



## **PUBLIKACJA INFORMACYJNA 37/I**

### **WYTYCZNE DOTYCZĄCE BEZPIECZEŃSTWA STATKÓW WYKORZYSTUJĄCYCH INSTALACJE ENERGETYCZNE OGNIW PALIWOWYCH**

maj  
2022

Publikacje I (Informacyjne) wydawane przez Polski Rejestr Statków S.A.  
mają charakter instrukcji lub wyjaśnień przydatnych przy stosowaniu  
Przepisów PRS.

GDAŃSK

*Publikacja Informacyjna 37/I – Wytyczne dotyczące bezpieczeństwa statków wykorzystujących instalacje energetyczne ogniow paliwowych – maj 2022*

Niniejsza *Publikacja* została zaakceptowana przez Dyrektora Okręgowego Polskiego Rejestru Statków S.A. w dniu 23 maja 2022 roku.

© Copyright by Polski Rejestr Statków S.A., 2022

PRS/RP, 05/2022

# SPIS TREŚCI

	Str.
<b>1 Informacje ogólne</b> .....	5
1.1 Wstęp .....	5
1.2 Zastosowanie.....	7
1.3 Cel.....	8
1.4 Zalecenia funkcjonalne .....	8
1.5 Definicje.....	9
1.6 Dokumentacja projektowa .....	10
1.7 Certyfikaty i dokumenty zgodności .....	11
1.8 Dokumentacja eksploatacyjna.....	11
1.9 Instrukcja obsługi.....	11
1.10 Plan utrzymania i konserwacji .....	12
<b>2 Materiały</b> .....	12
2.1 Zalecenia ogólne dotyczące materiałów .....	12
<b>3 Projekt instalacji energetycznych ogniw paliwowych</b> .....	12
3.1 Zalecenia ogólne .....	12
3.2 Układ rurociągów dla systemu energetycznego ogniw paliwowych .....	13
3.3 Odprowadzenia gazu i powietrza wylotowego .....	13
3.4 Odprowadzenie gazu przedmuchującego.....	13
3.5 Pomieszczenia ogniw paliwowych .....	13
<b>4 Bezpieczeństwo pożarowe</b> .....	16
4.1 Zalecenia ogólne dotyczące bezpieczeństwa pożarowego i wybuchowego.....	16
4.2 System wykrywania i sygnalizacji pożaru .....	16
4.3 Ochrona przeciwpożarowa i przeciwybuchowa.....	16
4.4 Gaszenie pożarów .....	17
4.5 Klapy przeciwpożarowe.....	17
<b>5 Instalacje elektryczne</b> .....	17
5.1 Zalecenia ogólne dotyczące instalacji elektrycznych.....	17
5.2 Klasyfikacja obszarów zagrożenia .....	18
<b>6 Systemy sterowania, monitorowania i bezpieczeństwa</b> .....	18
6.1 Zalecenia ogólne dotyczące systemów sterowania, monitorowania i bezpieczeństwa .....	18
6.2 Wykrywanie gazu lub oparów .....	19
6.3 Działanie wentylacji.....	19
6.4 Studzienki zęzowe .....	19
6.5 Ręczne wyłączenie awaryjne .....	19
6.6 Funkcje systemu alarmowego i systemu bezpieczeństwa .....	19
6.7 Alarmy .....	20
6.8 Funkcje bezpieczeństwa.....	21
<b>7 Rozwiązania alternatywne</b> .....	22
7.1 Zasady ogólne .....	22
<b>8 Próby działania na statku</b> .....	22
8.1 Systemy rurociągów paliwowych .....	22
8.2 Próby kompletnego systemu ogniw paliwowych.....	23



## 1 INFORMACJE OGÓLNE

### 1.1 Wstęp

Ogniwa paliwowe są klasyfikowane przede wszystkim ze względu na rodzaj stosowanego w nich elektrolitu. Klasyfikacja ta określa również rodzaj reakcji elektrochemicznych zachodzących w ogniwie, rodzaj wymaganych katalizatorów, zakres temperatur pracy ogniwa, wymagane paliwo i inne czynniki. Te cechy z kolei wpływają na zastosowania, do których te ogniwa są najbardziej odpowiednie. Obecnie istnieje kilka rodzajów ogniwo paliwowych, z których każdy ma swoje zalety, ograniczenia i potencjalne zastosowania.

Rodzaj ogniwa	Zakres temperatur pracy [°C]	Paliwo	Elektrolit
PEMFC	40-90	Wodór (H <sub>2</sub> )	Membrana przewodząca protony
AFC	40-200	Wodór(H <sub>2</sub> )	Wodorotlenek potasu (KOH)
DMFC	60-130	Metanol (CH <sub>3</sub> OH)	Membrana przewodząca protony
PAFC	200	Wodór (H <sub>2</sub> )	Kwas fosforowy (H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> )
MCFC	650	Metan (CH <sub>4</sub> ), wodór (H <sub>2</sub> )	Stopiony węgiel
SOFC	600-950	Metan (CH <sub>4</sub> ), wodór (H <sub>2</sub> )	Stały tlenek

**PEMFC** – ogniwa paliwowe z membraną polimerowo-elektrolitową zwane również ogniwami paliwowymi z membraną do wymiany protonów. Zapewniają one wysoką gęstość mocy i mają stosunkowo małą masę i objętość w porównaniu z innymi ogniwami paliwowymi. Ogniwa te wykorzystują stały polimer jako elektrolit i porowate elektrody węglowe zawierające katalizator platynowy lub ze stopu platyny. Do działania potrzebują tylko wodoru, tlenu z powietrza i wody. Zazwyczaj są zasilane czystym wodorem dostarczanym ze zbiorników magazynowych lub z reformerów.

Ogniwa PEMFC działają w stosunkowo niskich temperaturach, około 80°C, co umożliwia ich szybkie uruchomienie (krótki czas nagrzewania) i skutkuje mniejszym zużyciem elementów systemu oraz przekłada się na ich lepszą trwałość. Wymaga to jednak zastosowania katalizatora z metalu szlachetnego (zwykle platyny) do rozdzielania elektronów i protonów wodoru, który zwiększa koszt systemu. Katalizator platynowy jest niezwykle wrażliwy na „zatrucie” tlenkiem węgla (CO), co sprawia, że konieczne jest zastosowanie dodatkowego reaktora do redukcji CO w paliwie gazowym, jeśli wodór pochodzi z paliwa węglowodorowego. Taki reaktor dodatkowo podnosi koszty systemu.

Ogniwa PEMFC są uważane za najbardziej wszechstronny rodzaj obecnie produkowanych ogniwo paliwowych. Dostarczają one najwięcej mocy w odniesieniu do danej wagi lub objętości ogniwa. Ponieważ są lekkie, zapewniają wysoką gęstość mocy i mają możliwość zimnego rozruchu, kwalifikują się do wielu zastosowań, takich jak stacjonarne elektrociepłownie, transport lądowy i wodny, przenośne zasilanie oraz statki kosmiczne.

**AFC** – alkaliczne ogniwa paliwowe. Były one jedną z pierwszych opracowanych technologii ogniwo paliwowych i pierwszym typem szeroko stosowanym w amerykańskim programie kosmicznym do produkcji energii elektrycznej i wody na pokładzie statków kosmicznych. Takie ogniwa paliwowe wykorzystują roztwór wodorotlenku potasu w wodzie jako elektrolit i mogą wykorzystywać różne metale nieszlachetne jako katalizatory na anodzie i katodzie. W ostatnich latach opracowano nowatorskie ogniwa alkaliczne wykorzystujące membranę polimerową jako elektrolit (ogniwa **AMFC**). Te ogniwa paliwowe są blisko spokrewnione z konwencjonalnymi ogniwami

PEMFC, z wyjątkiem tego, że wykorzystują membranę alkaliczną zamiast membrany kwasowej. Wysoka wydajność AFC wynika z szybkości, z jaką w ogniwie zachodzą reakcje elektrochemiczne. W zastosowaniach kosmicznych wykazały się sprawnością powyżej 60%.

Kluczowym wyzwaniem dla tego typu ogniw paliwowych jest ich podatność na „zatrucie” dwutlenkiem węgla ( $\text{CO}_2$ ). Nawet niewielka ilość  $\text{CO}_2$  w powietrzu może drastycznie wpłynąć na wydajność i trwałość ogniw z powodu tworzenia się węglanów. Ogniw alkaliczne z ciekłym elektrolitem mogą pracować w trybie recyrkulacji, co pozwala na regenerację elektrolitu w celu zmniejszenia skutków tworzenia się węglanów w elektrolicie, ale tryb recyrkulacji wprowadza problemy z prądami bocznikowymi. Systemy z ciekłym elektrolitem mają również dodatkowe problemy, w tym zwilżalność, zwiększoną korozję i trudności w radzeniu sobie z różnicami ciśnień. Alkaliczne ogniw paliwowe z membraną (AMFC) rozwiązują te problemy i są mniej podatne na „zatrucie”  $\text{CO}_2$  niż AFC z ciekłym elektrolitem. Obecność  $\text{CO}_2$  nadal ma jednak wpływ na wydajność, a wydajność i trwałość AMFC wciąż pozostają w tyle za PEMFC. AMFC są rozważane do zastosowań w skali od W do kW. Wyzwaniami dla AMFC są: tolerancja na  $\text{CO}_2$ , przewodność i trwałość membrany, praca w wyższych temperaturach, gospodarka wodna, gęstość mocy i elektrokataliza anodowa.

