

EDWARD PIECZORA
PIOTR DOBRZANIECKI

O wymaganiach dla napędów spalinowych do podziemnych wyrobisk kopalń węgla kamiennego

Mając na uwadze ciągły wzrost zastosowań urządzeń transportowych z napędem spalinowym w podziemiach kopalń węgla kamiennego, dokonano analizy wymagań technicznych i eksploatacyjnych ww. napędu. Wskazano na niejednoznaczność obowiązujących unijnych wymagań w zakresie emisji spalin. Przedstawiono zakres prac, jakie należy podjąć w celu spełnienia wymagań określonych w dyrektywie spalinowej dla napędów przeznaczonych do maszyn mobilnych eksploatowanych w wyrobiskach potencjalnie zagrożonych wybuchem metanu i/lub palnego pyłu.

Słowa kluczowe: wyrobiska górnicze, napęd spalinowy, zagrożenie wybuchem, spaliny, wymagania odnośnie do emisji spalin

1. WSTĘP

Transport materiałów i urobku oraz przewóz ludzi jest jednym z najważniejszych ogniw procesu wydobywczego zakładu górniczego. W polskich kopalniach węgla kamiennego systemy transportu podziemnego bazują na:

- kopalnianych kolejach podziemnych, stosowanych na głównych drogach transportowych,
- kolejach podwieszonych lub spągowych w transporcie oddziałowym,
- przenośnikach taśmowych.

Kopalniana kolej podziemna stanowi podstawowy system transportu maszyn, urządzeń i materiałów, przewozu ludzi oraz transportu (odstawy) skały płonnej. Transport urobku wozami został praktycznie w całości zastąpiony odstawą przenośnikami taśmowymi.

Transport po spągu jest stosowany od początku rozwoju górnictwa – pierwsze tory kopalniane pojawiły się w XVII wieku. Dopiero w połowie XX wieku zaczęto stosować transport podwieszony. W wyniku rozwoju kołowrotów linowych w polskich kopalniach szybko upowszechniły się szynowe kolejki podwieszane, a następnie spągowe z napędem linowym.

Posiadają one jednak ograniczenia, tj.:

- możliwość prowadzenia transportu jedynie wzdłuż z góry wyznaczonej trasy,
- brak wizualnego kontaktu pracownika obsługującego napęd z zestawem transportowym,
- możliwość niekontrolowanego zerwania liny ciągnącej i stwarzającej zagrożenie wypadkowe,
- konieczne, stałe nakłady na konserwację liny oraz zespołów rolek prowadzących.

Wyżej wymienione ograniczenia stanowiły podstawę wprowadzenia do eksploatacji, po 1990 roku, kolejek podwieszonych z napędem spalinowym. Ich zalety oraz powstała infrastruktura (zajezdnie, komory tankowania paliw) stanowiły przyczynek zastosowania lokomotyw spalinowych do kopalnianej kolei podziemnej.

2. WYMAGANIA DLA NAPĘDÓW SPALINOWYCH EKSPLOATOWANYCH W WYROBISKACH POTENCJALNIE ZAGROŻONYCH WYBUCHEM

Zgodnie z *Ustawą z dnia 15 kwietnia 2016 r. o systemach oceny zgodności i nadzoru rynku* [1], „Wyroby wprowadzane do obrotu lub oddawane do użytku muszą spełniać wymagania”. Domniemywa się, że

wyrób spełnia wymagania, jeżeli jest zgodny z postanowieniami norm zharmonizowanych z określonymi dyrektywami. Podstawowe dyrektywy związane z napędami spalinowymi przeznaczonymi do stosowania w podziemnych wyrobiskach zagrożonych wybuchem metanu i/lub palnego pyłu to:

- Dyrektywa 2006/42/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 17 maja 2006 r. w sprawie maszyn, zmieniająca dyrektywę 95/16/WE (tzw. dyrektywa maszynowa MD),
- Dyrektywa 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 (tzw. dyrektywa ATEX),
- Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2016/1628 z dnia 14 września 2016 r. zmieniające i uchylające Dyrektywę 97/68/WE Parlamentu Europejskiego i Rady w sprawie zbliżenia ustawodawstw państw członkowskich odnoszących się do środków dotyczących graniczenia emisji zanieczyszczeń gazowych i pyłowych z silników spalinowych montowanych w maszynach samojedźnych nieporuszających się po drogach (tzw. dyrektywa spalinowa),
- Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2014/30/UE z dnia 26 lutego 2014 r. w sprawie harmonizacji ustawodawstw państw członkowskich odnoszących się do kompatybilności elektromagnetycznej (tzw. dyrektywa EMC).

W załączniku IV dyrektywy maszynowej (MD) – wymieniono kategorie maszyn, do których ma zastosowanie jedna z procedur określonych w art. 12 ust. 3 i 4 dyrektywy. Są to m.in. maszyny do robót podziemnych następujących rodzajów:

- lokomotywy i wózki hamulcowe,
- hydrauliczne obudowy zmechanizowane.

W zakresie dołowych urządzeń transportowych tylko lokomotywy do kopalnianej kolei podziemnej oraz wózki hamulcowe do kolejek podwieszonych i spagowych zostały zatem objęte ściśle określonymi procedurami oceny zgodności opisanymi w dyrektywie maszynowej.

