnych zespołów napędu.

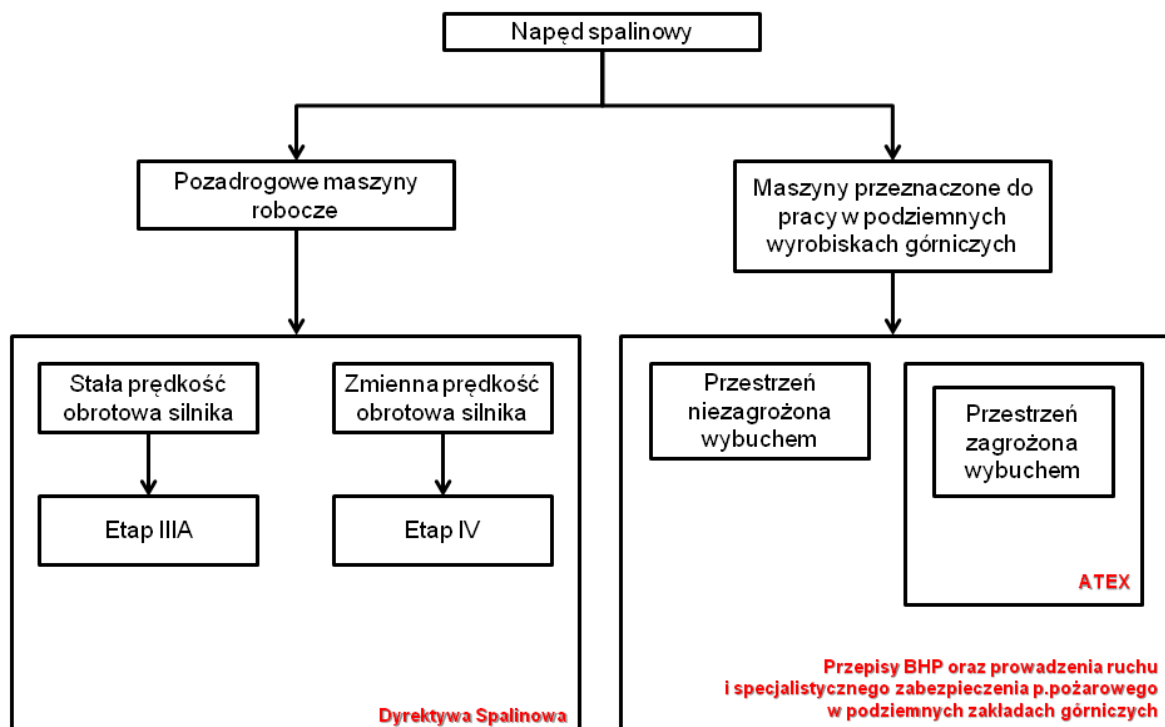
Jak wspomniano we wstępie, spełnienie wymagań obowiązujących przepisów dla napędów spalinowych można rozpatrywać w dwóch aspektach dotyczących:

- powierzchniowych maszyn roboczych z napędem spalinowym,
- maszyn roboczych przeznaczonych do pracy w podziemnych wyrobiskach zakładów górniczych.

W zakresie maszyn eksploatowanych w podziemiach kopalń można wyróżnić wyrobiska:

- niezagrożone występowaniem atmosfery potencjalnie wybuchowej,
- zagrożone wybuchem metanu i/lub pyłu węglowego.

W zależności od docelowego miejsca pracy maszyny roboczej obowiązują akty prawne wg zależności pokazanej na rysunku 1.



Rys. 1. Przepisy dotyczące maszyn przeznaczonych do stosowania w wybranych miejscach pracy [1, 3, 2]

Oznacza to, że w przypadku wprowadzania do obrotu pozadrogowej maszyny roboczej wyposażonej w napęd spalinowy, należy spełnić wymagania określone w dyrektywie [3].

