

Jerzy Herdzik

# Ocena składu atmosfery w zbiornikach ładunkowych statków po operacjach ładunkowych, odgazowania i wentylacji

JEL: R41. DOI: 10.24136/atest.2019.223.

Data zgłoszenia: 01.03.2020. Data akceptacji: 01.04.2020.

*W artykule omówiony został problem poprawnego procesu odgazowania i wentylacji zbiornika ładunkowego statku po operacjach ładunkowych w celu możliwości jego inspekcji. Właściwa ocena składu atmosfery jest warunkiem bezpiecznego wejścia i pracy załogi. Zasadniczo należy zmierzyć i dokonać oceny zagrożenia wybuchowego, obecności innych związków toksycznych dla człowieka oraz zawartości tlenu. W tym celu armator statku przygotowuje odpowiednie procedury przygotowania, zabezpieczenia wejścia do tych przestrzeni, w tym na ewentualność sytuacji awaryjnych. Oceny dokonuje osoba odpowiednio wykwalifikowana (uprawniona), której decyzje są kluczowe dla bezpieczeństwa przeprowadzanych operacji. Jednym z podstawowych problemów jest poprawna (właściwa) ocena zawartości tlenu po procesie pomiaru, który należy właściwie zinterpretować. Dotyczy to głównie sytuacji, w których pomiar zawartości tlenu wskazuje na wartość przekraczającą 22% lub obniżoną poniżej wartości 20,8% udziału objętościowego.*

**Słowa kluczowe:** zbiorniki ładunkowe, statek, mycie, odgazowanie, ocena składu atmosfery.

## Wstęp

Mycie zbiorników ładunkowych statku jest procesem ważnym dla eksploatacji statku. Wyróżnia się dwa podstawowe etapy mycia: mycie wstępne i mycie zasadnicze. Pozwala ono uzyskać odpowiednią czystość zbiornika umożliwiającą przyjęcie następnego (innego typu) ładunku. Również w celu przyjęcia tego samego ładunku (np. ropy naftowej), należy umyć zbiorniki w celu usunięcia potencjalnych osadów, które zmniejszałyby objętość czynną zbiornika oraz uzyskania w zbiorniku atmosfery obojętnej pod względem zagrożenia wybuchowego w czasie rejsu pod balastem.

Przygotowanie zbiornika ładunkowego do wejścia ludzi wymaga odpowiedniej wentylacji w celu uzyskania bezpiecznej atmosfery dla pracy załogi [11].

Proces mycia wstępnego zbiornikowców (metodą mycia surową ropą naftową) odbywa się w atmosferze obojętnej. Ze względu na trwający jeszcze proces rozładunku i obniżanie się poziomu cieczy w zbiorniku, w celu utrzymania w nim nadciśnienia (ok. 4-8% atmosferycznego) uzupełnia się ciśnienie wprowadzając do zbiornika gaz obojętny (*inert gas*) oraz kontrolując stężenie tlenu we wprowadzanym gazie obojętnym (winno być w przedziale 0,5-5%) oraz stężenie tlenu w zbiorniku ładunkowym (winno być poniżej 8%).

Proces mycia zasadniczego odbywa się z użyciem wody (ewentualnie z dodatkiem dozwolonych środków myjących) dostarczanej pod ciśnieniem (ok. 0,8-1,6 MPa) do instalacji zasilających maszyny myjące. Po zakończonym procesie mycia popłuczyny odpompowuje się do zbiorników resztkowych w celu ich obróbki lub zdania do instalacji portowych. Atmosfera w zbiorniku ładunkowym zawiera głównie węglowodory i siarkowodor oraz inne związki chemiczne pochodzące z przewożonego ładunku, ponadto składniki gazu obojętnej, co czyni ją niebezpieczną dla ludzi [6, 8].

Proces odgazowania (usunięcia resztek po ładunku) z użyciem gazu obojętnej ma doprowadzić do uzyskania stężenia węglowodorów w zbiorniku ładunkowym poniżej wymaganego progu (jest to najczęściej 2-4%). Uzyskanie progu w pobliżu 0% byłoby czasochłonne i zasadniczo niemożliwe do uzyskania. W takim stanie zbiorniki ładunkowe uznaje się jako odgazowane (*gas free*).