**DMFC** – ogniw paliwowe bezpośrednio zasilane metanolem. Większość ogniw paliwowych jest zasilana wodorem, który może być podawany bezpośrednio do systemu ogniw paliwowych lub może być wytwarzany w systemie ogniw paliwowych poprzez reformowanie paliw bogatych w wodór, takich jak metanol, etanol i paliwa węglowodorowe. DMFC są zasilane metanolem, który jest zwykle mieszany z wodą i podawany bezpośrednio do anody ogniwa paliwowego. Ogniw te nie mają wielu problemów związanych z przechowywaniem paliwa typowych dla niektórych systemów ogniw paliwowych, ponieważ metanol ma wyższą gęstość energii niż wodór, chociaż mniejszą niż benzyna czy olej napędowy. Metanol jest również łatwiejszy w transporcie i dostarczaniu przy wykorzystaniu obecnej infrastruktury, ponieważ jest cieczą, podobnie jak benzyna. DMFC są często używane do zasilania przenośnych urządzeń, takich jak telefony komórkowe lub laptopy.

**PAFC** – ogniw paliwowe z kwasem fosforowym. Wykorzystują one ciekły kwas fosforowy jako elektrolit oraz porowate elektrody węglowe zawierające katalizator platynowy. Kwas jest zawarty w matrycy z węgla krzemu połączonego teflonem. PAFC jest uważany za „pierwszą generację” nowoczesnych ogniw paliwowych. Jest to jeden z najbardziej dojrzałych technologicznie typów ogniw i pierwszy do komercyjnego zastosowania. Ten typ ogniwa paliwowego jest zwykle używany do stacjonarnego wytwarzania energii, ale niektóre PAFC są wykorzystywane do zasilania dużych pojazdów, takich jak autobusy miejskie.

PAFC zasilane wodorem uzyskanym z paliw kopalnych, są bardziej odporne na zanieczyszczenia zawarte w paliwach kopalnych, niż ogniw PEMFC, które łatwo „zatrują się” tlenkiem węgla. PAFC mają sprawność powyżej 85%, gdy są wykorzystywane do jednoczesnego wytwarzania (kogeneracji) energii elektrycznej i ciepła, ale są mniej wydajne przy wytwarzaniu samej energii elektrycznej (37%–42%). Sprawność PAFC jest tylko nieznacznie wyższa niż w przypadku elektrowni działającej w oparciu o proces spalania, które zazwyczaj uzyskują sprawność około 33%. PAFC produkują również mniej energii niż inne ogniw paliwowe, biorąc pod uwagę tę samą wagę i objętość urządzenia. W rezultacie te ogniw są zazwyczaj duże i ciężkie. PAFC są również drogie. Wymagają znacznie większych ładunków drogiego katalizatora platynowego niż inne typy ogniw paliwowych, co podnosi koszty.

**MCFC** – ogniw paliwowe ze stopionym węglanem. Obecnie są one opracowywane dla elektrowni zasilanych gazem ziemnym i węglem stosowanych w przemyśle i w wojsku. MCFC to wysokotemperaturowe ogniw paliwowe wykorzystujące elektrolit składający się ze stopionej mieszaniny soli węglanu zawieszonyj w porowatej, chemicznie obojętnej ceramicznej matrycy z tlenku

glinu i litu. Ponieważ działają one w wysokich temperaturach (650°C), na anodzie i katodzie jako katalizatory można stosować metale nieszlachetne, co obniża koszty.

Lepsza sprawność to kolejny powód, dla którego MCFC oferują znaczne obniżenie kosztów w porównaniu z ogniwami PAFC. Ogniwa MCFC, w połączeniu z turbiną, mogą osiągnąć sprawność zbliżoną do 65%, znacznie wyższą niż 37%-42% sprawności elektrowni PAFC. **Jeżeli wykorzystuje się również** ciepło odpadowe, to sprawność ogólna może wynieść ponad 85%. Ogniwa MCFC, w przeciwieństwie do ogniw AFC, PAFC i PEMFC, nie wymagają zewnętrznego reformera do przetwarzania paliw, takich jak gaz ziemny i biogaz, w wodór. W wysokich temperaturach, w których działają MCFC, metan i inne lekkie węglowodory zawarte w tych paliwach są przekształcane w wodór w samym ogniwie paliwowym w procesie zwanym reformingiem wewnętrznym, co obniża koszty systemu.

Podstawową wadą ogniw MCFC jest ich trwałość. Wysokie temperatury, w jakich działają te ogniwa, oraz zastosowany korozyjny elektrolit przyspieszają rozpad i korozję elementów, skracając żywotność ogniw. Obecnie wynosi ona około 40 000 godzin (5 lat) bez zmniejszenia wydajności, a naukowcy pracują nad podwojeniem tego czasu poprzez zastosowanie innych odpornych na korozję materiałów oraz zmianę konstrukcji ogniw.

**SOFC** – ogniwa paliwowe ze stałym tlenkiem. Wykorzystują one twarde, nieporowaty związek ceramiczny jako elektrolit. SOFC mają sprawność około 60% przy zamianie paliwa na energię elektryczną. W zastosowaniach zaprojektowanych również do wykorzystywania ciepła odpadowego z systemu (kogeneracja) sprawność ogólna może osiągnąć 85%. SOFC działają w bardzo wysokich temperaturach do 950°C. Praca w wysokiej temperaturze eliminuje potrzebę stosowania katalizatora z metali szlachetnych, zmniejszając w ten sposób koszty oraz umożliwia reforming wewnętrzny, co pozwala na stosowanie różnych paliw i zmniejsza koszty związane z dodaniem osobnego reformera do systemu.

SOFC są również najbardziej odpornym na siarkę typem ogniw paliwowych; mogą tolerować o kilka rzędów wielkości więcej siarki niż inne typy ogniw. Ponadto nie ulegają „zatruciu” tlenkiem węgla, który można nawet wykorzystać jako paliwo. Ta właściwość pozwala SOFC na wykorzystanie gazu ziemnego, biogazu i gazów otrzymanych z węgla. Praca w wysokiej temperaturze ma jednak swoje wady – powolny rozruch oraz znaczna osłona termiczna, aby zatrzymać ciepło i chronić personel. Wyklucza to w zasadzie zastosowanie tych ogniw w transporcie. Wysokie temperatury pracy nakładają również surowe wymagania odnośnie trwałości materiałów. Rozwój takich materiałów o wysokiej trwałości w temperaturach pracy ogniw to kluczowe wyzwanie techniczne stojące przed tą technologią.

Prowadzone prace badawcze dotyczą możliwości zbudowania SOFC działających w temperaturze 700°C lub niższej, które mają mniej problemów z trwałością i są tańsze. Niskotemperaturowe SOFC nie dorównują jeszcze sprawnością systemom o wyższej temperaturze, a materiały do ich budowy są wciąż w fazie rozwoju.

## 1.2 Zastosowanie

**1.2.1** Niniejsza *Publikacja* ma zastosowanie do instalacji energetycznych ogniw paliwowych, które mogą być stosowane na statkach lub obiektach pływających morskich i śródlądowych nadzorowanych i klasyfikowanych przez PRS. Jeżeli instalacje takie miałyby wchodzić w skład podstawowego lub awaryjnego źródła energii elektrycznej to wytyczne i zalecenia zawarte w niniejszej *Publikacji* należy traktować jako obowiązkowe wymagania.

**1.2.2** Niniejsza *Publikacja* została opracowana na podstawie *Tymczasowych wytycznych dotyczących bezpieczeństwa statków wykorzystujących instalacje energetyczne ogniw paliwowych*, przygotowanych przez Podkomitet IMO CCC (zatwierdzonych dnia 15 czerwca 2022 r. jako MSC.1/Circ.1647) oraz innych materiałów źródłowych wymienionych na końcu niniejszej *Publikacji*. Na końcu podano również najważniejsze normy dotyczące ogniw paliwowych.

**1.2.3** Zasady dotyczące przechowywania, przygotowania i dystrybucji paliw ciekłych i gazowych o niskiej temperaturze zapłonu oraz doboru materiałów i armatury dla takich paliw, powinny być zgodne z *Kodeksem IGF* oraz mającymi zastosowanie normami.