W zależności od reżimu pracy silnika spalinowego obowiązują różne kryteria [3]:

- a) emisja etapu IIIA, w przypadku silnika pracującego z regulatorem jednozakresowym,
- b) emisja etapu IV, w przypadku silnika pracującego z regulatorem dwuzakresowym lub wielozakresowym.

Stała prędkość obrotowa stanowi przypadek, gdy silnik spalinowy, wyposażony w regulator jednozakresowy, pracuje np. jako napęd generatora elektrycznego w agregacie lub w napędzie spalinowo-elektrycznym. Zmienna prędkość obrotowa realizowana jest przy użyciu regulatora dwuzakresowego lub wielozakresowego, wykorzystywanego w przypadku maszyn, w których sterowanie dawką paliwa i szybkością biegu silnika realizowane jest przez maszynistę lub kierowcę. Należy jednak pamiętać, że wymagania zawarte w [1, 3, 2] nie stanowią jedynych kryteriów, a dotyczą jedynie oceny możliwości zastosowania napędu spalinowego z uwagi na jego cechy konstrukcyjne oraz osiągane parametry użytkowe. Jednak w omawianych zastosowaniach napędu spalinowego są kluczowe i w dalszej części artykułu będą stanowiły tło rozważań.

Z punktu widzenia przepisów zawartych w [1], napęd spalinowy w przestrzeni podziemnego wyrobiska, nie może pogorszyć wymaganego składu powietrza w wyrobisku, ze szczególnym uwzględnieniem najwyższych dopuszczalnych stężeń gazów, jak pokazano w tabeli 1.

Najwyższe dopuszczalne stężenia gazów w powietrzu wyrobisk podziemnych [1]

Tabela 1

Rodzaj gazu	NDS / mg/m ³ (objętościowo i %)	NDSch / mg/m ³ (objętościowo i %)
Dwutlenek węgla	– (1,0)	– (1,0)
Tlenek węgla	30 (0,0026)	180 (0,015)
Tlenek azotu	5 (0,00026)	10 (0,00052)
Dwutlenek siarki	20 (0,00075)	50 (0,0019)
Siarkowodór	10 (0,0007)	20 (0,0014)

Z kolei z uwagi na dyrektywę ATEX w zakresie niebezpieczeństwa wybuchu metanu i/lub pyłu węglowego, wymagania wobec silnika wraz z niezbędnym wyposażeniem można sprowadzić do następujących:

- ograniczenie temperaturowe którejkolwiek z powierzchni mogących mieć styczność z atmosferą wybuchową – niedopuszczalne jest przekroczenie wartości 150°C,
- zastosowanie osłon przeciwybuchowych o odpowiednim stopniu ochrony w odniesieniu do urządzeń, które będą zabezpieczać.

W dalszej części artykułu przedstawiono wytyczne zaczerpnięte z dyrektywy spalinowej oraz obszar prac, które będą musiały zostać zrealizowane w odniesieniu do zespołu silnikowego.

3. Normy emisji Etapów IIIA, IIIB oraz IV

W odniesieniu do silników spalinowych, zasadnicze wymagania, które musi spełnić producent chcąc wprowadzić produkt na rynek, zawarto w tzw. dyrektywie spalinowej [3]. W dyrektywie określone zostały m.in. graniczne wartości emisji, charakterystyczne dla poszczególnych etapów oraz daty wprowadzenia ich w życie.

Graniczne wartości emisji składników spalin dla wprowadzanych etapów dyrektywy spalinowej [3, 1]