Normami zharmonizowanymi z dyrektywą maszynową są m.in.:

- PN-EN 1889-1:2011: *Maszyny dla górnictwa podziemnego – Podziemne maszyny samobieżne – Bezpieczeństwo – Część 1: Pojazdy oponowe,*

- PN-EN 1889-2+A1:2010: *Maszyny dla górnictwa podziemnego – Podziemne maszyny samobieżne – Bezpieczeństwo – Część 2: Lokomotywy szynowe,*
- PN-EN 1679-1+A1:2011: *Silniki spalinowe tłokowe – Bezpieczeństwo – Część 1: Silniki o zapłonie samoczynnym.*

Najważniejsze normy zharmonizowane z dyrektywą ATEX związane z przedmiotową tematyką to:

- PN-EN 1834-1:2002: *Silniki spalinowe tłokowe – Wymagania bezpieczeństwa dotyczące projektowania i budowy silników przeznaczonych do stosowania w przestrzeniach zagrożonych wybuchem – Część 1: Silniki grupy II przeznaczone do stosowania w atmosferze palnych gazów i par,*
- 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.*

Warto również wspomnieć, że w wykazie polskich norm nadal znajdują się (jako aktualne) m.in. następujące normy:

- PN-G-02150:1997: *Kopalniane koleje szynowe – Podział i terminologia,*
- PN-G-36000:1997: *Napędy spalinowe dla podziemnych pojazdów górniczych – Wymagania,*
- PN-G-36001:1999: *Napędy spalinowe dla podziemnych pojazdów górniczych – Badania,*
- PN-G-46865:2002: *Lokomotywy kopalniane podziemne – Lokomotywy podwieszane spalinowe – Wymagania.*

Normy te opracowano w KOMAG-u w ramach byłej Normalizacyjnej Komisji Problemowej nr 148 (obecnie Komitet Techniczny nr 285) Polskiego Komitetu Normalizacyjnego.

Zgodnie z art. 113 *Ustawy z dnia 9 czerwca 2011 r. – Prawo geologiczne i górnicze* [2] w ruchu zakładu górniczego stosuje się wyroby, które: „spełniają wymagania dotyczące oceny zgodności, określone w odrębnych przepisach lub zostały określone w przepisach wydanych na podstawie ust. 15, spełniają wymagania techniczne określone w tych przepisach, zwane dalej „wymaganiami technicznymi”, zostały dopuszczone do stosowania w zakładach górniczych oraz oznakowane w sposób określony w tych przepisach...”. Należy zatem mieć na uwadze, że zgodnie w ww. ustawą

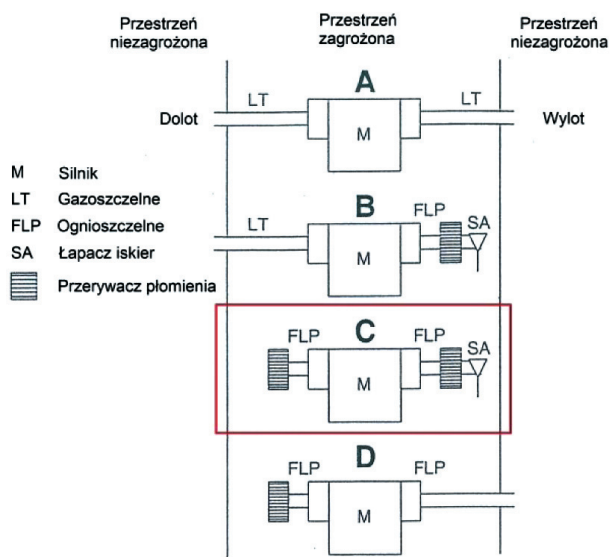
„oddanie do ruchu w zakładzie górniczym obiektów, maszyn, urządzeń i ścian, jak również dokonywanie ich istotnych zmian konstrukcyjnych lub istotnych zmian warunków eksploatacji, wymaga zezwolenia kierownika ruchu zakładu górniczego”.

Nie wolno przy tym zapominać, że zgodnie z nadal obowiązującym *Rozporządzeniem Rady Ministrów z dnia 30 kwietnia 2004 r. w sprawie dopuszczania wyrobów do stosowania w zakładach górniczych* [3] wymienione w jego załączniku 1:

- urządzenia transportu linowego, kolejki podwieszane, kolejki spągowe oraz ich podzespoły,
- wozy do przewozu osób i wozy specjalne oraz pojazdy z napędem spalinowym do przewozu osób, wymagają dopuszczenia Prezesa Wyższego Urzędu Górniczego.

2.1. Wymagania dotyczące bezpiecznej eksploatacji napędu spalinowego w wyrobiskach zagrożonych wybuchem

PN-EN 1834-1:2002 zawiera cztery podstawowe konfiguracje układów spalinowych do stref zagrożonych atmosferą wybuchową (rys. 1). Sklasyfikowano je ze względu na przestrzeń, z której powietrze jest zasysane, oraz przestrzeń, do której emitowane są spaliny.



Rys. 1. Podstawowe konfiguracje układów spalinowych do stref zagrożonych atmosferą wybuchową [4]

Zgodnie z PN-EN 1834-2:2002 konfiguracja „C” (rys. 1) przedstawia schemat napędu spalinowego przeznaczonego do stref zagrożonych wybuchem metanu i/lub palnego pyłu. W tej konfiguracji zarówno powietrze do procesu spalania, jak i produkty spalania zasysane są z przestrzeni potencjalnie zagrożonej wybuchem i do niej emitowane. Dolot powietrza i wylot spalin muszą być zatem zabezpieczone przery-

waczami płomieni, a zawarta pomiędzy nimi część napędu musi być budowy przeciwybuchowej, spełniającej wymagania dla grupy I PN-EN 60079-0:2013-03 (*Atmosfery wybuchowe – Część 0: Urządzenia – Podstawowe wymagania*).

