



VI Międzynarodowa Konferencja Naukowa
**Systemy Wspomagania
w Zarządzaniu Środowiskiem**
Czechy, Harrachov 2009

Ekonomika i Organizacja Przedsiębiorstwa nr 6/2009

dr inż. Leszek CHYBOWSKI, mgr inż. Robert GRZEBIENIAK - Akademia Morska w Szczecinie
Wydział Mechaniczny, Instytut Technicznej Eksploatacji Siłowni Okrętowych
ul. Wały Chrobrego 1-2, 70-500 Szczecin POLSKA
tel.: +4891 480 9412 e-mail: l.chybowski@am.szczecin.pl, r.grzebieniak@am.szczecin.pl

**ZAGROŻENIE EKSPLOZYJNE W UKŁADACH ROZRUCHOWYCH
OKRĘTOWYCH SILNIKÓW WYSOKOPRĘŻNYCH**

Streszczenie: W artykule przedstawiono źródła zagrożeń eksplozyjnych w układach rozruchowych wysokoprężnych silników okrętowych. Przedstawiono podstawowe hipotezy związane z powstawaniem eksplozji w kolektorach powietrza rozruchowego silników z pneumatycznymi systemami rozruchowymi. Przedstawiono podstawowe środki zaradcze minimalizujące skutki eksplozji jakie są wymagane od systemów rozruchowych silników okrętowych. Zaprezentowano wymagania towarzystw klasyfikacyjnych dotyczące zabezpieczeń przeciw-eksplozyjnych stosowanych w bezpośrednio nawrotnych, nienawrotnych oraz pomocniczych silnikach okrętowych. Artykuł podsumowuje krytyczną ocenę stanu techniki w zakresie możliwości bieżącej kontroli stanu technicznego zaworów rozruchowych w czasie eksploatacji w aspekcie minimalizacji zagrożenia eksplozją w kolektorach powietrza rozruchowego.

**EXPLOSION THREAT IN STARTING AIR SYSTEM
OF MARINE DIESEL ENGINES**

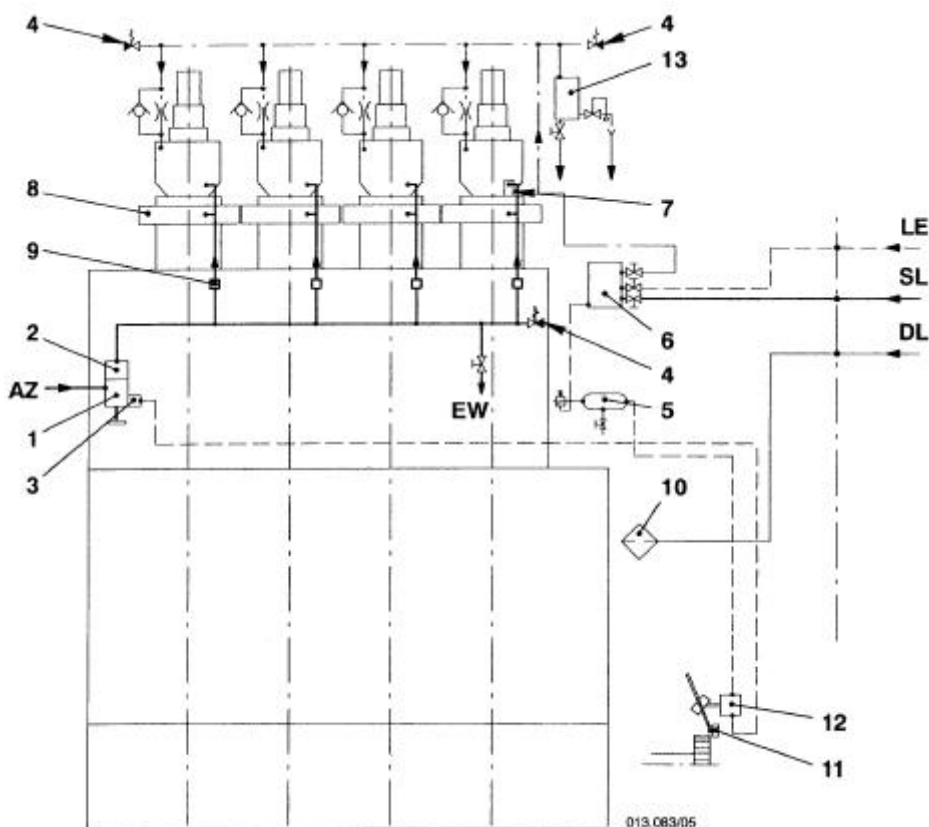
Summary: Paper presents sources of explosion threat in starting air system of marine diesel engines. Basic hypothesis on explosion initiation in starting air manifolds have been presented. Basic explosion precautions and activity for minimizing of explosion effects have been discussed. Classification societies safety requirements for marine direct reversible, nonreversible and auxiliary engines have been presented. Some critical remarks current on state-of-art of starting valves technical state evaluation methods used during engine operation have been pointed out. Remarks are done in explosion thread minimizing aspect.