Następny krok zależy od kolejnego celu do osiągnięcia. Jeśli celem jest uzyskanie atmosfery umożliwiającej wejście ludzi do zbiornika należy te zbiorniki przewentylować powietrzem atmosferycznym. Osiągnięcie progu (stężenie węglowodorów poniżej 4%) umożliwia przełączenie wentylatorów podających gaz obojętny na wentylację powietrzem atmosferycznym. Pozwala to po czasie od kilku do kilkudziesięciu godzin na uzyskanie składu atmosfery zbliżonej do powietrza atmosferycznego. Aby mogli wejść tam ludzie, należy dokonać oceny stanu atmosfery pod względem bezpieczeństwa pracy [1, 5, 7].

## Atmosfera bezpieczna w zbiorniku ładunkowym

W celu oceny składu atmosfery, w której będą ludzie pracować, wymaga się wykonania odpowiednich procedur, które pozwolą uznać ją za bezpieczną. Podstawowe zagrożenia, które mogą wystąpić w zbiorniku ładunkowym po procesach mycia, odgazowania i wentylacji są następujące:

- wybuch węglowodorów – wymaga się uzyskania stężenia węglowodorów poniżej 10% dolnego progu wybuchowości;
- działanie toksyczne dla ludzi – głównie od siarkowodoru (należy przeanalizować „historię” zbiornika i możliwości wystąpienia innych związków uznanych za niebezpieczne dla ludzi);
- stężenia tlenu w granicach 20,6–22% w powietrzu suchym.

Należy uwzględnić historię eksploatacji zbiornika. W przypadku potencjalnych możliwości wystąpienia innych substancji (gazów) należy uwzględnić ich oddziaływanie na organizm człowieka. Korzysta się w tym celu z informacji zawartych w karcie charakterystyki produktu niebezpiecznego (*material safety data sheet – MSDS*) [3,4], w której podano zasady postępowania w sytuacjach zagrożenia (*emergency procedures*).

W karcie charakterystyki produktu niebezpiecznego muszą znajdować się następujące informacje (art.31 ust.5 rozporządzenia REACH – Rozporządzenie Komisji UE nr 2015/830 z dnia 28 maja 2015 r.):

- identyfikacji substancji/mieszanki i identyfikacji przedsiębiorstwa, które je wyprodukowało;
- identyfikacji zagrożeń;
- składu/informacji o składnikach;
- środków pierwszej pomocy medycznej;
- postępowania w przypadku pożaru;
- postępowania w przypadku niezamierzonego uwolnienia do środowiska;
- postępowania z substancjami i mieszaninami oraz ich magazynowania;
- kontroli narażenia/środków ochrony indywidualnej;
- właściwości fizycznych i chemicznych;
- stabilności i reaktywności;

- k) informacji toksykologicznych;
- l) informacji ekologicznych;
- m) postępowania z odpadami;
- n) informacji dotyczących transportu;
- o) informacji dotyczących przepisów prawnych;
- p) innych (dodatkowych) informacji.

Na statkach obowiązują procedury zatwierdzone przez armatora, zgodne z wymaganiami administracji morskiej państwa, którego banderę statek podnosi oraz dodatkowo w żegludze międzynarodowej z wymaganiami towarzystwa klasyfikacyjnego (któremu statek podlega), które musi uwzględniać wymagania Międzynarodowej Organizacji Morskiej (IMO).