### 1.3 Cel

**1.3.1** Celem niniejszej *Publikacji* jest określenie zaleceń dotyczących bezpiecznego i niezawodnego dostarczania energii elektrycznej i/lub ciepłej przy wykorzystaniu technologii ogniw paliwowych. Celem jej jest również określenie zalecanych kryteriów odnośnie rozmieszczenia i montażu instalacji energetycznych ogniw paliwowych, niezależnie od typu stosowanych ogniw paliwowych jak i rodzaju paliwa.

### 1.4 Zalecenia funkcjonalne

**1.4.1** Bezpieczeństwo, solidność i niezawodność systemów powinny być równoważne w przypadku nowych i porównywalnych konwencjonalnych głównych i pomocniczych instalacji maszynowych zasilanych paliwem olejowym, niezależnie od konkretnego typu ogniwa paliwowego jak i samego paliwa.

**1.4.2** Prawdopodobieństwo i konsekwencje zagrożeń związanych z paliwem powinny być ograniczone do minimum poprzez zaprojektowanie i wykonanie takich systemów, jak wentylacja, wykrywanie i funkcje bezpieczeństwa. W przypadku wycieku gazu lub niezadziałania środków zmniejszających ryzyko, powinny zostać uruchomione niezbędne funkcje bezpieczeństwa.

**1.4.3** Filozofia projektowania powinna zapewniać, że środki zmniejszające ryzyko i funkcje bezpieczeństwa dla instalacji energetycznej ogniw paliwowych nie doprowadzą do niedopuszczalnej utraty mocy.

**1.4.4** Obszary zagrożenia powinny być ograniczone, tak dalece, jak to jest praktycznie możliwe, w celu zminimalizowania potencjalnych zagrożeń, które mogłyby mieć wpływ na bezpieczeństwo statku, osób na statku i wyposażenia.

**1.4.5** Wyposażenie instalowane w obszarach zagrożenia powinno być ograniczone do niezbędnego dla celów eksploatacyjnych oraz powinno być właściwie i odpowiednio certyfikowane.

**1.4.6** Pomieszczenia ogniw paliwowych powinny być tak zaprojektowane, aby zapobiec niezamierzonemu gromadzeniu się wybuchowych, palnych lub toksycznych stężeń gazów.

**1.4.7** Elementy systemu ogniw paliwowych powinny być zabezpieczone przed uszkodzeniami zewnętrznymi.

**1.4.8** Źródła zapłonu w obszarach zagrożenia powinny być ograniczone do minimum w celu zmniejszenia prawdopodobieństwa wybuchu.

**1.4.9** Powinny zostać przewidziane systemy rurociągów i urządzenia do rozładowania nadciśnienia, które będą odpowiednio zaprojektowane, skonstruowane i zainstalowane zgodnie z ich zamierzonym zastosowaniem.



**1.4.10** Urządzenia maszynowe, systemy i komponenty powinny być projektowane, konstruowane, instalowane, obsługiwane, konserwowane i chronione w celu zapewnienia bezpiecznej i niezawodnej pracy.

**1.4.11** Pomieszczenia ogniw paliwowych powinny mieć taki układ i być tak usytuowane, aby pożar lub wybuch w którymkolwiek z nich nie doprowadził do niedopuszczalnej utraty mocy ani nie spowodował, że wyposażenie w innych przedziałach nie będzie się nadawało do użytku.

**1.4.12** Powinny zostać przewidziane systemy sterowania, alarmowania, monitorowania i wyłączenia, w celu zapewnienia bezpiecznej i niezawodnej pracy.

**1.4.13** Powinny zostać przewidziane stałe systemy wykrywania przecieków odpowiednie dla wszystkich przestrzeni i obszarów, których to dotyczy.

**1.4.14** Powinny zostać przewidziane środki do wykrywania, ochrony przed i do gaszenia pożarów odpowiednie do istniejących zagrożeń.

**1.4.15** Uruchomienie, próby, utrzymanie i konserwacja systemów paliwowych i urządzeń wykorzystujących gaz powinny spełniać cel w zakresie bezpieczeństwa, dostępności i niezawodności.

**1.4.16** Dokumentacja techniczna powinna umożliwiać ocenę zgodności systemu i jego elementów z obowiązującymi przepisami, wytycznymi, stosowanymi standardami projektowymi oraz zasadami związanymi z bezpieczeństwem, dostępnością, możliwością utrzymania i konserwacji oraz niezawodnością.

**1.4.17** Pojedyncza awaria w systemie technicznym lub elemencie nie powinna prowadzić do sytuacji niebezpiecznej lub niepewnej.

**1.4.18** Powinien zostać przewidziany bezpieczny dostęp w celu obsługi, przeglądów, utrzymania i konserwacji.

## 1.5 Definicje

Dla potrzeb niniejszej *Publikacji* mają zastosowanie definicje podane w niniejszym rozdziale. Terminy niezdefiniowane mają takie samo znaczenie, jak podano w rozdziale II-2 *Konwencji SOLAS* i *Kodeksie IGF*.

**1.5.1** *Ogniwo paliwowe* jest źródłem energii elektrycznej, w którym energia chemiczna paliwa ogniwa paliwowego jest przekształcana bezpośrednio w energię elektryczną i ciepłą poprzez utlenianie elektrochemiczne.

**1.5.2** *Stos ogniw paliwowych* oznacza zespół ogniw, separatorów, płyt chłodzących, kolektorów i konstrukcję nośną, który w sposób elektrochemiczny przekształca zwykle gaz bogaty w wodór oraz powietrzny substrat reakcji w prąd stały, ciepło i inne produkty reakcji.

**1.5.3** *Reformer paliwa* jest to układ wszystkich powiązanych ze sobą urządzeń do przetwarzania paliwa, który przerabia gazowe lub ciekłe paliwa pierwotne na paliwo przetworzone wykorzystywane w ogniwach paliwowych.

**1.5.4** *System energetyczny ogniw paliwowych* jest to grupa elementów, które mogą zawierać paliwo lub niebezpieczne opary, np. ogniwo(-a) paliwowe, reformery paliwa, jeśli są zamontowane, oraz związane z nimi systemy rurociągów.

**1.5.5 Instalacja energetyczna ogniw paliwowych** jest to system energetyczny ogniw paliwowych oraz inne elementy i systemy niezbędne do zasilania statku w energię elektryczną. Może również obejmować systemy pomocnicze potrzebne do pracy ogniw paliwowych.

**1.5.6 Pomieszczenie ogniwa paliwowego** jest to pomieszczenie lub obudowa zawierająca systemy energetyczne ogniw paliwowych lub części systemów energetycznych ogniw paliwowych.

**1.5.7 Gaz wylotowy** jest to gaz odprowadzany z reformera paliwa lub ze strony anodowej ogniwa paliwowego.

**1.5.8 Powietrze wylotowe** jest to powietrze odprowadzane ze strony katodowej ogniwa paliwowego.

**1.5.9 Paliwo pierwotne** jest to paliwo doprowadzane do systemu energetycznego ogniw paliwowych.

**1.5.10 Paliwo przetworzone** jest to wodór lub gaz bogaty w wodór, wytwarzany w reformerze paliwa.

**1.5.11 Powietrze procesowe** jest to powietrze doprowadzane do reformera paliwa i/lub do strony katodowej ogniwa paliwowego.

**1.5.12 Powietrze wentylacyjne** jest to powietrze używane do wentylacji pomieszczenia ogniwa paliwowego.

**1.5.13 DGW** oznacza dolną granicę wybuchowości (LEL), która w kontekście niniejszej *Publikacji* powinna być przyjmowana jako dolna granica palności (LFL) i która wynosi 4% udziału objętościowego wodoru\*.

\* Odnośnie granicznych wartości palności wodoru patrz ISO/TR 15916:2015 *Podstawowe zagadnienia dotyczące bezpieczeństwa instalacji wodorowych*

**1.5.14 Niedopuszczalna utrata mocy** ma miejsce wtedy, gdy nie jest możliwe utrzymanie lub przywrócenie normalnej pracy urządzeń napędowych w przypadku awarii jednego z ważnych urządzeń pomocniczych, zgodnie z prawidłem II-1/26.3 *Konwencji SOLAS*.

## 1.6 Dokumentacja projektowa

Dokumentacja projektowa powinna obejmować następujące pozycje:

**1.6.1** Dokumentację ogólną instalacji energetycznej ogniw paliwowych, zawierającą:

- Opis ogólny i funkcjonalny instalacji;
- Opis funkcji bezpieczeństwa instalacji;
- Plan rozmieszczenia urządzeń instalacji na statku;
- Plan obszarów i stref zagrożenia;
- Analizę ryzyka.

**1.6.2** Dokumentację pomieszczenia ogniw paliwowych, zawierającą:

- Plan rozmieszczenia ogniw/stosów paliwowych;
- System wentylacji oraz, jeżeli zainstalowano, zubożniania pomieszczenia;
- Instalacje elektryczne w pomieszczeniu;
- Ochronę przeciwpożarową bierną (konstrukcyjną) i czynną (instalacja gaśnicza).