1. WPROWADZENIE

Zawory rozruchowe na głowicach cylindrowych spalinowych silników wysokoprężnych są stosowane głównie w silnikach wolnoobrotowych zarówno w elektrowniach stacjonarnych jak i w głównych układach napędowych statków. Zawór pełni swoją funkcję jedynie podczas rozruchu lub dodatkowo podczas hamowania i przesterowania (zmiany kierunku obrotów) silnika [3, 7, 8]. Przykładowy system powietrza rozruchowego stosowanego dla silników Wartsila Sulzer serii RTA przedstawiono na rys. 1.

System składa się z następujących elementów: 1 – zawór odcinający dopływ sprężonego powietrza, 2 – zawór zwrotny, 3 – zawór sterujący i główny zawór manewrowy, 4 – zawór bezpieczeństwa, 6 – układ zasilania powietrza sterującego, 7 – zawór rozruchowy, 8 – głowica cylindrowa, 9 – wygaszacz płomienia, 10 – automatyczny filtr dokładnego oczyszczania, 11 – obracarka, 12 – zawór blokady na obracarce, 13 – powrót przecieków oleju ze sprężyn powietrza, AZ – doprowadzenie sprężonego powietrza, DL – sprężone powietrze z systemu ogólnostatkowego, EW – przewód odpowietrzający i drenujący, LE – powietrze sterujące, SL – powietrze rozruchowe do rezerwowego zasilania systemu powietrza sterującego i sprężyn powietrza.

Nieszczelność zaworu rozruchowego może powstać w wyniku procesów degradacji (zużycia) elementów zaworu lub w wyniku zaniedbania lub nieprawidłowego przeprowadzenia czynności obsługowych na zaworach rozruchowych.



Rys. 1 Schemat systemu rozruchowego silnika Wartsila Sulzer serii RTA [5]

Fig. 1 Diagram of Wartsila Sulzer RTA starting system [5]

Szybkie zdiagnozowanie nieszczelności pomiędzy przylgnięciem trzonu zaworu a jego gniazdem jest niezwykle istotne z uwagi na:

- obniżenie osiągniętych prędkości silnika w związku z nieszczelnością przestrzeni roboczej cylindra i związanym z tym spadkiem ciśnienia w komorze spalania;
- zagrożenie eksplozją w kolektorze powietrza rozruchowego silnika.

Eksplozja może spowodować poranienie lub śmierć osób znajdujących się w bezpośrednim otoczeniu silnika oraz zniszczenie elementów konstrukcyjnych silnika i otaczających go mechanizmów. W wyniku eksplozji może powstać pożar w siłowni, który stanowi bardzo poważne zagrożenie bezpieczeństwa dla całego statku, personelu, ładunku i środowiska naturalnego. Najtragiczniejsza eksplozja w kolektorze rozruchowym silnika miała miejsce w 1960 roku na statku m/v *Cape Castle*, gdzie w wyniku wypadku zginęło 7 osób [1].