## 2. Ocena stężenia węglowodorów w zbiorniku ładunkowym

Proces wentylacji zbiornika ładunkowego odbywa się poprzez wentylację wymuszoną z wykorzystaniem wentylatorów i instalacji gazu obojętnego bez konieczności utrzymywania nadciśnienia w zbiorniku. Wykorzystuje się powietrze atmosferyczne bez dodatkowej obróbki cieplno-wilgotnościowej. Stan atmosfery w zbiorniku jest pochodną resztek substancji zawartych w ładunku, gazie obojętnym i powietrzu atmosferycznym. Po zakończeniu procesu wentylacji (zatrzymaniu wentylatorów) wymaga się upływu minimum 30 minut na ujednorodnienie atmosfery (pełne ujednorodnienie zaśłoby po kilku dniach), które pozwoli na ocenę składu atmosfery.

Oceny stężenia węglowodorów  $C_mH_n$  dokonuje się za pomocą atestowanych eksplozometrów. Pomiaru należy dokonać w trzech różnych wysokościach zbiornika: górnej, środkowej i dolnej. Związane jest to z niejednorodnością atmosfery w zbiorniku oraz różnymi gęstościami węglowodorów względem powietrza. Pary metanu powyżej temperatury równowagi (ok.  $-112^\circ C$ ) są lżejsze od powietrza, etenu i etanu zbliżone, natomiast pary wyższych węglowodorów są cięższe. Korzysta się z dwóch zakresów pomiarowych eksplozometrów  $0\pm 10\%$  i  $0\pm 100\%$  dolnej granicy wybuchowości (DGW lub LEL). Pozwala na ocenę zagrożenia wybuchowego. Po dokonaniu pomiarów uznaje się stan atmosfery za:

- a) stwarzający zagrożenie wybuchowe, gdy wynik wynosi  $>30\%$  LEL;
- b) o potencjalnym zagrożeniu wybuchowym, gdy wynik znajduje się w granicach  $10\pm 30\%$  LEL;
- c) niestwarzający zagrożenia wybuchowego, gdy wynosi  $<10\%$  LEL w każdym punkcie pomiarowym [9].

Co do zasady, nie należy wchodzić do ogólnie przestrzeni uznawanych za zamknięte, jeśli stężenie gazów palnych przekracza 1% dolnej granicy wybuchowości.

W przypadku przewozu ropy naftowej i jej produktów, stężenie objętościowe par węglowodorów poniżej 1% w powietrzu nie stwarza zagrożenia wybuchowego, natomiast może w dalszym ciągu występować zagrożenie toksyczne. Uznaje się, że stężenie objętościowe w powietrzu węglowodorów poniżej 0,1% nie powoduje już zagrożenia toksycznego, bowiem stężenie każdego z węglowodoru będzie poniżej progu toksyczności (TLV-TWA, NDS). Wartości te są następujące [3]:

- a) dla metanu 1000 ppm (0,1% v/v);
- b) dla etanu 900 ppm;
- c) dla propanu 800 ppm;
- d) dla butanu 600 ppm;
- e) dla etenu (etylenu) 200 ppm;
- f) dla butadienu 10 ppm;
- g) dla benzenu 1 ppm.

Dane te dotyczą węglowodoru występującego samodzielnie. Działanie toksyczne różnych węglowodorów występujących jednocześnie podlega sumowaniu, jednak nie są do końca znane zasady

sumowania. W uproszczeniu może to być sumowanie arytmetyczne, bowiem nie są znane skutki (dla wymienionych węglowodorów), które potwierdzałyby działania synergiczne.

Eksplozometr mierzy zasadniczo stężenie gazów palnych, bez rozróżnienia na rodzaj węglowodoru.

Uzyskanie stężenia objętościowego tlenu w badanej atmosferze w zakresie  $20,6\pm 21,0\%$  jest zazwyczaj wystarczające, aby doszło do rozrzedzenia pozostałych gazów w procesie wentylacji, do poziomu dopuszczalnego (poniżej progu toksyczności dla czterdziestogodzinnego rozliczeniowego tygodnia pracy).

Nie wolno jednak polegać na własnych zmysłach w celu dokonania oceny możliwości bezpiecznej pracy w przestrzeni zamkniętej. Wiele gazów (m.in. alkany) są bezwonne i bezbarwne, co może być przyczyną niebezpiecznych zdarzeń.