Tabela 2

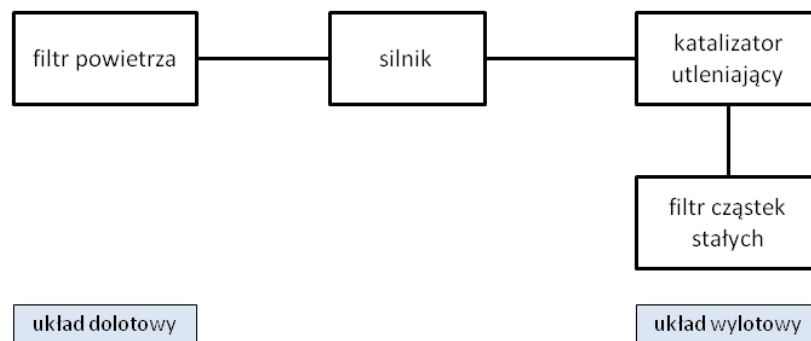
Moc netto P [kW]	Tlenek węgla CO [g/kWh]	Suma węglowodorów i tlenków azotu HC + NO _x [g/kWh]	Węglowodory HC [g/kWh]	Tlenki azotu NO _x [g/kWh]	Cząstki stałe PT [g/kWh]
Etap IIIA					
Data wprowadzenia Etapu IIIA dla kategorii 75÷130 – 31 grudnia 2005					
75 ≤ P < 130	5,0	4,0	-	-	0,3
Data wprowadzenia Etapu IIIA dla kategorii 130÷560 – 31 grudnia 2006					
130 ≤ P ≤ 560	3,5	4,0	-	-	0,2
Etap IIIB					
Data wprowadzenia Etapu IIIB dla kategorii 75÷130 – 31 grudnia 2010					
75 ≤ P < 130	5,0	-	0,19	3,3	0,025
Data wprowadzenia Etapu IIIB dla kategorii 130÷560 – 31 grudnia 2011					
130 ≤ P ≤ 560	3,5	-	0,19	2,0	0,025
Etap IV					
Data wprowadzenia Etapu IV dla kategorii 75÷130 – 31 grudnia 2013					
56 ≤ P < 130	5,0	-	0,19	0,4	0,025
Data wprowadzenia Etapu IV dla kategorii 130÷560 – 30 września 2014					
130 ≤ P ≤ 560	3,5	-	0,19	0,4	0,025

Zgodnie z powyższym silnik wprowadzany na rynek musi spełniać normę Etapu IV, co wymaga zastosowania dodatkowych urządzeń w układzie wylotowym silnika. Należy jednak mieć na uwadze, że spełnienie norm Etapu IV związane jest zarówno z samym silnikiem i jego układem zasilania, jak również z pozaukładową obróbką spalin. Problematyka dostosowania zespołu silnikowego związana jest więc z opracowaniem takich rozwiązań technicznych, by silnik spalinowy wprowadzony na rynek, mógł być bezpiecznie eksploatowany w przestrzeniach wyrobisk górniczych, również tych potencjalnie zagrożonych wybuchem.

W dalszej części artykułu została omówiona problematyka związana z wprowadzeniem zespołu silnika spalinowego, spełniającego Etap IV dyrektywy spalinowej do przestrzeni zagrożonej wybuchem, zwłaszcza do podziemnych wyrobisk górniczych.

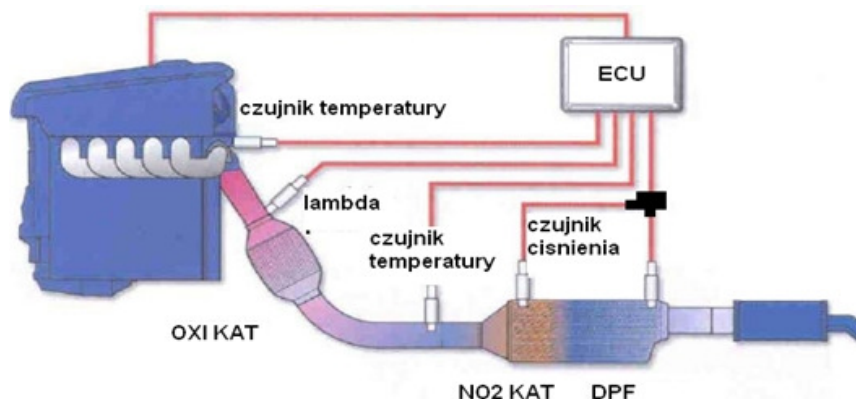
4. Dostosowanie zespołu silnikowego common rail przeznaczonego do pracy w przestrzeniach zagrożonych wybuchem