Konieczne jest również wyposażenie układu napędowego w system samoczynnego (automatycznego) zatrzymania (wyłączenia) silnika spalinowego, po przekroczeniu nadmiernej prędkości obrotowej, a także realizujący samoczynne zatrzymanie lub samoczynne zabezpieczenie silnika, w przypadku następujących stanów zagrożenia [4]:

- 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 je jako stan alarmowy. Zarówno normalnym, jak i awaryjnym sposobem samoczynnego zatrzymywania silnika powinno być odcięcie dopływu paliwa do układu zasilającego silnik. Ponadto każdy silnik powinien być wyposażony w zawór odcinający dopływ powietrza [4].

Jednym z najważniejszych warunków, koniecznych do spełnienia, przy zastosowaniu silników spalinowych do górniczych napędów spalinowych, eksploataowanych w kopalniach węgla, są wymagania dotyczące dopuszczalnej temperatury zewnętrznej powierzchni elementów całego układu napędowego. Zgodnie z normą PN-EN 1834-2:2002, temperatura powierzchni zewnętrznych wszystkich elementów silnika oraz temperatura spalin emitowanych do atmosfery bezpośrednio za przerywaczem płomienia nie może przekraczać wartości 150°C. Dotyczy to warunków pracy silnika pod pełnym obciążeniem [4]. Pełny zakres wymagań oraz sposób ich weryfikacji zawarto w normie PN-EN 1834-2:2002 i normach z nią związanych.

2.2. Wymagania dotyczące jakości spalin

Dopuszczalne emisje substancji toksycznych w spalinach silników instalowanych w maszynach przeznaczonych do pracy pod ziemią podano w tabeli 1. Są one zgodne z wartościami zawartymi w normie PN-EN1679-1+A1:2011, zharmonizowanej z dyrektywą maszynową. Dotyczą one silników spalinowych o mocy od 37 kW do 560 kW.

Tabela 1
Dopuszczalne emisje substancji toksycznych
według PN-EN 1679-1+A1:2011[4]

Moc	Tlenek węgla CO	Węglowodory HC	Tlenki azotu NO _x	Cząstki stałe PM
[kW]	[g/kWh]	[g/kWh]	[g/kWh]	[g/kWh]
37–75	6,5	1,3	9,2	0,85
75–130	5,0	1,3	9,2	0,70
130–560	5,0	1,3	9,2	0,54

W tabeli 2 podano dopuszczalne emisje substancji toksycznych w spalinach określone w uchylonej dyrektywie spalinowej (Dyrektywa 97/68/WE).

Najbardziej znaczącą zmianą, w wymaganiach emisji spalin, było przejście do wymagań etapu IIIB, tj. zmniejszenie emisji masowej cząstek stałych (PM) o ok. 90% oraz ok. 50% zmniejszenie emisji tlenków azotu (NO_x). W etapie IV jeszcze bardziej obniżono wymagania odnośnie do poziomu emisji tlenków

azotu (NO_x). W zakresie emisji spalin dla pojazdów niedrogowych od 1 stycznia 2017 roku obowiązuje *Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2016/1628 z dnia 14 września 2016 r. uchylające dyrektywę spalinową i wprowadzające wymagania etapu V* (tab. 3). Wymagania te znacząco obniżyły poziom emisji cząstek stałych w stosunku do wymagań etapu IV uchylonej dyrektywy spalinowej.

Istotną nowością, w stosunku do poprzednio obowiązujących przepisów, jest określenie w załączniku VI *Rozporządzenia 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 nieporuszających się po drogach* wymagań dotyczących emisji spalin dla silników przeznaczonych do montażu w maszynie mobilnej nieporuszającej się po drogach, która ma być użytkowana w atmosferze potencjalnie wybuchowej (tab. 4).

Tabela 2
Dopuszczalne emisje substancji toksycznych według dyrektywy spalinowej [5, 6]

Moc	Data wprowadzenia	Tlenek węgla CO	Węglowodory HC	Tlenki azotu NO _x	Cząstki stałe PM
[kW]	–	[g/kWh]	[g/kWh]	[g/kWh]	[g/kWh]
Etap I					
37–75	04.1999	6,5	1,3	9,2	0,85
75–130	01.1999	5,0	1,3	9,2	0,70
130–560	01.1999	5,0	1,3	9,2	0,54
Etap II					
19÷37	01.2001	5,5	1,5	8,0	0,8
37–75	01.2004	5,0	1,3	7,0	0,4
75–130	01.2003	5,0	1,0	6,0	0,3
130–560	01.2002	3,5	1,0	6,0	0,2
Etap IIIA					
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
Etap IIIB					
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
Etap IV					
56–130	10.2014	3,5	0,19	0,4	0,025
130–560	01.2014	5,0	0,19	0,4	0,025

Tabela 3

Dopuszczalne emisje substancji toksycznych według Rozporządzenia Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2016/1628 z dnia 14 września 2016 r.