Zaleca się stosowanie przyrządów do pomiaru atmosfery zgodnych z wytycznymi IMO – MSC.1/Circ.1477 [10].

## 3. Ocena stężenia siarkowodoru

Obecność siarkowodoru ( $H_2S$ ) w atmosferze w zbiorniku ładunkowym po procesie wentylacji, może być spowodowana obecnością tego gazu z powodu jego zawartości w ropie naftowej (jest rozpuszczony), a następnie jej odgazowywania. Pomimo wymogów „uspokojenia” (odgazowania) ropy naftowej, proces ten zachodzi w czasie transportu ropy, a stężenia siarkowodoru w atmosferze zbiornika ładunkowego sięgają wartości powyżej 1000 ppm. Drugim zjawiskiem zachodzącym jednocześnie, jest wytwarzanie siarkowodoru w trakcie transportu. Spowodowane jest to obecnością związków siarki w przewożonym ładunku, które w obecności wody (wilgoci) oraz katalizatora tej reakcji – żelaza, przetwarzane są do postaci siarkowodoru. Ropa naftowa jest produktem naturalnym, może w niej znajdować się wiele szczepów bakterii (beztlenowych), które również mogą wytwarzać ten gaz.

Uważa się, że maksymalne stężenie bezpieczne dla siarkowodoru dla czterdziestogodzinnego rozliczeniowego tygodnia pracy wynosi 5 ppm (dwadzieścia lat temu uważano, że jest to 10 ppm). Mimo, że gaz ten jest silnie zapachowy (od stężenia ok. 0,5 ppm), bardzo szybko zmysł węchu człowieka się wyłącza i staje się niewyczuwalny. Przy dużych stężeniach jest również niewyczuwalny, co może skutkować, że zmysł węchu człowieka nie zareaguje. Za dopuszczalną dawkę krótkotrwałą (piętnaście minut pracy, a następnie minimum jedna godzina przerwy, przy maksymalnie czterech okresach pracy w ciągu 24 godzin) przyjęto 15 ppm (TLV-STEL). Stężenie, przy którym może dojść do skutków zdrowotnych wynosi 30 ppm (TLV-C). Natomiast bezpośrednie zagrożenie zdrowia i życia człowieka siarkowodoreem (TLV-IDLH) wynosi 300 ppm. Stężenia przekraczające 700 ppm (0,07%) powodują szybką utratę przytomności z utratą życia po kilku minutach [3].

Z tego powodu zagrożenie toksycznością od siarkowodoru należy uznać za bardzo poważne. W każdym przypadku wątpliwości należy dokonać pomiaru sprawdzającego.

## 4. Ocena stężenia tlenu

Powszechnie podaje się skład atmosfery dla powietrza suchego (*dry air composition*), przedstawiony w tabeli 1. W warunkach rzeczywistych dochodzi do rozrzedzenia stężenia tych gazów innymi zanieczyszczeniami (gazami). Najbardziej rozpowszechnionym gazem niewymienionym w tabeli 1 jest para wodna. Dokonuje się pomiaru wilgotności bezwzględnej lub względnej powietrza. Ilość pary wodnej w powietrzu zależy od temperatury powietrza i jego wilgotności względnej. W przypadku powietrza nasyconego (10% wilgotności względnej, osiągnięciu punktu rosy) ilość pary wodnej

**Tab. 1.** Skład powietrza suchego [2,5,9]

Oznaczenie	Nazwa	Stężenie (udział objętościowy lub molowy) [%]
N <sub>2</sub>	azot	78,084
O <sub>2</sub>	tlen	20,947
Ar	argon	0,934
CO <sub>2</sub>	dutlenek węgla	0,041
Ne	neon	0,001818
He	hel	0,000524
CH <sub>4</sub>	metan	0,00017
	inne gazy	reszta do 100 %

wynosi przy +40°C – 50,5 g H<sub>2</sub>O/m<sup>3</sup> powietrza, natomiast przy –40°C już tylko ok. 0,5 g H<sub>2</sub>O/m<sup>3</sup>.