Jak wspomniano wcześniej można wyróżnić dwie grupy wymagań dotyczących silników spalinowych eksploatowanych w atmosferze podziemnych wyrobisk górniczych. Wymagania zawarte w [1, 3, 2] pozwalają na stwierdzenie, że wprowadzenie nowego silnika spalinowego, rozwijającego moc powyżej 56 kW do zagrożonej wybuchem przestrzeni wyrobiska górniczego sprowadza się de facto do dostosowania wyposażenia elektrycznego oraz układu obróbki spalin do wymagań dyrektywy ATEX. Powstaje zatem zagadnienie techniczno-technologiczne, polegające na odpowiedniej modyfikacji wyposażenia silnika, pozwalającego zachować wymagane poziomy emisji spalin zgodnie z dyrektywą spalinową. Aby je zrealizować koniecznym jest zastosowanie silnika z układem zasilania typu common rail. Układ sterowania systemu common rail pozwala na precyzyjne dozowanie paliwa do komory spalania. Aktualnie obowiązujący Etap IV dyrektywy wymaga, by w układzie wylotowym silnika znalazły się elementy, pokazane na rysunku 2.



Rys. 2. Elementy układu dolotowo-wylotowego silnika spełniającego wymagania Etapu IV dyrektywy spalinowej [opracowanie własne]

W ogólnym przypadku zagadnienie dostosowania dodatkowego wyposażenia w układzie wylotowym silnika można sprowadzić do opracowania izolacji termicznej, jednak w układzie obróbki spalin występują również elementy wyposażenia elektrycznego. Na rysunku 3 przedstawiono schemat typowego układu oczyszczania spalin stosowanego w pojazdach samochodowych.



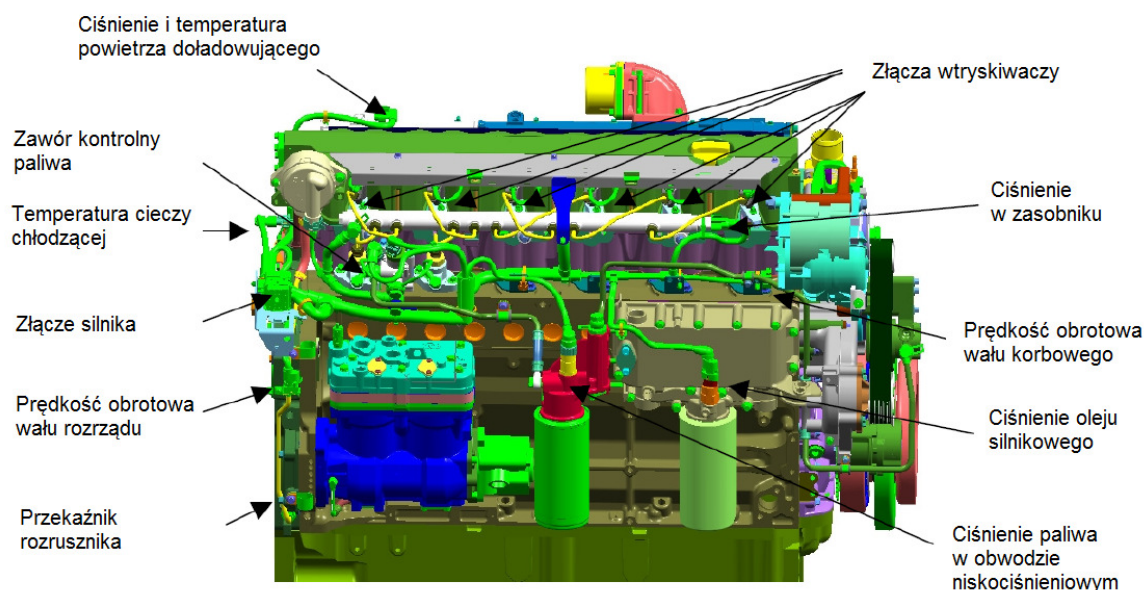
Rys. 3. Schemat układu oczyszczania spalin [7]