Moc	Data wprowadzenia	Tlenek węgla CO	Węglowodory HC	Tlenki azotu NO _x	Cząstki stałe PM
[kW]	–	[g/kWh]	[g/kWh]	[g/kWh]	[g/kWh]
Etap V					
37–56	01.2019	5,0	NO _x + HC – 4,7		0,015
56–130	01.2020	5,0	0,19	0,4	0,015
130–560	01.2019	3,5	0,19	0,4	0,015

Źródło: opracowano na podstawie danych zawartych w ww. rozporządzeniu

W stosunku do PN-EN 1679-1+A1:2011 obecnie obowiązujące przepisy znacząco zaostrzyły wymagania co do poziomu emisji węglowodorów (HC), a najbardziej co do poziomu emisji tlenków azotu (NO_x) i cząstek stałych (PM), pozostawiając bardzo zbliżone wartości emisji tlenku węgla (CO). Z porównania danych zawartych w tabelach 1 i 2 wynika, że silniki spełniające wymagania normy PN-EN 1679-1+A1:2011 odpowiadają silnikom spełniającym wymagania etapu I, według uchylonej dyrektywy spalinowej. Można zatem zauważyć różnice w wymaganiach unijnych. W zakresie jakości emitowanych spalin, nowo wprowadzane do obrotu maszyny mobilne z napędem spalinowym przeznaczone do stosowania w podziemnych wyrobiskach niezagrożonych wybuchem, jak np. pojazdy oponowe, powinny spełniać wymagania etapu V podane w tabeli 3. Maszyny mobilne (w tym lokomotywy dołowe do kopalnianej kolei podziemnej), przeznaczone do stosowania w atmosferach zagrożonych występowaniem metanu i/lub palnego pyłu, winny

spełniać wymagania podane w tabeli 4, odpowiadające wymaganiom etapu IIIA uchylonej dyrektywy spalinowej. Natomiast pozostałe maszyny przeznaczone do pracy pod ziemią, w zakresie emisji spalin, mogą spełniać wymagania podane w tabeli 1.

Należy także zwrócić uwagę na obowiązujące od 1 lipca 2017 r. *Rozporządzenie Ministra Energii z dnia 23 listopada 2016 r. w sprawie szczegółowych wymagań dotyczących prowadzenia ruchu podziemnych zakładów górniczych* [7], które w §635 zawiera zapisy:

1. W pojazdach i w maszynach z napędem spalinowym stosuje się silniki z zapłonem samo-czynnym.
2. Zawartość tlenku węgla w spalinach wyrzucanych przez układ wylotowy silnika, w każdym jego ustalonym stanie pracy, wynosi nie więcej niż:
 - 500 ppm – w kopalniach niezagrożonych wybuchem metanu;
 - 500 ppm – w kopalniach zagrożonych wybuchem metanu, w przypadku, gdy stężenie metanu w powietrzu zasysanym wynosi 0,0%;
 - 1200 ppm – w kopalniach zagrożonych wybuchem metanu, w przypadku, gdy stężenie metanu w powietrzu zasysanym wynosi 1,0%;
 - 1800 ppm – w kopalniach zagrożonych wybuchem metanu, w przypadku, gdy stężenie metanu w powietrzu zasysanym wynosi 1,5%.
3. 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 §142 ust. 2 (tj. dwutlenku węgla maks. 1%, tlenku węgla maks. 0,0026%, tlenku azotu maks. 0,00026%, dwutlenku siarki maks. 0,000075%, siarkowodoru maks. 0,0007% przy zachowaniu zawartości tlenu min. 19%).

Tabela 4

Dopuszczalne emisje substancji toksycznych według Rozporządzenia Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2016/1628 z dnia 14 września 2016 r. dla silników przeznaczonych do montażu w maszynie mobilnej, która ma być użytkowana w atmosferze potencjalnie wybuchowej

Moc	Data wprowadzenia	Tlenek węgla CO	Węglowodory HC	Tlenki azotu NO _x	Cząstki stałe PM
[kW]	–	[g/kWh]	[g/kWh]	[g/kWh]	[g/kWh]
37–56	01.2017	5,0	NO _x + HC – 4,7		0,4
56–130	01.2017	5,0	NO _x + HC – 4,0		0,3
130–560	01.2017	3,5	NO _x + HC – 4,0		0,2

Źródło: opracowano na podstawie danych zawartych w ww. rozporządzeniu

Zauważalne są różnice pomiędzy ww. zapisami a wymaganiami unijnymi (np. brak wymagań w zakresie tlenków azotu, węglowodorów i cząstek stałych), a kryterialnym czynnikiem decydującym o możliwości zastosowania maszyn z napędem spalinowym w danym wyrobisku są warunki wentylacyjne. Nie określono wymagań kontrolnych co do napędów spalinowych podczas ich eksploatacji, zakładając, że każdy z producentów określi wymagania co do kontroli (sposób i częstotliwość przeprowadzania, kryteria dalszej eksploatacji) w instrukcji (dokumentacji techniczno-ruchowej).

3. TECHNICZNE MOŻLIWOŚCI REALIZACJI WYMAGAŃ DLA NAPĘDÓW SPALINOWYCH EKSPLOATOWANYCH W WYROBISKACH POTENCJALNIE ZAGROŻONYCH WYBUCHEM

Mając na uwadze spełnienie wymagań tzw. dyrektywy spalinowej, producenci silników opracowali stosowne rozwiązania swoich produktów do zastosowania w maszynach niedrogowych, eksploatowanych na powierzchni. Przykładowe rozwiązania jednego z producentów przedstawiono w tabeli 5.