Inny poważny przypadek skutkujący poważnym uszkodzeniem siłowni statku miał miejsce w 1999 roku podczas manewrowania (przy wpływaniu do portu), w siłowni dużego kontenerowca zbudowanego w 1981 roku, tym razem obyło się bez ofiar śmiertelnych. Według danych towarzystwa Lloyds Register of Shipping pomiędzy 1987 a 1999 miało miejsce 11 zgłoszonych eksplozji w systemach powietrza rozruchowego [6].

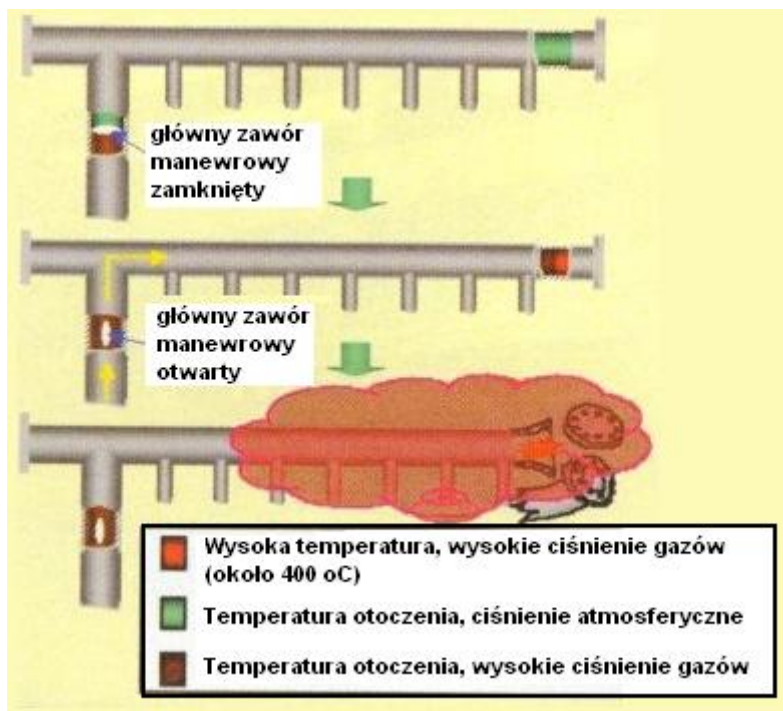
2. PRZYCZYNY EKSPLOZJI W KOLEKTORACH POWIETRZA ROZRUCHOWEGO

Problem powstawania eksplozji w kolektorach powietrza rozruchowego jest złożonym zagadnieniem, które nie do końca zostało wyjaśnione z uwagi na gwałtowny i nieoczekiwany przebieg procesu wybuchu. Ponadto wybuch może mieć różne źródło, w szczególności eksplozja może powstać w wyniku:

- zapłonu paliwa lub oleju cylindrowego, który przedostał się z określonego układu cylindrowego poprzez nieszczelny zawór rozruchowy w czasie pracy lub podczas rozruchu jeśli w czasie postoju w cylindrze nagromadziło się paliwo (w tym drugim przypadku zdarzenie nie jest wynikiem nieszczelnego zaworu rozruchowego tylko uszkodzonego wtryskiwacza);
- zapłonu nadmiernej ilości oleju smarnego nagromadzonego w kolektorze rozruchowym, który dostał się tam wraz z powietrzem ze sprężarki powietrza rozruchowego w przypadku zużytych pierścieni zgarniających tłoków sprężarki lub nawet w wyniku zasysania przez sprężarkę oparów oleju znajdujących się w atmosferze siłowni okrętowej;
- zapłonu osadów węglowych powstałych w wyniku rozpadu termicznego w/w substancji ropopochodnych na rozgrzanych ściankach kolektora powietrza rozruchowego.