W przedstawionym układzie, w zakresie wyposażenia elektrycznego, można wyróżnić czujniki temperatury oraz czujniki ciśnienia przed i za filtrem cząstek stałych, odpowiedzialne za pomiar różnicy ciśnień (Δp). Pojawia się więc konieczność zabezpieczenia ich z uwagi na warunki pracy w atmosferze potencjalnie wybuchowej.

Oprócz układu obróbki spalin mamy również rozbudowane wyposażenie samego silnika, na które składają się m.in.:

- układ wtryskowy silnika,
- zestaw czujników zabudowanych w konstrukcji silnika,
- sterownik.

Przykład wyposażenia elektrycznego silnika przedstawiono na rysunku 4.



Rys. 4. Wyposażenie elektryczne silnika spalinowego na przykładzie jednostki TCD 2013 L06 2V [4]

Kompletacja wyposażenia elektrycznego silnika wynika w głównej mierze z zastosowanego układu zasilania. Układ zasilania common rail wymaga bardzo precyzyjnego sterowania, co wymusza obecność mikroprocesorowego sterownika, czujników dostarczających informacji do sterownika o stanie silnika oraz instalacji elektrycznej łączącej cały system. Za proces wtrysku odpowiadają z kolei wtryskiwacze, które również są sterowane przez jednostkę mikroprocesorową. Stanowią jednak zespół mechaniczno-elektryczny i jako takie również muszą zostać objęte działaniami w procesie dostosowania do pracy w warunkach zagrożenia wybuchem.

Oprócz wymienionych układów silnik musi posiadać źródło energii elektrycznej oraz rozrusznik elektryczny w przypadku, gdy nie jest stosowany rozruch np. hydrauliczny. Zespół silnikowy – silnik spalinowy, układ obróbki spalin i związane z nimi elementy wyposażenia elektrycznego – musi zostać poddany procesowi dostosowania. Zakres oraz rodzaj prac w zależności od obszaru, który będą obejmować został opisany w dalszej części artykułu.

5. Dostosowanie zespołu silnikowego do wymagań dyrektywy ATEX

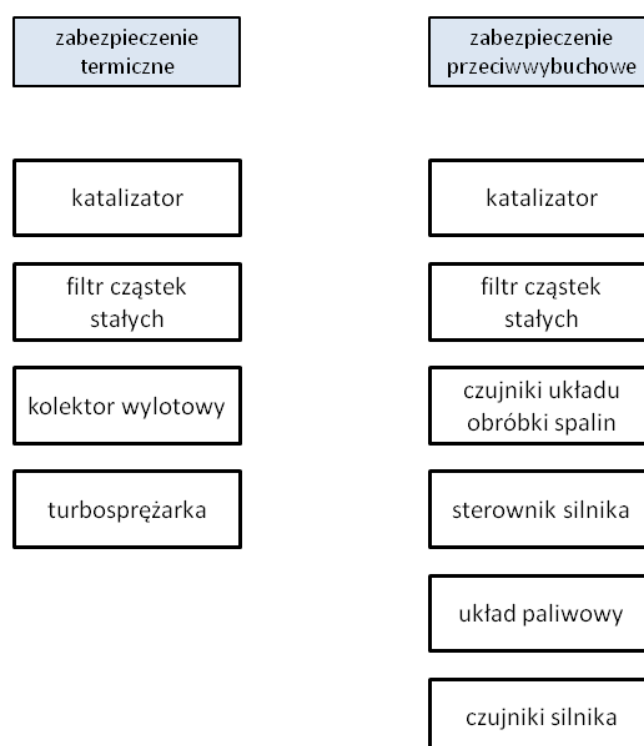
Uwzględniając ogólne wymagania sformułowane w rozdziale 2, w trakcie prac należy skoncentrować się na następujących elementach i układach:

- układ paliwowy ze szczególnym uwzględnieniem wtryskiwaczy,
- czujniki silnika,
- czujniki układu obróbki spalin,
- sterownik silnika,
- kolektor wylotowy silnika,
- turbosprężarka,
- katalizator,
- filtr cząstek stałych.