Tabela 5
Rozwój rozwiązań silników spalinowych do pojazdów niedrogowych [8]

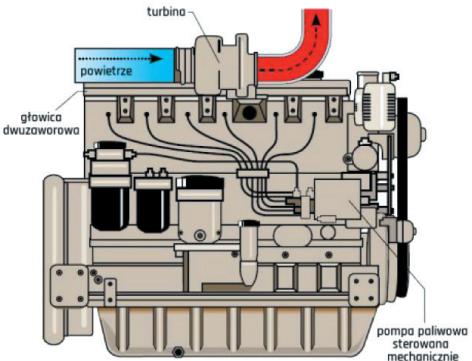
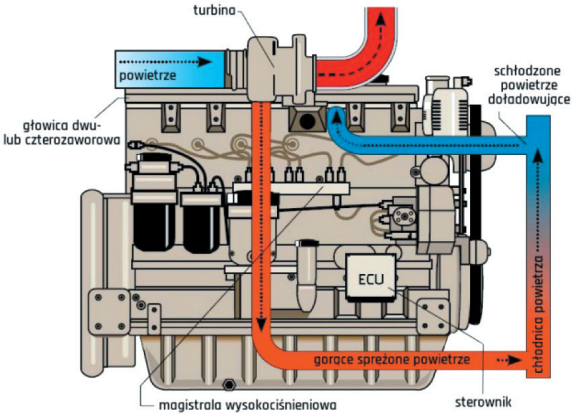
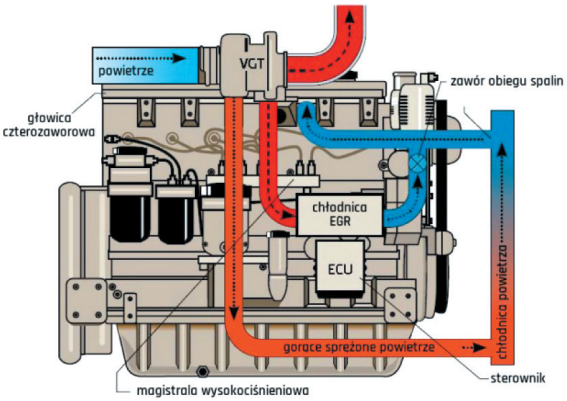
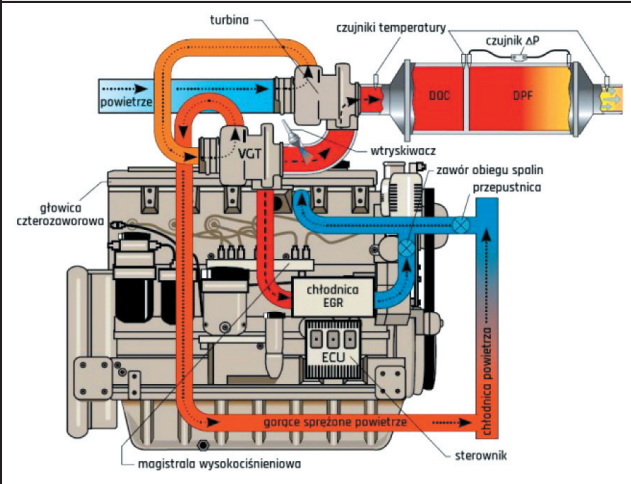
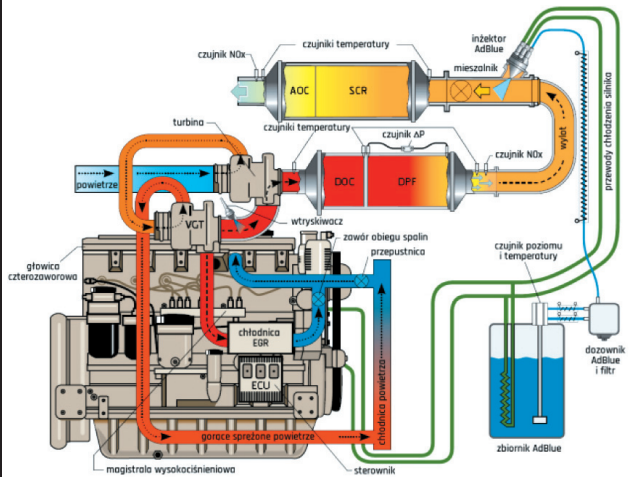
Etap	Schemat	Opis
I	 <p>Schemat przedstawia silnik z turbosprężarką. Powietrze (niebieska strzałka) wchodzi do cylindrów. Turbina (czarna) jest połączona mechanicznie z pompą paliwową (czarna). Wydech (czerwona strzałka) wychodzi z tyłu. Etap I przedstawia najprostsze rozwiązanie.</p>	<p>Przedstawiony układ stanowi najprostsze rozwiązanie ze sterowaną mechanicznie pompą rzędową lub rozdzielaczową [9]. Silnik jest wyposażony w dwuzaworową głowicę, typową turbosprężarkę ze stałą geometrią łopatek kierownicy, prosty układ dolotowy z filtrem powietrza oraz układ wylotowy.</p>
II	 <p>Schemat przedstawia silnik z Common Rail i intercoolerem. Powietrze (niebieska strzałka) wchodzi do cylindrów. Turbina (czarna) jest połączona z magistralą wysokociśnieniową (niebieska). Wydech (czerwona strzałka) wychodzi z tyłu. Etap II przedstawia rozwinięcie poprzedniego układu.</p>	<p>Rozwinięciem poprzedniego układu jest wyposażenie silnika w wysokociśnieniowy układ zasilania paliwem np. <i>Common Rail</i> [9] sterowany elektronicznie, dwu- lub czterozaworową głowicę oraz chłodnicę powietrza doładowującego (tzw. <i>intercooler</i>). Silnik na ogół wyposażony jest w turbosprężarkę o stałej geometrii łopatek kierownicy. Zastosowanie intercoolera pozwoliło zwiększyć moc rozwijaną przez silnik, natomiast elektroniczne sterowanie procesem wtrysku spowodowało zmniejszenie poziomu obecności szkodliwych substancji w spalinach.</p>
IIIA	 <p>Schemat przedstawia silnik z EGR i VGT. Powietrze (niebieska strzałka) wchodzi do cylindrów. Turbina (czarna) jest połączona z magistralą wysokociśnieniową (niebieska). Wydech (czerwona strzałka) wychodzi z tyłu. Etap IIIA przedstawia kolejny krok w rozwoju.</p>	<p>Kolejnym krokiem było zastosowanie systemu EGR z własną chłodnicą oraz turbosprężarki ze zmienną geometrią łopatek kierownicy. Wykorzystanie schłodzonej części strumienia spalin pozwoliło obniżyć temperaturę procesu spalania, w efekcie czego ograniczono powstawanie tlenków azotu (NO_x). Zastosowanie turbosprężarki o zmiennej geometrii łopatek kierownicy pozwoliło na polepszenie charakterystyk pracy silnika (np. zmniejszenie efektu tzw. turbodziury przy niskiej prędkości wylotowej spalin).</p>