**1.6.3** Dokumentację instalacji paliwa pierwotnego/przetworzonego, zawierającą:

- Instalację bunkrowania i przechowywania paliwa;
- Instalację przetwarzania paliwa;
- Instalację doprowadzenia paliwa do ogniw;
- Systemy rozładowania ciśnienia i przedmuchu rurociągów paliwa gazowego;
- Odpowietrzenia zbiorników paliwa;
- Obliczenia średnic rurociągów;
- Dobór urządzeń i armatury;
- Wykaz elementów ciśnieniowych;
- Wykaz materiałów i elementów instalacji;
- Wykaz certyfikatów i dokumentów zgodności.

**1.6.4** Dokumentację systemów sterowania, monitoringu i bezpieczeństwa oraz systemów pomocniczych, zawierającą:

- System sterowania i monitorowania pracy ogniw paliwowych;
- Opisy stanów alarmowych;
- System funkcji bezpieczeństwa;
- System wyłączenia awaryjnego (ESD) ogniw paliwowych;
- Instalacje wykrywania gazu i alarmowania;
- Instalacje wykrywania i sygnalizacji pożaru;
- Instalacja odprowadzenia produktów reakcji z ogniw paliwowych;
- Instalacja chłodzenia ogniw paliwowych.

**1.6.5** Dokumentację systemu elektrycznego instalacji energetycznych ogniw paliwowych.**1.6.6** Program końcowego odbioru i prób instalacji energetycznych ogniw paliwowych.**1.7 Certyfikaty i dokumenty zgodności**

Urządzenia i komponenty instalacji energetycznych ogniw paliwowych powinny być dostarczane z odpowiednimi certyfikatami i/lub dokumentami zgodności. O rodzaju wymaganego certyfikatu/dokumentu zgodności decyduje każdorazowo PRS.

**1.8 Dokumentacja eksploatacyjna**

Na statku powinna znajdować się dokumentacja dotycząca bezpiecznej obsługi oraz utrzymania i konserwacji instalacji energetycznych ogniw paliwowych, obejmująca:

- .1 dokumentację projektową instalacji energetycznych ogniw paliwowych wymienioną w punkcie 1.6;
- .2 instrukcję obsługi wszystkich systemów i urządzeń instalacji energetycznych ogniw paliwowych wymienione w punkcie 1.9;
- .3 plan utrzymania i konserwacji wymieniony w punkcie 1.10.

**1.9 Instrukcja obsługi**

**1.9.1** Instrukcja obsługi instalacji energetycznych ogniw paliwowych, o której mowa w 1.8.2, powinna zawierać co najmniej:

- .1 informacje ogólne dotyczące eksploatacji statku, łącznie z procedurami bunkrowania paliwa i, tam gdzie ma to zastosowanie, procedurami rozładunku, zubożenia i odgazowywania;
- .2 specyficzne właściwości paliw pierwotnych i przetworzonych stosowanych w instalacji energetycznych ogniw paliwowych oraz specjalne wyposażenie niezbędne do bezpiecznego obchodzenia się z danym paliwem;

- .3 procedury awaryjne na wypadek wycieku, pożaru lub zatrucia
- .4 sposób obsługi stałych i przenośnych urządzeń do wykrywania niebezpiecznego stężenia gazu;
- .5 sposób obsługi systemów awaryjnego wyłączenia (ESD), jeżeli są instalowane; oraz
- .6 schemat instalacji paliwa pierwotnego i przetworzonego.

**1.9.2** Schemat instalacji paliwa pierwotnego i przetworzonego powinien być na stałe wywieszony w pomieszczeniu ogniwa paliwowego.

## **1.10 Plan utrzymania i konserwacji**

Plan utrzymania i konserwacji powinien zawierać harmonogram i informacje dotyczące okresowych przeglądów, testów, utrzymania i konserwacji dla wszystkich systemów związanych z instalacją energetyczną ogniw paliwowych.

## **2 MATERIAŁY**

### **2.1 Zalecenia ogólne dotyczące materiałów**

**2.1.1** Materiały w instalacji energetycznej ogniw paliwowych powinny być odpowiednie do zamierzonego zastosowania i powinny być zgodne z uznanymi normami.

**2.1.2** Stosowanie materiałów palnych w systemie energetycznym ogniw paliwowych powinno być ograniczone do minimum.

**2.1.3** Jako materiał mający kontakt z paliwem przetworzonym powinna być stosowana austenityczna stal nierdzewna. Inne materiały mogą zostać zaakceptowane po specjalnym rozpatrzeniu przez PRS.

## **3 PROJEKT INSTALACJI ENERGETYCZNYCH OGNIW PALIWOWYCH**

### **3.1 Zalecenia ogólne**

**3.1.1** W przypadku każdej nowej lub zmienionej koncepcji lub konfiguracji instalacji energetycznej ogniw paliwowych powinna zostać przeprowadzona analiza ryzyka w celu zapewnienia, że wszelkie zagrożenia wynikające z użycia ogniw paliwowych, które mają wpływ na integralność statku, zostały uwzględnione. Powinna zostać zwrócona uwaga na zagrożenia związane z instalacją, obsługą, utrzymaniem i konserwacją, po każdej możliwej do przewidzenia awarii.

**3.1.2** Ryzyko powinno być analizowane przy użyciu akceptowalnych i uznanych technik analizy ryzyka. Czynniki takie jak uszkodzenia mechaniczne komponentów, wpływ działań operacyjnych, pogody, usterki elektryczne, niepożądane reakcje chemiczne, toksyczność, samozapłon paliw, pożar, wybuch, krótkoterminowa awaria zasilania (blackout), powinny być rozpatrywane jako minimum. Analiza powinna zapewnić eliminację ryzyka tam, gdzie jest to możliwe. Ryzyka, których nie można wyeliminować, powinny zostać zmniejszone jak to konieczne.

**3.1.3** Projekt instalacji energetycznej ogniw paliwowych powinien zapewnić, że pojedyncza awaria w instalacji nie doprowadzi do niedopuszczalnej utraty mocy.

**3.1.4** Instalacja energetyczna ogniw paliwowych powinna być tak zaprojektowana, aby w sytuacji awaryjnej zalecane funkcje bezpieczeństwa nie prowadziły do niedopuszczalnej utraty mocy.

### 3.2 Układ rurociągów dla systemu energetycznego ogniw paliwowych

Wszystkie rurociągi zawierające wodór lub paliwo przetworzone do systemów energetycznych ogniw paliwowych, jeśli są zamontowane, to:

- .1 nie powinny być prowadzone przez zamknięte pomieszczenia poza pomieszczeniami ogniw paliwowych;
- .2 powinny być w pełni spawane, o ile jest to możliwe;
- .3 powinny być tak zaprojektowane, aby zminimalizować liczbę połączeń; oraz
- .4 powinny być zaopatrzone w stałe detektory wodoru zdolne do wykrywania wycieku wodoru w miejscach, w których może nastąpić wyciek wodoru, takich jak zawory, kołnierze i uszczelnienia.

### 3.3 Odprowadzenia gazu i powietrza wylotowego

**3.3.1** Gazy i powietrze wylotowe z systemów energetycznych ogniw paliwowych nie powinny być łączone z żadnym systemem wentylacji z wyjątkiem wentylacji obsługującej pomieszczenia ogniw paliwowych i powinny być wyprowadzone w bezpieczne miejsce na otwartej przestrzeni.

**3.3.2** Jeżeli nie można wykluczyć obecności gazów wybuchowych, to wyprowadzenia powietrza i/lub gazu wylotowego powinno być wykonane jako wylot z obszaru zagrożenia.

### 3.4 Odprowadzenie gazu przedmuchującego

Rurociągi przedmuchiwania z systemów energetycznych ogniw paliwowych powinny być wyprowadzone oddzielnie na zewnątrz i powinny być wykonane jako wylot z obszaru zagrożenia.

### 3.5 Pomieszczenia ogniw paliwowych

#### 3.5.1 Zalecenia ogólne

**3.5.1.1** Instalacje energetyczne ogniw paliwowych powinny być zaprojektowane do pracy automatycznej i wyposażone we wszystkie urządzenia monitorujące i sterujące wymagane dla bezpiecznej pracy systemu.

**3.5.1.2** Powinna istnieć możliwość wyłączenia systemu energetycznego ogniw paliwowych z łatwo dostępnego miejsca poza pomieszczeniami ogniw paliwowych.

**3.5.1.3** Powinny zostać przewidziane środki do bezpiecznego usunięcia paliwa pierwotnego i przetworzonego z systemu energetycznego ogniw paliwowych.

**3.5.1.4** Powinny zostać przewidziane środki do przełączenia instalacji energetycznej ogniwa paliwowego w bezpieczny stan w celu konserwacji i wyłączenia.