Istotą procesu dostosowania będzie:

- zabezpieczenie termiczne konstrukcji mechanicznej wybranych zespołów,
- zabezpieczenie przeciwwybuchowe wybranych elementów zespołu silnikowego.

Na rysunku 5 przedstawiono główne podzespoły silnika w aspekcie ich ochrony termicznej i przeciwwybuchowej, zgodnie z wymaganiami dyrektywy ATEX.

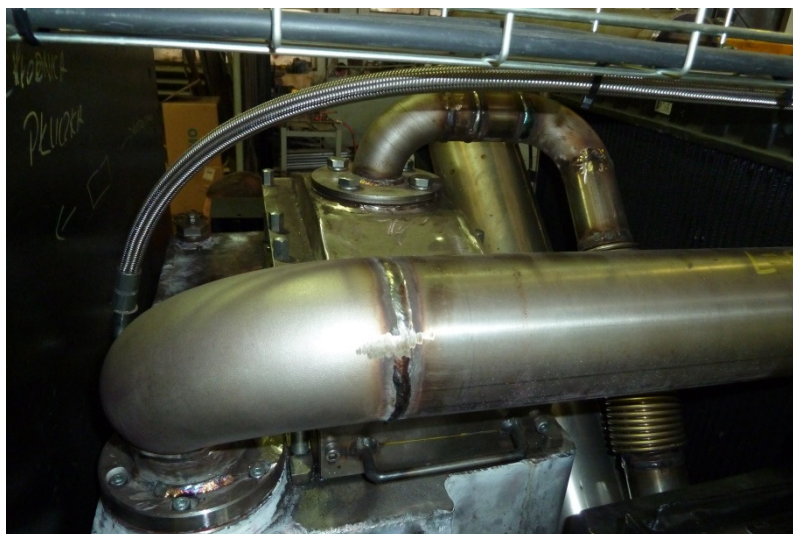


Rys. 5. Układy zespołu silnikowego podlegające dostosowaniu do wymagań dyrektywy ATEX
[opracowanie własne]

Środki i rozwiązania techniczne, które umożliwiają realizację zabezpieczeń przeciwwybuchowych to przede wszystkim:

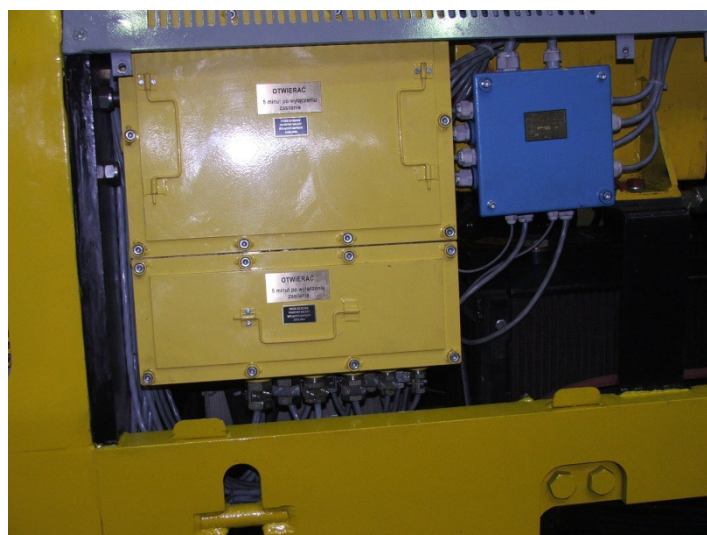
- osłony przeciwwybuchowe, w tym ognioszczelne oraz wzmocnione,
- iskrobezpieczna konstrukcja układów elektrycznych, w tym urządzeń oraz obwodów.