Tabela 5 cd.

Etap	Schemat	Opis
IIIB		<p>Dalszy rozwój polegał na zastosowaniu pozaukładowej obróbki spalin – na przedstawionym przykładzie zespołu reaktora katalitycznego utleniającego oraz filtra cząstek stałych. Dzięki temu udało się obniżyć w spalinach ilość takich związków jak tlenek węgla, węglowodory oraz cząstki stałe.</p>
IV		<p>Najbardziej zaawansowanym układem jest system łączący dotychczasowe układy i dodający system selektywnej redukcji katalitycznej SCR. Dzięki podawaniu substancji redukującej w postaci wodnego roztworu mocznika osiąga się dalsze zmniejszenie ilości tlenków azotu w spalinach.</p>

Na podstawie informacji zawartych w tabeli 5 można stwierdzić, że:

- wymagana jakość spalin w etapie I, II oraz IIIA została osiągnięta dzięki doskonaleniu układu zasilania silnika, w szczególności zaś sterowania cząsem i liczbą faz wtrysku paliwa;
- poziom emisji poszczególnych substancji zgodnie z wymaganiami etapu IIIB oraz IV może być spełniony jedynie przy użyciu tzw. pozaukładowej obróbki spalin, składającej się m.in. z reaktorów katalitycznych, filtra cząstek stałych oraz innych.

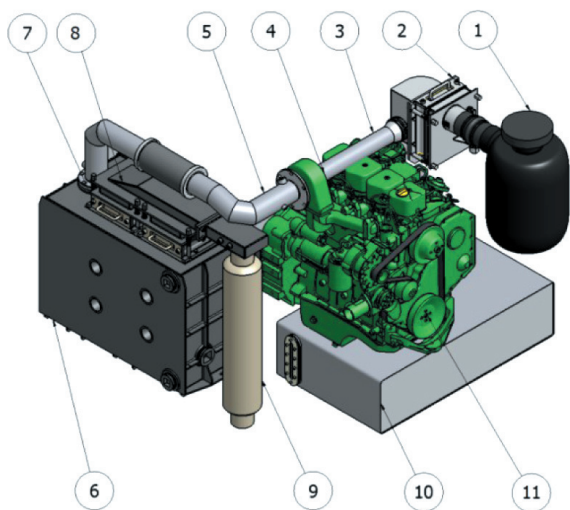
Należy nadmienić, że żaden z producentów silników spalinowych nie produkuje ani nie przystosowuje wytwarzanych silników do eksploatacji w podziemnych wyrobiskach zagrożonych wybuchem metanu i/lub palnego pyłu, pozostawiając rozwiązanie tego problemu producentowi dołowej maszyny z napędem spalinowym.

Na rysunku 2 przedstawiono przykładowe, przeciwwybuchowe rozwiązanie spalinowego układu napędowego

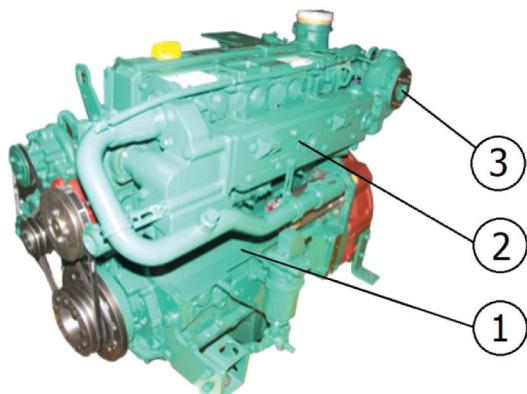
do urządzeń transportowych eksploatowanych w podziemnych wyrobiskach zagrożonych wybuchem metanu i/lub palnego pyłu.