**3.5.1.5** W przypadku systemów pomocniczych systemu energetycznego ogniw paliwowych, w których paliwo pierwotne lub paliwo przetworzone może wyciec bezpośrednio do czynnika w układzie (np. do wody chłodzącej), takie systemy pomocnicze powinny być wyposażone w odpowiednie środki do usuwania i wykrywania zamontowane jak najbliżej wylotu czynnika z układu, aby zapobiec rozpraszaniu się gazu. Gaz usuwany z czynnika układu pomocniczego powinien być odprowadzany w bezpieczne miejsce na pokładzie otwartym.

**3.5.1.6** Wyposażenie do przetwarzania paliwa, jeżeli jest instalowane, może stanowić integralną część ogniwa paliwowego lub niezależne urządzenie z rurociągiem paliwa przetworzonego podłączonym do ogniwa paliwowego/ogniw paliwowych.

**3.5.1.7** Przegrody będące granicami pomieszczenia ogniw paliwowych powinny być gazoszczelne w stosunku do innych zamkniętych pomieszczeń statku.

**3.5.1.8** Pomieszczenia ogniw paliwowych powinny być tak zaprojektowane, aby bezpiecznie zatrzymywać wycieki paliwa i być wyposażone w odpowiednie systemy wykrywania wycieków oraz mieć taką konfigurację, aby uniknąć gromadzenia się gazu bogatego w wodór\*, dzięki prostemu kształtowi geometrycznemu i braku konstrukcji utrudniających przepływ w górnej części.

\* Patrz również IEC 60079-10-1:2020.

**3.5.1.9** Pomieszczenia ogniw paliwowych zawierające reformery paliwa powinny również spełniać zalecenia dotyczące paliwa pierwotnego.

**3.5.1.10** Zbiorniki do tymczasowego przechowywania paliwa pierwotnego lub przetworzonego, jeśli są konieczne, powinny być umieszczone poza pomieszczeniem ogniw paliwowych zawierającym ogniwa paliwowe.

**3.5.1.11** Zasadniczo temperatura powierzchni elementów i rur w pomieszczeniu ogniwa paliwowego nigdy nie powinna przekraczać temperatury samozapłonu stosowanego paliwa.

**3.5.1.12** Systemy energetyczne ogniw paliwowych o temperaturze paliwa przetworzonego powyżej temperatury samozapłonu powinny być przedmiotem szczególnego rozpatrzenia w ramach analizy ryzyka.

### **3.5.2 Lokalizacja i dostęp**

**3.5.2.1** Pomieszczenia ogniw paliwowych powinny być usytuowane poza pomieszczeniami mieszkalnymi, służbowymi, przedziałami maszynowymi kategorii A i stanowiskami dowodzenia.

**3.5.2.2** Jeżeli nie można zapewnić niezależnego i bezpośredniego dostępu do pomieszczeń ogniw paliwowych z pokładu otwartego, to dostęp do nich powinien odbywać się przez służbę powietrzną, zgodną z Kodeksem IGF.

**3.5.2.3** Śluza powietrzna nie musi być stosowana, jeżeli zapewniono odpowiednie rozwiązania techniczne, dzięki którym dostęp do pomieszczenia nie jest konieczny ani możliwy przed bezpiecznym wyłączeniem znajdującego się w nim wyposażenia, odcięciem od instalacji paliwowej, odprowadzeniem wycieków, oraz potwierdzeniem, że atmosfera wewnątrz jest wolna od gazu.

**3.5.2.4** Rozwiązania te obejmują, lecz nie ograniczają się do następujących:

- .1 wszystkie elementy sterujące potrzebne do bezpiecznej obsługi i do odgazowania wyposażenia oraz pomieszczenia powinny być zdalnie obsługiwane spoza pomieszczenia;
- .2 wszystkie parametry konieczne do bezpiecznej pracy i odgazowania powinny być zdalnie monitorowane i posiadać sygnalizację alarmową;
- .3 otwory w pomieszczeniu powinny być wyposażone w blokady uniemożliwiające działanie instalacji energetycznej ogniw paliwowych, gdy pomieszczenie jest otwarte;
- .4 pomieszczenia powinny być wyposażone w odpowiednie urządzenia do zbierania i odprowadzania wycieków paliwa, zdalnie sterowanie spoza pomieszczenia; oraz
- .5 powinna zostać zapewniona możliwość odcięcia wyposażenia paliwowego znajdującego się wewnątrz od instalacji paliwowej, spuszczenia paliwa i bezpiecznego przedmuchania w celu konserwacji.

### **3.5.3 Kontrola atmosfery pomieszczeń ogniw paliwowych**

#### **3.5.3.1 Informacje ogólne**

Ochronę pomieszczeń ogniw paliwowych przez zewnętrzną barierę, która otacza elementy zasilane paliwem, można osiągnąć poprzez ich wentylowanie lub zubożnianie. Metody te są na równi akceptowalne, aby zapewnić bezpieczeństwo pomieszczenia.

### 3.5.3.2 Wentylowanie pomieszczeń ogniw paliwowych

**3.5.3.2.1** Pomieszczenia ogniw paliwowych powinny być wyposażone w skuteczny system wentylacji mechanicznej w celu utrzymania podciśnienia w całym pomieszczeniu, z uwzględnieniem gęstości potencjalnie wyciekających paliw gazowych.

**3.5.3.2.2** W przypadku pomieszczeń ogniw paliwowych znajdujących się na pokładach otwartych można rozważyć wentylację nadciśnieniową.

**3.5.3.2.3** Wydajność wentylacji w pomieszczeniach ogniw paliwowych powinna być wystarczająca do rozcieńczenia średniego stężenia gazu/oparów poniżej 25% DGW we wszystkich maksymalnie prawdopodobnych scenariuszach wycieku z powodu awarii technicznych.

**3.5.3.2.4** Żaden kanał używany do wentylacji pomieszczeń ogniw paliwowych nie powinien obsługiwać jakiegokolwiek innego pomieszczenia.

**3.5.3.2.5** Kanały wentylacyjne z pomieszczeń zawierających rurociągi paliwa przetworzonego lub inne źródła jego uwalniania powinny być zaprojektowane i rozmieszczone w taki sposób, aby uniknąć możliwości gromadzenia się gazu.

**3.5.3.2.6** Powinny zostać przewidziane dwa lub więcej wentylatory do wentylacji pomieszczenia ogniwa paliwowego zapewniające 100% redundancję w przypadku utraty jednego wentylatora. 100% wydajność wentylacji powinna być również zapewniona przy zasilaniu jej z awaryjnego źródła energii.

**3.5.3.2.7** W przypadku awarii jednego wentylatora powinno być zapewnione automatyczne przełączenie na inny wentylator, sygnalizowane alarmem.

**3.5.3.2.8** W przypadku utraty wentylacji lub braku podciśnienia w pomieszczeniu ogniwa paliwowego system energetyczny ogniwa paliwowego powinien przeprowadzić automatyczne, kontrolowane wyłączenie ogniwa paliwowego i odcięcie dopływu paliwa.

**3.5.3.2.9** Dopływy powietrza wentylacyjnego do pomieszczeń ogniw paliwowych powinny być pobierane z obszarów, które w przypadku braku rozważanego wlotu nie byłyby niebezpieczne.

**3.5.3.2.10** Dopływy powietrza wentylacyjnego do zamkniętych pomieszczeń innych niż niebezpieczne powinny być pobierane z obszarów innych niż niebezpieczne, znajdujących się w odległości co najmniej 1,5 m od granic każdego obszaru zagrożenia.

**3.5.3.2.11** Wyloty powietrza wentylacyjnego z pomieszczeń ogniw paliwowych powinny być umieszczone na otwartej przestrzeni, która w przypadku braku rozpatrywanego wylotu byłaby tak samo lub mniej niebezpieczna niż pomieszczenie wentylowane.

### 3.5.3.3 Zobojętnianie atmosfery pomieszczeń ogniw paliwowych

Zobojętnianie może być zaakceptowane do kontroli atmosfery pomieszczeń ogniw paliwowych, pod warunkiem, że:

- .1 ochrona przez zobojętnianie jest akceptowalna tylko wtedy, gdy nie ma możliwości wejścia do pomieszczenia ogniwa paliwowego podczas jego zobojętniania, ani gdy jest ono zobojętnione, a system uszczelnienia powinien zapewnić, że nie nastąpią wycieki gazu objętego do przyległych pomieszczeń;
- .2 system zobojętniania jest zgodny z rozdziałem 15 *Kodeksu FSS* oraz z punktami 6.13 i 6.14 *Kodeksu IGF*;
- .3 ciśnienie czynnika zobojętniającego powinno być zawsze dodatnie i monitorowane;

- .4 każda zmiana ciśnienia wskazująca na naruszenie zewnętrznej granicy pomieszczenia ogniwa paliwowego lub naruszenie granicy z przestrzenią, w której płynie paliwo (np. stos ogniw paliwowych, reformer) powinna uruchomić kontrolowane odcięcie dopływu paliwa;
- .5 pomieszczenie ogniwa paliwowego powinno być wyposażone w mechaniczną wentylację aby usunąć czynnik zubożniający po zainicjowaniu jego uwalniania;
- .6 dostęp do zubożnionego pomieszczenia ogniw paliwowych powinien być możliwy tylko wtedy, gdy pomieszczenie zostało całkowicie przewentylowane świeżym powietrzem, a dopływ paliwa został przerwany, ciśnienie paliwa obniżone lub rurociąg paliwa został przedmuchany; oraz
- .7 instalacja zubożniająca nie powinna mieć możliwości działania podczas bieżącej konserwacji lub inspekcji.