Proces eksplozji zainicjować mogą rozgrzane gazy o temperaturze powyżej 1200°C przedostające się z komory spalania do kolektora rozruchowego przez nieszczelny zawór rozruchowy. Podczas rozruchu sprężone powietrze o ciśnieniu zwykle ok. 3 MPa może spowodować powstanie mieszaniny palnej (wybuchowej).

Towarzystwo klasyfikacyjne *ClassNK* wysunęło dodatkowo hipotezę o możliwości samozapłonu oleju nagromadzonego w kolektorze powietrza rozruchowego [6, 9], który może być zainicjowany przyrostem temperatury podczas gwałtownego napływu (sprężenia) powietrza rozruchowego o wysokim ciśnieniu do kolektora rozruchowego (rys. 2) podczas rozruchu wywołując powstanie mieszaniny palnej o temperaturze ok. 400°C.



Rys. 2 Inicjacja eksplozji w kolektorze powietrza rozruchowego wg hipotezy wysuniętej przez ClassNK [9]

Fig. 2 Initiation of explosion in starting air manifold according to hypothesis given by ClassNK [9]

3. ŚRODKI ZAPOBIEGAWCZE I MINIMALIZUJĄCE SKUTKI EKSPLOZJI

W praktyce eksploatacyjne stosuje się szereg działań prewencyjnych zmierzających do uniknięcia powstania warunków korzystnych dla inicjacji pożaru lub eksplozji w kolektorze powietrza rozruchowego. Stosowanymi powszechnie środkami zaradczymi przed możliwością powstania eksplozji w kolektorze rozruchowym są:

- prawidłowe przeprowadzanie czynności obsługowych na zaworach rozruchowych i innych elementach systemu powietrza rozruchowego;
- kontrola rodzaju i ilości oleju zbierającego się w kolektorze powietrza rozruchowego silnika;
- rozdzielenie układu rozruchowego każdego z silników od pozostałej części systemu sprężonego powietrza za pomocą zaworów zwrotnych;
- ograniczenie możliwości dostania do kolektora rozruchowego oleju ze sprężarki, a w szczególności: stosowanie odolejaczy-odwadniaczy lub filtrów na rurociągu tłocznym sprężarki, stosowanie automatycznych lub ręcznych układów drenażu zbiorników sprężonego powietrza, stosowanie układu drenażu na kolektorze rozruchowym (rurka lub zawór odwadniający), którego działanie powinno być kontrolowane na bieżąco (drożność).

Aktualnie zgodnie z wymaganiami towarzystw klasyfikacyjnych stosuje się szereg środków technicznych minimalizujących ryzyko powstania oraz skutki potencjalnej eksplozji. Jako podstawowe zabezpieczenia według zaleceń Międzynarodowego Stowarzyszenia Instytucji Klasyfikacyjnych (*IACS*) stosuje się [4, 6]:

- a) dla silników bezpośrednio nawrotnych o średnicy cylindra powyżej 230 mm – wygaszanie płomienia (ang. *flame arrester*) na połączeniu każdego zaworu rozruchowego z kolektorem powietrza rozruchowego (rys. 3A, B) lub bezpieczniki membranowe (ang. *bursting disc*) zainstalowane na dopływie powietrza do każdego zaworu rozruchowego (rys. 3C);
- b) dla nienawrotnych oraz pomocniczych silników spalinowych o średnicy cylindra powyżej 230 mm – akceptuje się pojedynczy bezpiecznik membranowy lub łapacz płomienia zainstalowany na dopływie powietrza do kolektora powietrza rozruchowego.