Obecność pary wodnej obniża stężenie wszystkich gazów atmosferycznych, w tym tlenu. Przy wysokiej temperaturze powietrza (powyżej +30°C) i wysokiej wilgotności rozrzedzenie tlenu może być znaczące. Wpływ stężenia tlenu na zdrowie człowieka i możliwość jego pracy w przestrzeni zamkniętej przedstawiono w tabeli 2.

Niedobór tlenu szybko prowadzi do utraty przytomności i zagrożenia śmiercią. Przyczyny niedoboru tlenu mogą być różnego rodzaju: procesy utleniania, które zużywają tlen z atmosfery (np. korozja zbiornika), procesy biochemiczne zachodzące w przewożonym ładunku, prace prowadzone w zbiorniku zużywające tlen (np. spawanie), niepoprawny proces wentylacji (kieszenie, do których nie dotarło powietrze wentylacyjne, zalegające gazy o gęstości większej od powietrza).

## 5. Konieczność korekty stężenia tlenu

W poradnikach, dotyczących pracy w przestrzeniach zamkniętych, podaje się różne wartości stężenia tlenu, przy których dopuszcza się możliwość pracy człowieka (od 18÷22%).

Jednym z głównych powodów niedoboru tlenu jest rozrzedzenie powietrza innym gazem, ale z drugiej strony właściwe stężenie tlenu (uznawane w przedziale 20,6÷21% [1]) nie daje gwarancji, że atmosfera w zbiorniku jest bezpieczna.

W przypadku weryfikacji i braku innych zagrożeń pozostaje analiza przyczyn obniżonego stężenia tlenu poniżej wartości 20,6% (tabela 2).

Uzyskanie stężenia tlenu poniżej 20,6%, oznacza, że występuje niedobór tlenu i zgodnie z wytycznymi należy nie dopuścić do pracy w tej przestrzeni. Konieczna może się okazać korekta tego stężenia, jeśli pomiar stężenia tlenu dokonywany był w temperaturach powyżej +30°C przy jednocześnie występującej dużej wilgotności względnej powietrza. Sytuacja taka wynika z rozrzedzającego

**Tab. 2.** Stężenie tlenu w atmosferze a zdrowie człowieka [1]

Poziom tlenu [%]	Zagrożenia dla zdrowia związane z ilością tlenu w atmosferze
>22	zakaz wejścia, atmosfera wzbogacona w tlen, zwiększone zagrożenie pożarowe, reakcja człowieka – podniecenie i stany euforii
20,6÷22 lub 20,6÷21	możliwość wejścia warunkowego przy braku innych zagrożeń, atmosfera normalna, reakcja człowieka - naturalna
19,5	zakaz wejścia, atmosfera uboga w tlen, reakcja człowieka – przyspieszony oddech, trudności w oddychaniu, zagrożenie utratą przytomności przy wysiłku spowodowanym pracą
16	zakaz wejścia, znacznie pogorszona zdolność oceny sytuacji, poważne trudności w oddychaniu, reakcja człowieka – możliwa szybka utrata przytomności bez wysiłku
<11	zakaz wejścia, bardzo poważne trudności w oddychaniu, reakcja człowieka – śmierć w ciągu kilku minut

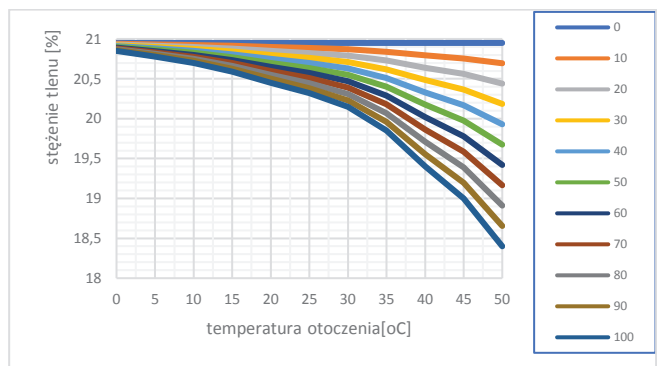
działania pary wodnej, która obniża stężenie wszystkich składników powietrza suchego (tabela 1), w tym również tlenu. Uzyskanie wymaganego stężenia tlenu (20,6÷21%) jest niemożliwe do uzyskania w tych warunkach zewnętrznych. Stężenie tlenu mogło już osiągnąć maksymalną możliwą wartość, którą w tych warunkach można osiągnąć.