Silnik wyposażono w chłodzone cieczą (z obiegu silnika): kolektor wylotowy spalin oraz turbo-sprężarkę, a także płaszcz przewodu wylotu spalin. W miejsce wodnej płuczki spalin może być stosowany „suchy” wymiennik ciepła. Wodna płuczka spalin, w której spaliny przepływają przez poszczególne komory, bezpośrednio kontaktując się z wodą, pozwala na schłodzenie spalin oraz wymywanie sadzy. Wymagana jest okresowa wymiana wody (po każdej zmianie roboczej). Niekorzystnym zjawiskiem jest odparowywanie wody, a także zdarzające się jej wychłapywanie podczas eksploatacji. W „suchym” wymienniku ciepła nie dochodzi do bezpośredniego kontaktu spalin z chłodzącą je wodą, w wyniku czego spaliny nie są oczyszczane z sadzy. Wymagany jest dodatkowy układ chłodzenia wody (pompa, chłodnica). Instaluje się elektroniczne systemy nadzoru, kontrolujące

parametry decydujące o bezpieczeństwie pracy. Na rysunku 3 przedstawiono przykładowe rozwiązanie silnika spalinowego spełniającego wymagania etapu I fabrycznie wyposażonego w chłodzone ciecżą: turbinię i kolektor wylotowy spalin.



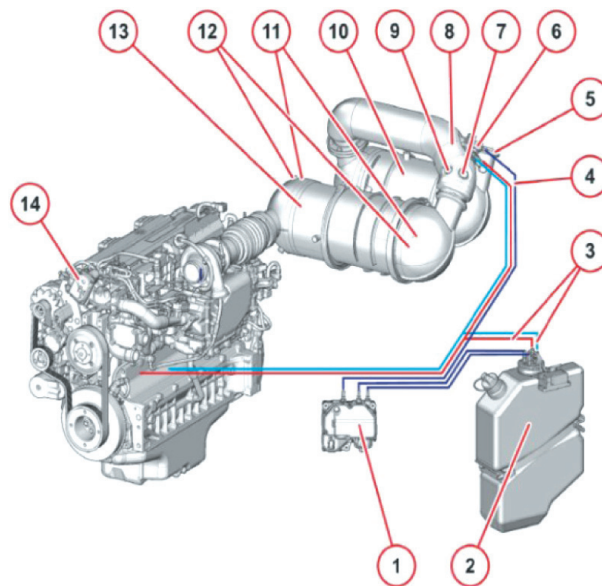
Rys. 2. Przykładowe rozwiązanie zespołu silnika przeznaczanego do pracy w przestrzeniach zagrożonych wybuchem metanu i/lub pyłu węglowego, spełniającego wymagania etapu I/II: 1 – filtr powietrza, 2 – dolotowy przerywacz płomieni, 3 – przewód dolotowy, 4 – turbosprężarka, 5 – przewód wylotu spalin, 6 – wodna płuczka spalin, 7 – wylotowy przerywacz płomieni, 8 – kolektor zbiorczy układu wylotowego, 9 – iskrochron, 10 – zbiornik paliwa, 11 – silnik spalinowy [5]



Rys. 3. Przykładowe rozwiązanie zespołu silnika przeznaczanego do pracy w przestrzeniach zagrożonych wybuchem metanu i/lub pyłu węglowego, spełniającego wymagania etapu I/II: 1 – silnik spalinowy, 2 – chłodzone ciecżą kolektor wylotowy spalin, 3 – chłodzona ciecżą turbosprężarka [5]

Silniki spalinowe, stosowane dotychczas przez krajowych producentów urządzeń transportowych, eksploatowanych w podziemnych wyrobiskach zagrożo-

nych wybuchem metanu i/lub palnego pyłu, spełniają wymagania dyrektywy spalinowej w zakresie etapu II, a w incydentalnych przypadkach etapu IIIA. Zastosowanie silników spełniających aktualne wymagania niesie za sobą konieczność podjęcia prac badawczo-rozwojowych. Posiadane zasoby: doświadczeni specjaliści dysponujący odpowiednią wiedzą oraz stanowisko badawcze umożliwiają podjęcie tych prac przez Instytut KOMAG. Na rysunku 4 przedstawiono przykładowe przemysłowe rozwiązanie silnika spalinowego spełniającego wymagania etapu IV/V.



Rys. 4. Przykładowe przemysłowe rozwiązanie silnika spalinowego spełniającego wymagania etapu IV/V: 1 – pompa SCR, 2 – zbiornik SCR, 3 – przewód płynu chłodniczego do wstępnego podgrzewania zbiornika SCR do chłodzenia dozownika, 4 – przewód SCR, 5 – czujnik NO_x , 6 – dozownik, 7 – czujnik NO_x , 8 – czujnik temperatury, 9 – czujnik ciśnienia, 10 – reaktor katalityczny SCR, 11 – czujnik ciśnienia różnicowego, 12 – czujnik temperatury, 13 – filtr cząstek stałych (DPF) do silników diesla, 14 – przepustnica [10]

Dostosowanie silnika do pracy w przestrzeniach zagrożonych wybuchem metanu i/lub pyłu węglowego zgodnie z wymaganiami dyrektywy ATEX oraz dyrektywy spalinowej obejmuje [11]:

- zabezpieczenie temperaturowe powierzchni kolektora wylotowego i turbosprężarki,
- zabezpieczenie przeciwwybuchowe układu dolotowo-wylotowego przerywaczami płomieni,
- zabezpieczenie przeciwwybuchowe wyposażenia elektrycznego silnika – wtryskiwaczy, czujników, sterownika silnika, alternatora oraz rozrusznika.

Dostosowanie fabrycznego silnika, spełniającego wymagania poziomu etapu IIIA, umożliwiającego zaprojektowanie napędu spalinowego do przestrzeni zagrożonych wybuchem metanu i/lub pyłu węglowego, wymaga podjęcia prac badawczo-rozwojowych związanych z opracowaniem:

- kolektora wylotowego spalin oraz turbosprężarki w wersji przeciwwybuchowej (ognioszczelnej) chłodzonych wodą,
- adaptacji istniejącego układu sterowania (sterownik, czujniki) do warunków przeciw-wybuchowych.