Rys. 3 Widok podstawowych elementów zabezpieczających dla kolektorów powietrza rozruchowego, A – wygaszacz płomienia stosowany w silnikach MAN B&W L58/67, B – wygaszacz płomienia stosowany w silnikach Wartsila Sulzer RTA, C – bezpiecznik membranowy firmy MAN B&W [6]

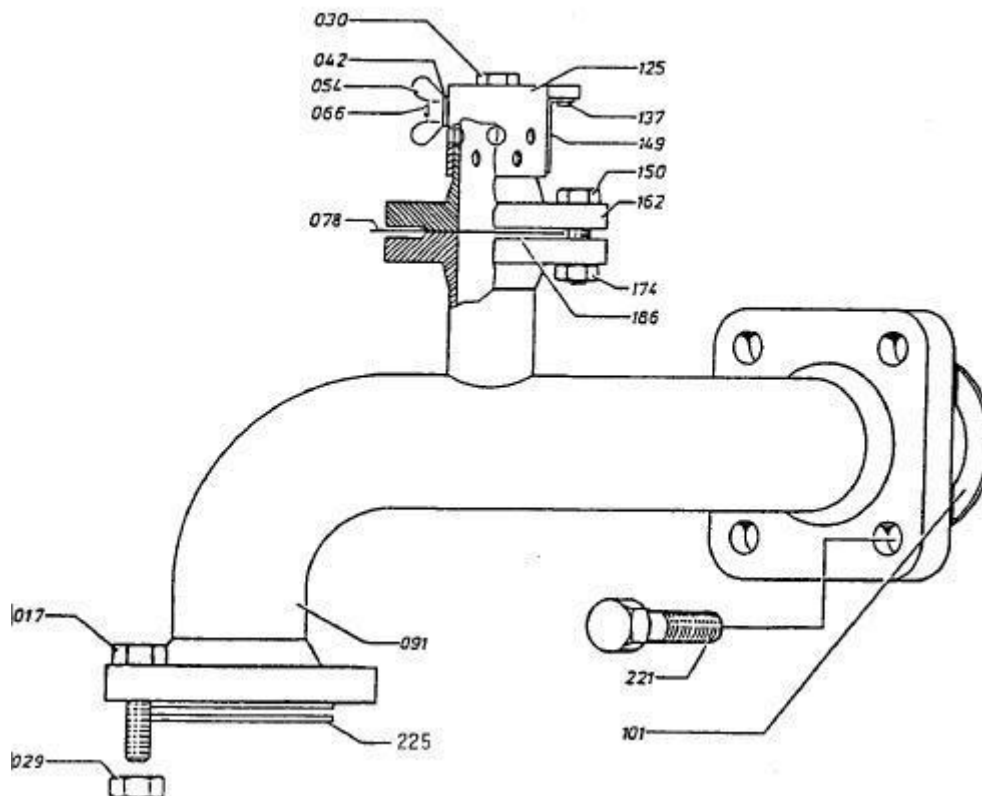
Fig. 3 View of basic elements for starting air manifolds protection, A – flame arrester for MAN B&W L58/67 diesel engine, B- flame arrester for Wartsila Sulzer RTA diesel engines, C – bursting cup of MAN B&W [6]

Na rys. 4 przedstawiono lokalizację bezpiecznika membranowego na rurociągu łączącym kolektor powietrza rozruchowego z zaworem rozruchowym na jednym układzie cylindrowym silnika MAN B&W 6S60 MC [2].

Rysunek przedstawia następujące elementy: 017, 030, 137, 150, 221 – śruba, 029, 174 – nakrętka, 042 – podkładka, 054 – nakrętka skrzydełkowa, 066 – szpilka, 078 – membrana, 091 – rurociąg powietrza rozruchowego, 101, 186, 225 – uszczelka, 125 – kapturek, 149 – płytkę kontrolną, 162 – perforowany cylinder.

Ponadto w układach w rozwiązaniu z łapaczami płomienia zainstalowanymi zamiast bezpieczników membranowych stosuje się pojedynczy klapowy zawór bezpieczeństwa na kolektorze powietrza rozruchowego.

Łapacze płomienia wytwarza się z mosiądzu lub stopów aluminium, które to metale wykazują wysokie ciepło właściwe. Powietrze przepływa przez szereg otworków wykonanych w materiale o kształcie walca. Element ogranicza ryzyko przedostania się płomienia z cylindra do kolektora oraz rozprasza energię cieplną w przypadku nieszczelności zaworu rozruchowego.