## 4 BEZPIECZEŃSTWO POŻAROWE

### 4.1 Zalecenia ogólne dotyczące bezpieczeństwa pożarowego i wybuchowego

4.1.1 Pomieszczenia ogniw paliwowych powinny być tak zaprojektowane, aby zapewnić kształt geometryczny, który zminimalizuje gromadzenie się gazów lub tworzenie kieszeni gazowych.

4.1.2 Dla celów ochrony przeciwpożarowej pomieszczenie ogniw paliwowych powinno być traktowane jako przedział maszynowy kategorii A, określony w *Konwencji SOLAS* rozdział II-2.

4.1.3 Pomieszczenie ogniw paliwowych powinno być otoczone przegrodami pożarowymi klasy „A-60”. Jeżeli zostanie to uznane za niewykonalne, mogą zostać zaakceptowane alternatywne rozwiązania dla otaczających przegród, które zapewniają równoważny poziom bezpieczeństwa.

### 4.2 System wykrywania i sygnalizacji pożaru

4.2.1 Powinien zostać przewidziany stały system wykrywania i sygnalizacji pożaru zgodny z wymaganiami *Kodeksu FSS*.

4.2.2 Rodzaj i rozmieszczenie systemu wykrywania pożaru powinny zostać dobrane z uwzględnieniem paliw i gazów palnych, które mogą występować w instalacjach energetycznych ogniw paliwowych.

4.2.3 Pomieszczenia ogniw paliwowych powinny być wyposażone w odpowiednie\* czujniki pożarowe. Same czujniki dymu nie są uważane za wystarczające do szybkiego wykrycia pożaru w przypadku stosowania paliw gazowych.

\* Przy doborze odpowiednich czujek pożarowych można wziąć pod uwagę *ISO/TR 15916:2015*.

### 4.3 Ochrona przeciwpożarowa i przeciwybuchowa

4.3.1 Pomieszczenia ogniw paliwowych oddzielone pojedynczą przegrodą powinny mieć wystarczającą wytrzymałość, aby wytrzymać skutki lokalnego wybuchu gazu w którymkolwiek z tych pomieszczeń, bez naruszania integralności przyległego pomieszczenia i wyposażenia w tym pomieszczeniu.

4.3.2 Awarie prowadzące do niebezpiecznego nadciśnienia, np. wskutek pęknięcia rury gazowej lub wydmuchania uszczelki, powinny być łagodzone przez odpowiednie urządzenia do wyrównania ciśnienia wybuchu i układy ESD.



**4.3.3** Prawdopodobieństwo gromadzenia się gazu i wybuchu w pomieszczeniach ogniw paliwowych powinno być zminimalizowane przez łagodzącą strategię, która może obejmować jedno lub więcej z poniższych:

- .1 przedmuchiwanie systemu energetycznego ogniw paliwowych przed zainicjowaniem reakcji;
- .2 przedmuchiwanie systemu, jak to konieczne, po wyłączeniu;
- .3 zapewnienie monitorowania awarii w systemach bezpiecznego magazynowania paliwa dla ogniw paliwowych;
- .4 monitorowanie potencjalnego zanieczyszczenia powietrzem przewodów paliwowych ogniw paliwowych lub paliwem rurociągów powietrznych ogniw paliwowych;
- .5 monitorowanie ciśnień i temperatur;
- .6 wdrożenie zaprogramowanej sekwencji w celu powstrzymania lub zarządzania propagacją reakcji do innych sekcji systemu ogniw paliwowych lub do otaczającej przestrzeni oraz
- .7 każdą inną strategię zaakceptowaną przez PRS.

#### **4.4 Gaszenie pożarów**

**4.4.1** W pomieszczeniach z ogniwami paliwowymi zalecana jest stała instalacja gaśnicza.

**4.4.2** Instalacja gaśnicza powinna być odpowiednia do stosowania z konkretną proponowaną technologią paliwa pierwotnego i przetworzonego oraz ogniw paliwowych. PRS może zaakceptować wszelkie alternatywne środki bezpieczeństwa pożarowego, jeżeli równoważność tych środków zostanie wykazana na podstawie oceny ryzyka z uwzględnieniem właściwości stosowanych paliw.

**4.4.3** Stałe instalacje gaśnicze powinny być dobierane z uwzględnieniem potencjału wzrostu pożaru chronionych pomieszczeń i powinny być łatwo dostępne.

#### **4.5 Klapy przeciwpożarowe**

**4.5.1** Otwory wlotowe i wylotowe powietrza powinny być wyposażone w bezpieczne w razie uszkodzenia samozamykające się klapy przeciwpożarowe, które powinny być obsługiwane z zewnątrz pomieszczenia ogniwa paliwowego.

**4.5.2** Przed uruchomieniem instalacji gaśniczej klapy przeciwpożarowe powinny zostać zamknięte.

### **5 INSTALACJE ELEKTRYCZNE**

#### **5.1 Zalecenia ogólne dotyczące instalacji elektrycznych**

**5.1.1** Wyposażenie elektryczne nie powinno być instalowane w obszarach zagrożenia, chyba że jest one ważne ze względów eksploatacyjnych lub poprawy bezpieczeństwa.

**5.1.2** Tam, gdzie wyposażenie elektryczne, w tym elementy systemów ogniw paliwowych, jest instalowane w obszarach zagrożenia, powinno być ono dobierane, instalowane i utrzymywane zgodnie z normami co najmniej równoważnymi normom akceptowanym przez IMO\*.

\* Patrz normy *IEC 60079-10-1:2020 Atmosfery wybuchowe Część 10-1: Klasyfikacja obszarów – Atmosfery gazów wybuchowych* oraz wskazówki i przykłady informacyjne podane w *IEC 60092-502:1999, Instalacje elektryczne na statkach – Zbiornikowce – Specjalne właściwości dla zbiornikowców*.

**5.1.3** Powinna zostać zapewniona możliwość odłączenia ogniwa paliwowego spod obciążenia elektrycznego w każdym stanie obciążenia.

**5.1.4** Powinny zostać zapewnione środki ochrony instalacji ogniw paliwowych przed zwarzaniem i przepływem prądu zwrotnego.

## 5.2 Klasyfikacja obszarów zagrożenia

### 5.2.1 Zasady ogólne

**5.2.1.1** W celu ułatwienia doboru odpowiedniej aparatury elektrycznej i zaprojektowania odpowiednich instalacji elektrycznych, obszary zagrożenia zostały podzielone na strefy 0, 1 i 2, zgodnie z 5.2.2. W przypadkach, gdy definicje stref podane w 5.2.2 zostaną uznane za nieodpowiednie, obszar powinno się zaklasyfikować zgodnie z IEC 60079-10-1:2020 po specjalnym rozpatrzeniu przez PRS.

**5.2.1.2** Kanały wentylacyjne powinny być zaklasyfikowane do tej samej strefy zagrożenia jak pomieszczenie wentylowane.

### 5.2.2 Definicje stref

#### 5.2.2.1 Strefa 0 obszaru zagrożenia

- Wnętrza zbiorników buforowych, reformerów paliwa, rurociągów i elementów wyposażenia zawierających paliwo o niskiej temperaturze zapłonu lub paliwo przetworzone, wszelkie rurociągi z urządzeń do rozładowania ciśnienia i innych odpowietrzeń.

#### 5.2.2.2 Strefa 1 obszaru zagrożenia

- Obszary na pokładzie otwartym lub półzamknięte pomieszczenia na pokładzie, w odległości do 3 m od wszelkich wylotów wodoru, paliwa przetworzonego lub gazu przedmuchującego lub wylotów wentylacji pomieszczeń ogniw paliwowych.
- Obszary na pokładzie otwartym lub półzamknięte pomieszczenia na pokładzie, w odległości do 3 m od wylotów powietrza i gazu wylotowego z ogniw paliwowych.
- Obszary na pokładzie otwartym lub półzamknięte pomieszczenia na pokładzie w odległości do 1,5 m od wejść do pomieszczeń ogniw paliwowych, wlotów wentylacji do pomieszczeń ogniw paliwowych i innych otworów prowadzących do pomieszczeń strefy 1.
- Obszary na pokładzie otwartym lub półzamknięte przestrzenie w odległości do 3 m, od miejsc w których znajdują się inne źródła uwalniania wodoru lub paliwa przetworzonego.
- Pomieszczenia ogniw paliwowych.