Zasadniczą kwestią pozostaje dostosowanie wtryskiwaczy do pracy w atmosferze zagrożonej wybuchem. Z uwagi na konieczność dokładnego pozycjonowania wtryskiwaczy w gniazdach, ich stabilnego zamocowania oraz wysoką temperaturę pracy, przystosowanie ich do wymagań dyrektywy ATEX jest złożonym zagadnieniem technicznym. Niezbędna będzie zatem ścisła współpraca z dostawcą silnika.

4. PODSUMOWANIE

Transport materiałów i urobku oraz przewóz ludzi jest jednym z najważniejszych ogniw procesu wydobywczego zakładu górniczego. W miejsce szeroko stosowanych urządzeń transportowych z napędem linowym, z uwagi na ich ograniczenia, od 1990 roku w podziemiach kopalń węgla kamiennego coraz szerzej stosowane są kolejki z napędem spalinowym. Powstała infrastruktura (zajezdnie, komory tankowania paliw) stanowiła przyczynek do zastosowania lokomotyw spalinowych w kopalnianych kolejach podziemnych. Zastosowane napędy spalinowe powinny spełniać wymagania dotyczące ich bezpiecznej eksploatacji w wyrobiskach zagrożonych wybuchem, a także unijne wymagania co do jakości spalin. Wykazano różnice co do tych wymagań. Z norm zharmonizowanych z dyrektywą maszynową wynika, że wozy oponowe, a także maszyny mobilne (w tym lokomotywy dołowe do kopalnianej kolei podziemnej), przeznaczone do stosowania w atmosferach zagrożonych występowaniem metanu i/lub palnego pyłu muszą spełniać znacznie ostrzejsze wymagania Rozporządzenia Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2016/1628 z dnia 14 września 2016 roku (tj. etapy V i IIIA), od pozostałych maszyn wymagających spełnienia zapisów PN-EN 1679-1+A1:2011.

Producenci silników oferują rozwiązania spełniające wymagania emisji spalin etapu V dla pojazdów niedrogowych, natomiast nie mają w ofercie silników do maszyn mobilnych, przeznaczonych do stosowania w atmosferach zagrożonych występowaniem metanu i/lub palnego pyłu. W celu ich dostosowania do wymagań dyrektywy ATEX niezbędne jest podjęcie prac badawczo-rozwojowych obejmujących:

- zabezpieczenie temperaturowe powierzchni kolektora wylotowego i turbosprężarki,
- zabezpieczenie przeciwwybuchowe układu dółowo-wylotowego przerywaczami płomienia,
- zabezpieczenie przeciwwybuchowe wyposażenia elektrycznego silnika – wtryskiwaczy, czujników, sterownika silnika, alternatora oraz rozrusznika.

Wyżej wymienionych prac może podjąć się Instytut KOMAG w ścisłej współpracy z producentem silnika.

Literatura

- [1] *Ustawa z dnia 15 kwietnia 2016r. o systemach oceny zgodności i nadzoru rynku*, Dz.U. 2016, poz. 542 z późn. zm.
- [2] *Ustawa z dnia 9 czerwca 2011 r. – Prawo geologiczne i górnicze*, Dz.U. 2011 nr 163, poz. 981 z późn. zm., tekst jednolity Dz.U. 2017, poz. 2126, stan prawny na 12.10.2017 r.
- [3] *Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 30 kwietnia 2004 r. w sprawie dopuszczania wyrobów do stosowania w zakładach górniczych*, Dz.U. 2004, nr 99, poz. 1003 z późn. zm.
- [4] Brzeżański M., Pieczora E., Kaczmarczyk K.: *Rozwiązania napędów spalinowych do zastosowań w wyrobiskach podziemnych węgla kamiennego*, „Silniki Spalinowe” 2010, 3: 28–40.
- [5] Dobrzaniecki P., Majewski M., Kaczmarczyk K., Suffner H.: *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 [praca niepublikowana].
- [6] Pieczora E., Suffner H.: *Rozwój napędów dołowych kolejek podwieszonych*, „Maszyny Górnicze” 2017, 3: 44–57.
- [7] *Rozporządzenie Ministra Energii z dnia 23 listopada 2016 r. w sprawie szczegółowych wymagań dotyczących prowadzenia ruchu podziemnych zakładów górniczych*, Dz.U. 2017, poz. 1118.
- [8] *Materiały firmy John Deere*, www.deere.pl, 2017.
- [9] Dobrzaniecki P., Kaczmarczyk K.: *Układy zasilania silników spalinowych eksploatowanych w kopalniach węgla kamiennego na przykładzie rozwiązań ITG KOMAG*, „Maszyny Górnicze” 2017, 1: 63–76.
- [10] Dobrzaniecki P.: *Dostosowanie silnika spalinowego z układem wtryskowym common rail górniczej maszyny roboczej do obowiązujących wymagań i przepisów*, „Maszyny Górnicze” 2016, 3: 45–53.
- [11] *Materiały firmy Deutz* [udostępnione przez Biuro Techniczno-Handlowe EAST], 2017.

dr inż. EDWARD PIECZORA
 dr inż. PIOTR DOBRZANIECKI
 Instytut Techniki Górniczej KOMAG
 ul. Pszczyńska 37, 44-101 Gliwice
 {epieczora, pdobrzaniecki}@komag.eu