Rys. 4 Bezpiecznik membranowy układu cylindrowego silnika MAN B&W S60MC [2]

Fig. 4 Bursting of MAN B&W S60MC engine cylinder unit [2]

Bezpiecznik membranowy składa się z perforowanej pokrywy cylindrycznej pod która znajduje się płytka (membrana) z blachy miedzianej o określonej (kalibrowanej) grubości. W przypadku nadmiernego przyrostu ciśnienia w jednym z przewodów doprowadzających powietrze do zaworów rozruchowych membrana ulega uszkodzeniu i dochodzi do odprowadzenia gazów pod nadmiernym ciśnieniem.

Przepisy towarzystw klasyfikacyjnych ograniczają się jedynie do w/w form zabezpieczeń skutków eksplozji w kolektorze powietrza rozruchowego, a działanie prewencyjne polega na skrupulatnym i terminowym dokonywaniu przeglądów elementów systemu powietrza rozruchowego.

4. PODSUMOWANIE

Według znanego autorom stanu techniki nie stosuje się aktualnie żadnych aktywnych form monitorowania stanu technicznego zaworów rozruchowych na głowicach cylindrowych. Wobec braku systemów nadzoru minimalizujących ryzyko eksplozji w kolektorach powietrza rozruchowego autorzy zaproponowali wprowadzenie układu monitorującego stan zaworów rozruchowych.

Znane są przypadki karygodnych zaniedbań takich jak nieterminowe lub nieprawidłowe dokonywanie przeglądów zaworów rozruchowych oraz zaślepienie przez operatorów drenażu kolektora rozruchowego w celu ograniczenia strat powietrza podczas manewrowania silnikiem. Ponadto kalkulowane przez powszechnie stosowane komputerowe systemy wspomaganie eksploatacji, czasy planowanych przeglądów zaworów rozruchowych (oraz innych elementów silnika) mogą być wyznaczone w nieprawidłowy sposób w wyniku błędów operatora (np. źle wprowadzona data poprzedzającego przeglądu) lub awaria oprogramowania wspomagającego proces przeprowadzania planowanych prac obsługowych elementów silnika. Wszystkie te czynniki wpływają na podwyższenie ryzyka eksplozji w kolektorze powietrza rozruchowego. Wobec

powyższego celem jest prowadzenie badań w zakresie wdrożenia aktywnych systemów diagnozujących zawory rozruchowe silników wysokoprężnych z zaworami rozruchowymi na głowicach.

LITERATURA

1. *Horror Stories Air Start Explosion On The Capetown Castle*. Strona internetowa Marine Diesels (<http://www.marinediesels.info>) 2008.
2. *Instructions Hyundai-B&W Engines – Operation, Maintenance, Code Book*. Hyundai B&W, Ulsan 1998.
3. Listewnik J., Marcinkowski J., *Rozwój konstrukcji okrętowych wolnoobrotowych silników spalinowych*. WSM, Szczecin 2000.
4. *Lloyd's Register Rules and Regulations. Rules and Regulations for the Classification of Naval Ships. Section 7 Starting arrangements. Chapter 7.4 Starting air pipe systems and safety fittings*. LRS, July 2003.
5. *Operating Instructions Hyundai-Sulzer RT-flex 96C-B*. Hyundai Heavy Industries, Ulsan 2006.
6. *Operational Information Air Start Explosions*. Strona internetowa Marine Diesels (<http://www.marinediesels.info>), 2008.
7. Piaseczny L., *Technologia naprawy okrętowych silników spalinowych*. Wydawnictwo Morskie, Gdańsk 1992.
8. Piotrowski I., Witkowski K., *Okrętowe silniki spalinowe*. Trademar, Gdynia 1996.
9. Yuzhong S., Sasaki S., *Experimental Research on Explosion in the Diesel Engine Starting Air Manifold*. ClassNK Tech Bull Vol. 21, 2003, pp. 49-53.

Recenzent: prof. dr hab. inż. Antoni SKOĆ
Politechnika Śląska GLIWICE