#### 5.2.2.3 Strefa 2 obszaru zagrożenia

- Obszary w odległości do 1,5 m otaczające otwarte lub półzamknięte pomieszczenia strefy 1 określonej powyżej, o ile nie wyspecyfikowano ich gdzie indziej.
- Śluzy powietrzne.

## 6 SYSTEMY STEROWANIA, MONITOROWANIA I BEZPIECZEŃSTWA

### 6.1 Zalecenia ogólne dotyczące systemów sterowania, monitorowania i bezpieczeństwa

**6.1.1** Elementy systemów sterowania ogniw paliwowych związane z bezpieczeństwem powinny być zaprojektowane jako niezależne od innych systemów sterowania i monitorowania lub powinny być zgodne z procesem opisanym w normach przemysłowych akceptowanych przez IMO\* odnośnie standardu działania lub równoważnych.

\* Patrz ISO 13849-1:2015-06

**6.1.2** Ogniw paliwowe powinny być monitorowane zgodnie z zaleceniami producenta.

## 6.2 Wykrywanie gazu lub oparów

**6.2.1** Zainstalowany na stałe system wykrywania gazu/oparów powinien być przewidziany dla:

- .1 pomieszczeń ogniw paliwowych;
- .2 szluz powietrznych (jeśli występują);
- .3 zbiorników wyrównawczych/odgazowujących w systemach pomocniczych systemu energetycznego ogniw paliwowych, w których paliwo pierwotne lub paliwo przetworzone może wyciekać bezpośrednio do czynnika w układzie (np. do wody chłodzącej); oraz
- .4 innych zamkniętych pomieszczeń, w których może gromadzić się paliwo pierwotne/przetworzone.

**6.2.2** Systemy wykrywania powinny stale monitorować pomieszczenie pod kątem obecności gazu/oparów. Liczba detektorów w pomieszczeniu ogniwa paliwowego powinna uwzględniać wielkość, układ i wentylację pomieszczenia. Detektory powinny być umieszczane w miejscach, w których może gromadzić się gaz/opary i/lub na wylotach wentylacyjnych. W celu znalezienia najlepszego ich rozmieszczenia powinno się skorzystać z analizy rozpraszania się gazu lub przeprowadzić fizyczną próbę z wykorzystaniem dymu.

**6.2.3** Z uwagi na redundancję zalecane są dwa niezależne detektory gazu umieszczone blisko siebie. Jeśli detektor gazu jest typu samo-monitorującego, można zezwolić na instalację pojedynczego detektora gazu.

## 6.3 Działanie wentylacji

W celu weryfikacji działania systemu wentylacji powinien zostać zainstalowany system wykrywania przepływu w systemie wentylacji oraz ciśnienia w pomieszczeniu ogniwa paliwowego. Sygnalizacja pracy silnika wentylatora nie jest wystarczająca do weryfikacji działania wentylacji.

## 6.4 Studzienki zęzowe

Studzienki zęzowe w pomieszczeniach ogniw paliwowych powinny być wyposażone w czujniki poziomu.

## 6.5 Ręczne wyłączenie awaryjne

Ręczne uruchamianie wyłączenia awaryjnego powinno być przewidziane w następujących miejscach, jak to ma zastosowanie:

- .1 mostek nawigacyjny;
- .2 pokładowe centrum bezpieczeństwa;
- .3 centrala manewrowo-kontrolna siłowni;
- .4 pożarowe stanowisko dowodzenia; oraz
- .5 w sąsiedztwie wyjścia z pomieszczenia ogniwa paliwowego.

## 6.6 Funkcje systemu alarmowego i systemu bezpieczeństwa

### 6.6.1 Wykrywanie gazu lub oparów

**6.6.1.1** Wykrycie gazu/oparów w pomieszczeniu ogniwa paliwowego o stężeniu gazu lub oparów powyżej 20% DGW powinno wywołać alarm.

**6.6.1.2** Wykrycie gazu/oparów w pomieszczeniu ogniwa paliwowego o stężeniu gazu lub oparów powyżej 40% DGW powinno wyłączyć uszkodzony system energetyczny ogniw paliwowych i odłączyć źródła zapłonu oraz powinno skutkować automatycznym zamknięciem wszystkich zaworów niezbędnych do odcięcia wycieku. Jeżeli stos ogniw paliwowych nie jest certyfikowany do

pracy w strefie 1 obszaru zagrożenia, to powinien on zostać niezwłocznie odseparowany elektrycznie i wyłączony spod napięcia. Zawory w systemie paliwa pierwotnego dostarczające paliwo płynne lub gazowe do pomieszczenia ogniwa paliwowego powinny zamknąć się automatycznie.

**6.6.1.3** Wykrywanie gazu/oparów powinno być przewidziane w zbiorniku „zasilającym/opadowym” chłodziwa ogniwa paliwowego i powinno ono wywoływać alarm.

### **6.6.2 Wykrywanie cieczy**

Wykrycie niezamierzonych wycieków cieczy w pomieszczeniu ogniwa paliwowego powinno uruchomić alarm. Środkiem do wykrywania może być alarm wysokiego poziomu w studziencie zęzowej.

### **6.6.3 Utrata wentylacji**

**6.6.3.1** Utrata wentylacji w pomieszczeniu ogniwa paliwowego powinna skutkować automatycznym wyłączeniem ogniwa paliwowego przez układ sterujący procesem w krótkim okresie czasu. Okres do wyłączenia przez układ sterujący procesem powinien być rozpatrywany indywidualnie dla każdego przypadku w oparciu o analizę ryzyka.

**6.6.3.2** Po upływie tego okresu powinno nastąpić wyłączenie bezpieczeństwa.

### **6.6.4 Przyciski wyłączenia awaryjnego**

Uruchomienie przycisku wyłączenia awaryjnego powinno przerwać dopływ paliwa do pomieszczenia ogniwa paliwowego i wyłączyć spod napięcia źródła zapłonu wewnątrz pomieszczenia ogniwa paliwowego.

### **6.6.5 Utrata chłodziwa ogniwa paliwowego**

Utrata chłodziwa ogniwa paliwowego powinna skutkować automatycznym wyłączeniem ogniwa paliwowego przez układ sterujący procesem w krótkim okresie czasu. Aby zapobiec potencjalnemu uwolnieniu chłodziwa w pomieszczeniu ogniwa paliwowego, powinna zostać przewidziana dodatkowa osłona rurociągu chłodziwa lub wyposażenie w pomieszczeniu ogniwa paliwowego powinno być chronione przed uwolnieniem chłodziwa. Powinno się zwrócić uwagę na bezpieczne usunięcie chłodziwa.

### **6.6.6 Wykrywanie pożaru**

Wykrycie pożaru w pomieszczeniu ogniw paliwowych powinno zainicjować automatyczne wyłączenie i odcięcie dopływu paliwa.

### **6.6.7 Wyłączenie wskutek wysokiej temperatury ogniwa paliwowego**

W przypadku pomieszczeń ogniw paliwowych zaklasyfikowanych jako strefa 1 obszaru zagrożenia, w których stos ogniw paliwowych nie jest certyfikowany do pracy w strefie 1 obszaru zagrożenia, a temperatura powierzchni stosu ogniw paliwowych przekroczyła 300°C, system energetyczny ogniw paliwowych powinien zostać niezwłocznie wyłączony, a takie pomieszczenie ogniw paliwowych odizolowane.

## **6.7 Alarmy**

**6.7.1** Zalecenia dotyczące alarmów podane w 6.6 oraz w poniższej Tabeli 1 określają alarmy dla instalacji energetycznych ogniw paliwowych.

**6.7.2** Alarmy dodatkowe w stosunku do podanych w Tabeli 1 mogą być zalecane dla niekonwencjonalnych lub złożonych instalacji energetycznych ogniw paliwowych.

**Tabela 1 Alarmy**

	Stany alarmowe
<b>Wykrycie gazu przy 20% DGW</b>	
Pomieszczenia ogniwa paliwowego	HA
Zbiorniki wyrównawcze/odgazowujące w systemach ogrzewania/chłodzenia	HA
Śluzy powietrzne	HA
Inne zamknięte przestrzenie, w których paliwo pierwotne/przetworzone może się gromadzić	HA
<b>Wykrycie cieczy</b>	
Pomieszczenie ogniw paliwowych wg 6.6.2.1	HA
<b>Wentylacja</b>	
Ograniczona wentylacja w pomieszczeniach ogniw paliwowych	LA
<b>Inne stany alarmowe</b>	
Śluza powietrzna – więcej niż jedne drzwi nie są w pozycji zamkniętej	A
Śluza powietrzna – otwarte drzwi przy utracie wentylacji	A
A = Alarm aktywowany dla wartości logicznej LA = Alarm niskiej wartości HA = Alarm wysokiej wartości	

## 6.8 Funkcje bezpieczeństwa

**6.8.1** Zalecenia dotyczące funkcji bezpieczeństwa podane w 6.7 oraz w poniższej Tabeli 2 określają funkcje bezpieczeństwa dla instalacji energetycznych ogniw paliwowych mające na celu ograniczenie skutków awarii systemu.