Rozrzedzenie stężenia tlenu spowodowane obecnością pary wodnej przedstawiono na rysunku 1.

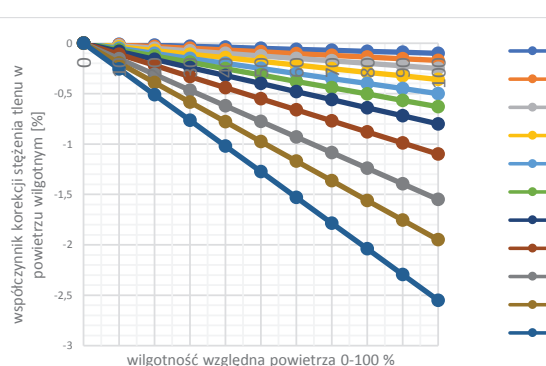
Natomiast z rysunku 2 można odczytać współczynnik korekty stężenia tlenu zależny od temperatury i wilgotności powietrza (dla wilgotności powietrza jest to zależność liniowa – wynika to z definicji wilgotności względnej).

Przy zerowej wilgotności względnej powietrza stężenie objętościowe (molowe) jest identyczne jak dla powietrza suchego (tabela 1). Zasadniczo temperatura powietrza w tej sytuacji nie ma wpływu na jego zawartość i wynosi ono 20,947% (współczynnik korekty również wynosi zero).

Sytuacja zmienia się dla powietrza wilgotnego powyżej temperatury +20°C i wilgotności względnej 70%. Stężenie tlenu w tych warunkach osiąga krytyczną wartość 20,6%. Wyższa temperatura przy tej wilgotności lub wyższa wilgotność przy tej temperaturze powodują rozrzedzenie stężenia tlenu poniżej wartości 20,6%. Przykładowo przy temperaturze +35°C i wilgotności względnej 80% stężenie maksymalne tlenu do osiągnięcia podczas wentylacji wynosi tylko 20,07%, a współczynnik korekty wartość -0,87%, czyli należy do wyniku pomiaru stężenia tlenu dodać wartość 0,87%, aby skorygować zawartość tlenu spowodowaną obecnością pary wodnej. W skrajnym przypadku przy temperaturze powietrza +45°C i wilgotności 80%, stężenie tlenu w powietrzu wilgotnym obniża



**Rys. 1.** Wpływ wilgotności powietrza na stężenie objętościowe (molowe) tlenu w zależności od temperatury powietrza przy ciśnieniu 101,325 kPa  
Źródło: oprac. własne.



**Rys. 2.** Wpływ temperatury powietrza na stężenie objętościowe (molowe) tlenu w zależności od wilgotności powietrza przy ciśnieniu 101,325 kPa  
Źródło: oprac. własne.



się do poziomu 19,39%. Człowiek źle reaguje na bardzo wilgotne powietrze odczuwając, że powietrze jest duszne. Wzrost temperatury otoczenia i jego wilgotności powyżej progu uczucia komfortu cieplnego znacznie ogranicza wydolność ludzkiego organizmu (zmniejsza wydajność pracy).

Ciśnienie powietrza atmosferycznego ma również istotny wpływ na odczuwanie ilości tlenu i możliwości pracy człowieka. Zmiana ciśnienia atmosferycznego przy tej samej temperaturze powoduje zmianę gęstości powietrza, a wraz z nią ilości bezwzględnej tlenu. Zgodnie z równaniem Clapeyron'a, przy przemianie izotermicznej gęstość gazu (tu: powietrza i tlenu) jest wprost proporcjonalna do ciśnienia bezwzględnego. W przypadku pracy na statkach należy uznać, że nie występuje zmiana (obniżenie wraz z wysokością lub zwiększenie wraz z depresją) ciśnienia powietrza atmosferycznego związana z wysokością nad poziomem morza (co może mieć istotne znaczenie przy pracach na lądzie).