Zabezpieczenie termiczne realizuje się najczęściej poprzez zastosowanie płaszcza chłodzącego, wykorzystującego np. układ chłodzenia silnika spalinowego. Przykłady tego typu rozwiązań przedstawiono poniżej.



Rys. 6. Zespoły układu wylotowego silnika spalinowego w wykonaniu przeciwwybuchowym [6]

Widoczny na pierwszym planie przewód wylotu spalin jest konstrukcją typu „rura w rurze”, z chłodzeniem powierzchni w postaci płaszcza wodnego. Sposób łączenia przewodu ze współpracującymi z nim zespołami oraz jego konstrukcja techniczna stanowi przykład zarówno zabezpieczenia termicznego jak i osłony przeciwwybuchowej.



Rys. 7. Przykład wyposażenia elektrycznego w osłonach ognioszczelnych typu „d” [6]

Przedstawione skrzynie ognioszczelne typu „d” są przykładem zastosowania osłon przeciwwybuchowych (rys. 7), zgodnie z wymaganiami dyrektywy [2]. W podobny sposób należy zabezpieczyć np. jednostkę sterującą pracą silnika typu common rail.

6. Podsumowanie

W artykule omówiono zagadnienia związane z dostosowaniem nowoczesnego silnika spalinowego do wymagań obowiązujących w strefach zagrożonych wybuchem metanu i/lub pyłu węglowego. Główne ograniczenia w stosowaniu silników spalinowych w maszynach roboczych, również w tych pracujących w przestrzeniach potencjalnie wybuchowych, to występowanie zagrożeń wybuchowych oraz konieczność spełnienia wymagań związanych z poziomem emisji substancji toksycznych obecnych w spalinach. Przedstawiono wymagania dwóch głównych aktów prawnych, obowiązujących przy wprowadzaniu napędu spalinowego do eksploatacji. Scharakteryzowano poszczególne układy silnika oraz określono główne obszary działań w procesie jego dostosowania do eksploatacji w podziemnych wyrobiskach górniczych. Przedstawiono również ogólne sposoby ograniczenia zagrożenia zapłonem i wybuchem atmosfery potencjalnie niebezpiecznej.

Literatura

- [1] Dobrzaniecki P. i in.: Nowoczesny napęd spalinowy maszyn samobieżnych dla górnictwa. Identyfikacja zagadnień i zakresu prac związanych z dostosowaniem silnika spalinowego do wymagań Etapu IV dyrektywy spalinowej. ITG KOMAG Gliwice 2016 (materiały niepublikowane)
- [2] Dyrektywa 2014/34/UE Parlamentu Europejskiego i Rady 2014/34/UE z dnia 26 lutego 2014 r. w sprawie harmonizacji ustawodawstw państw członkowskich odnoszących się do urządzeń i systemów ochronnych przeznaczonych do użytku w atmosferze potencjalnie wybuchowej
- [3] 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 nieporuszających się po drogach
- [4] Materiały techniczne Deutz, udostępnione przez BTH Fast
- [5] Przepisy bezpieczeństwa i higieny pracy oraz prowadzenia ruchu i specjalistycznego zabezpieczenia przeciwpożarowego w podziemnych zakładach górniczych. SITG Katowice 1998
- [6] Suffner H. i inni: Innowacyjne i bezpieczne systemy transportu w zakładach produkcji i przeróbki surowców mineralnych. Lokomotywa dołowa spalinowa dla kopalń węgla Lds-100K-EMA. ITG KOMAG Gliwice 2010 (materiały niepublikowane)
- [7] www.forum.octaviacлуб.pl/viewtopic.php?t=55918