**6.8.2** Dodatkowe funkcje bezpieczeństwa, w stosunku do podanych w Tabeli 2, mogą być zalecane dla niekonwencjonalnych lub złożonych instalacji energetycznych ogniw paliwowych.

**Tabela 2 Funkcje bezpieczeństwa**

	Alarm	Zamknięcie zaworu pomieszczenia ogniwa paliwowego	Wyłączenie źródła zapłonu	Sygnal do innych systemów sterowania/bezpieczeństwa w celu uruchomienia dodatkowych funkcji
Utrata chłodziwa ogniwa paliwowego wg 6.6.5.1	X	X		
40% DGW w pomieszczeniu ogniwa paliwowego (obejmuje wykrycie wycieków wodoru wg 3.2.4)	X	X	X	Jeżeli stos ogniwi paliwowych nie jest certyfikowany do pracy w strefie 1 obszaru zagrożenia, to powinien zostać niezwłocznie odseparowany elektrycznie i wyłączony spod napięcia
Utrata wentylacji lub utrata podciśnienia w pomieszczeniu ogniwa paliwowego	X	X		Ogniwo paliwowe powinno zostać automatycznie wyłączone przez układ sterujący procesem
Wykrycie pożaru w pomieszczeniu ogniwa paliwowego	X	X	X	Wyłączenie wentylacji, uruchomienie systemu gaśniczego
Przycisk wyłączenia awaryjnego	X	X	X	
Temperatura powierzchni stosu ogniwi paliwowych >300°C	X	X	X	Jeżeli stos ogniwi paliwowych nie jest certyfikowany dla strefy 1

## 7 ROZWIĄZANIA ALTERNATYWNE

### 7.1 Zasady ogólne

**7.1.1** Urządzenia i układy systemów energetycznych ogniwi paliwowych mogą odbiegać od tych określonych w niniejszej *Publikacji*, pod warunkiem że takie urządzenia i układy spełniają intencje celu i zalecenia funkcjonalne oraz zapewniają równoważny odpowiednim rozdziałom poziom bezpieczeństwa.

**7.1.2** Równoważność rozwiązania alternatywnego powinna zostać wykazana jak określono w prawidło II-1/55 *Konwencji SOLAS* i przedstawiona do akceptacji przez PRS. Nie zezwala się na stosowanie metod lub procedur operacyjnych jako alternatywy dla konkretnego osprzętu, materiału, urządzenia, aparatury, elementu wyposażenia lub jego typu, które są określone w niniejszej *Publikacji*.

## 8 PRÓBY DZIAŁANIA NA STATKU

### 8.1 Systemy rurociągów paliwowych

**8.1.1** Systemy rurociągów paliwowa przetworzonego, powinny zostać poddane próbie szczelności wodorem lub odpowiednim gazem testowym w celu wykazania, że nie ma przecieków.

**8.1.2** Zawory w systemie rurociągów ogniwa paliwowego powinny zostać poddane próbom pod kątem szczelności dla stosowanego paliwa.

## 8.2 Próby kompletnego systemu ogniów paliwowych

**8.2.1** Po zainstalowaniu na statku, wszystkie systemy energetycznego ogniwa paliwowego oraz systemy sterowania, monitorowania i bezpieczeństwa powinny zostać poddane próbom funkcjonalnym zgodnie z programem końcowych odbiorów i prób.

**8.2.2** Wszystkie alarmy określone w Tabeli 1 w podrozdziale 6.7, oraz wszystkie funkcje bezpieczeństwa, określone w Tabeli 2 w podrozdziale 6.8, powinny zostać poddane próbom, potwierdzającym ich prawidłowe działanie.

**8.2.3** Próby całego systemu powinny zostać przeprowadzane w różnych odpowiednich warunkach obciążenia (zazwyczaj: „rozruch”, „normalna praca”, „pełne obciążenie”, „zmiana obciążenia w górę/w dół”).

**8.2.4** Jeżeli instalacja energetyczna ogniów paliwowych stanowi główny układ napędowy statku, to podczas prób powinno zostać zweryfikowane, czy statek ma odpowiednią moc napędową we wszystkich sytuacjach manewrowych.

**Materiały źródłowe**

1. CCC 7/WP.3, Annex 1 September 2021 – Interim Guidelines for the Safety of Ships Using Fuel Cell Power Installations.
2. IMO Code of Safety for Ships using Gases or other Low-flashpoint Fuels (IGF Code).
3. CCC 5/3 Amendments to the IGF Code and Development of Guidelines for Low-Flashpoint Fuel.
4. Annex to MSC.1/Circ.1455 – Guidelines for the Approval of Alternative and Equivalents as provided for in Various IMO Instruments.
5. MSC.1/Circ.1647, June 2022 – Interim Guidelines for the Safety of Ships Using Fuel Cell Power Installations

**Najważniejsze normy związane z przedmiotem niniejszej *Publikacji***

1. IEC 62282-2-100:2020 Fuel cell technologies - Part 2-100: Fuel cell modules - Safety
2. IEC 62282-3-100:2019 Fuel cell technologies - Part 3-100: Stationary fuel cell power systems - Safety
3. IEC 62282-3-200:2015 Fuel cell technologies - Part 3-200: Stationary fuel cell power systems - Performance test methods
4. IEC 62282-3-201:2017 + AMD1:2022 CSV Fuel cell technologies - Part 3-201: Stationary fuel cell power systems - Performance test methods for small fuel cell power systems
5. IEC 62282-3-300:2012 Fuel cell technologies - Part 3-300: Stationary fuel cell power systems - Installation
6. IEC 62282-3-400:2016 Fuel cell technologies - Part 3-400: Stationary fuel cell power systems - Small stationary fuel cell power system with combined heat and power output
7. IEC 62282-4-101:2014 Fuel cell technologies - Part 4-101: Fuel cell power systems for propulsion other than road vehicles and auxiliary power units (APU) - Safety of electrically powered industrial trucks
8. IEC 62282-4-102:2017 Fuel cell technologies - Part 4-102: Fuel cell power systems for industrial electric trucks - Performance test methods
9. IEC 62282-5-100:2018 Fuel cell technologies - Part 5-100: Portable fuel cell power systems - Safety
10. IEC 62282-6-100:2010 + AMD1:2012 CSV Fuel cell technologies - Part 6-100: Micro fuel cell power systems - Safety
11. IEC 62282-6-200:2016 Fuel cell technologies - Part 6-200: Micro fuel cell power systems - Performance test methods
12. IEC 62282-6-300:2012 Fuel cell technologies - Part 6-300: Micro fuel cell power systems - Fuel cartridge interchangeability
13. IEC 62282-6-400:2019 Fuel cell technologies - Part 6-400: Micro fuel cell power systems - Power and data interchangeability
14. IEC 62282-7-2:2021 Fuel cell technologies - Part 7-2: Test methods - Single cell and stack performance tests for solid oxide fuel cells (SOFCs)
15. IEC 62282-8-101:2020 Fuel cell technologies - Part 8-101: Energy storage systems using fuel cell modules in reverse mode - Test procedures for the performance of solid oxide single cells and stacks, including reversible operation
16. IEC 62282-8-102:2019 Fuel cell technologies - Part 8-102: Energy storage systems using fuel cell modules in reverse mode - Test procedures for the performance of single cells and stacks with proton exchange membrane, including reversible operation
17. IEC 62282-8-201:2020 Fuel cell technologies - Part 8-201: Energy storage systems using fuel cell modules in reverse mode - Test procedures for the performance of power-to-power systems
18. IEC PAS 62282-6-150:2011 Fuel cell technologies - Part 6-150: Micro fuel cell power systems - Safety - Water reactive (UN Decision 4.3) compounds in indirect PEM fuel cells
19. IEC TS 62282-7-1:2017 Fuel cell technologies - Part 7-1: Test methods - Single cell performance tests for polymer electrolyte fuel cells (PEFC)
20. IEC TS 62282-9-101:2020 Fuel cell technologies - Part 9-101: Evaluation methodology for the environmental performance of fuel cell power systems based on life cycle thinking - Streamlined life-cycle considered environmental performance characterization of stationary fuel cell combined heat and power systems for residential applications



21. IEC TS 62282-9-102:2021 Fuel cell technologies - Part 9-102: Evaluation methodology for the environmental performance of fuel cell power systems based on life cycle thinking - Product category rules for environmental product declarations of stationary fuel cell power systems and alternative systems for residential applications
  22. IEC/ISO 31010 Risk management – Risk assessment techniques
  23. IEC 60812 Analysis techniques for system reliability – Procedure for failure mode and effects analysis (FMEA)
  24. ASME B31.12, Hydrogen Piping and Pipelines
  25. ISO 15649, Petroleum and natural gas industries – Piping
-