Natomiast w dalszym ciągu może wystąpić zjawisko, że przy wyższych ciśnieniach powietrza atmosferycznego (w obszarze wyżu barycznego) odczuwa się wrażenie większej ilości tlenu (łatwiej się oddycha) i odwrotnie przy bardzo niskim ciśnieniu (w obszarze niżu barycznego) brakuje nam tlenu (wrażenie obniżonego stężenia). Osoby szczególnie wrażliwe na zmianę ciśnienia atmosferycznego (meteoropaci) mogą czuć duży dyskomfort mimo, że warunki należy uznać za będące w normie.

## 6. Możliwości uniknięcia stosowania poprawki na stężenie tlenu dla powietrza wilgotnego

Zasadniczym problemem, który wymaga stosowania poprawki stężenia tlenu do powietrza suchego, jest wysoka temperatura powietrza i jego wysoka wilgotność. Z rysunku 3 wynika, że do temperatury ok. +30°C, poprawka będzie mała (<1%), ale konieczna, aby zgodnie z wymogami [1] dopuścić ludzi do pracy w takich warunkach.

W celu ograniczenia konieczności stosowania poprawki należy obniżyć temperaturę a szczególnie wilgotność powietrza w zbiorniku ładunkowym, co można uczynić poprzez odpowiednią obróbkę ciepłno-wilgotnościową powietrza wentylacyjnego. Możliwe jest to tylko w systemach gazu obojętnego, w których stosuje się ją dla wytwarzanego gazu. Przed operacjami ładunkowymi na chemikaliowcach, a szczególnie gazowcach, atmosfera w zbiorniku ładunkowym musi być obojętna poniżej wymaganego punktu rosy. Punkt rosy (dew point) ogranicza maksymalną możliwą zawartość pary wodnej w atmosferze zbiornika, co ma istotne znaczenie dla bezpieczeństwa przewożonego ładunku, ze względu na możliwe reakcje z wodą (hydraty), jak i ryzyko zamarzania wody, gdy temperatura przewożonego ładunku jest poniżej 0°C. Stosowanie obróbki ciepłno-wilgotnościowej nie występuje w instalacjach gazu obojętnego na zbiornikowcach. W rezultacie nie ma technicznej możliwości obniżenia punktu rosy. Pozostaje praktyczna możliwość – przewentylować przestrzeń ładunkową w takiej porze dnia, w której występują najbardziej korzystne warunki jej przeprowadzenia.

## 7. Wpływ temperatury otoczenia na warunki pracy w zbiorniku ładunkowym

Można uznać, że w zakresie temperatur powietrza 5÷20°C istnieją możliwości wykonywania pracy przez człowieka ubranego w odpowiedni kombinezon roboczy, przy spełnieniu odpowiednich warunków pracy (np. ciągłej wentylacji, wyposażenia miejsca pracy, zabezpieczeń przed upadkiem), aby zachowany był tzw. komfort cieplny, czyli brak odczuwania zimna lub gorąca. Temperatury poza wymienionym zakresem mogą stwarzać dodatkowe zagrożenie.

Przy temperaturach poniżej +5°C, przy koniecznej wentylacji miejsca pracy, może pojawić się po pewnym czasie odczucie zimna i przechłodzenia. Przy temperaturach ujemnych (<0°C) nastąpi ono znacznie wcześniej. Podstawowym rozwiązaniem może być stosowanie nawiewu ciepłego (ogrzanego) powietrza, co poprawi warunki pracy, nie ograniczając jego czasu (konieczne przerwy na ogrzanie się). W innych warunkach pozostaje ograniczanie czasu pracy i stosowanie przerw, w celu ogrzania się w pomieszczeniach cieplejszych, skorzystania z ciepłych napojów i posiłków itp.

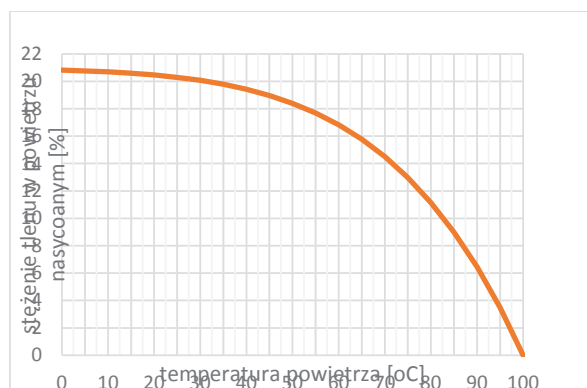
Zbyt długie przebywanie w środowisku, w którym panuje ekstremalnie niska temperatura, może skutkować wystąpieniem hipotermii, obniżenia temperatury ciała, stwarzającym zagrożenie dla życia człowieka. Symptomami hipotermii są: uskarżanie się na nudności, szybkie zmęczenie, zawroty głowy, skłonność do irytacji lub euforii. Przy początkowej hipotermii zaobserwować można dreszcze, które towarzyszą reakcji organizmu na kompensację obniżenia temperatury poprzez próbę wytworzenia dodatkowych ilości ciepła z zapasów energii w ciele człowieka. Groźne są również odmrożenia wystających części ciała (nos, uszy, palce u rąk i stóp). Z tego też powodu wymaga się nadzoru nad osobami wykonującymi pracę w przestrzeniach zamkniętych.

Problemem znacznie częściej występującym jest konieczność pracy przy podwyższonej temperaturze otoczenia, szczególnie powyżej +30°C (a niekiedy i powyżej +40°C np. w pomieszczeniu wirówek paliwa ciężkiego na statku). Samoregulacja organizmu człowieka poprzez zjawisko pocenia ma ograniczoną możliwość. Zasadniczo jej możliwości się kończą wraz z przekroczeniem temperatury otoczenia w stosunku do ludzkiego ciała (ok. +36,6°C). Osoba pracująca w bardzo wysokiej temperaturze traci wraz z potem wodę i sole mineralne. Utratę wody i soli mineralnych należy wyrównywać poprzez picie wody i przyjmowanie soli. Wypicie jednego litra wody w ciągu godziny jest górną granicą wydolności organizmu zdrowego człowieka. Należy pić mniejsze ilości w krótkich odstępach czasu. Można przyjmować specjalne napoje (izotoniczne), które będą rekompensować utratę soli mineralnych. Zagrożeniem dla człowieka jest zaburzenie gospodarki elektrolitami, które warunkuje np. odpowiednią pracę serca. Nie należy przyjmować soli w tabletkach, konieczne jest ich rozpuszczenie w płynie. Nie pić alkoholu, bowiem przyspiesza on wydalanie wody z organizmu. Ważną sprawą jest odpowiednie zaplanowanie pracy w takich warunkach, aby ograniczyć czas pracy (lub nie pracować) w tych godzinach, w których warunki są najtrudniejsze.

## 8. Wymagane warunki pracy w przestrzeniach zamkniętych

Spełnienie warunków odpowiedniego i bezpiecznego do pracy składu powietrza jest warunkiem wstępnym umożliwiającym dalsze przygotowania do wejścia człowieka do przestrzeni zamkniętej. Dalsze czynności polegają na zapewnieniu możliwości bezpiecznej pracy w tych przestrzeniach. Wymaga się:

- zapewnienia nadzoru (z zapewnieniem łączności) i asekuracji osoby znajdującej się poza tą przestrzenią;
- przygotowania sprzętu na wypadek stanów awaryjnych (aparaty oddechowe, linka asekuracyjna, lina ewakuacyjna itp.) – procedura awaryjna;
- ciągłej detekcji gazów wymagających kontroli (w tym z przenośnym osobistym detektorem stężenia tlenu i/lub eksplozometrem);
- ciągłej wentylacji przestrzeni, przy niektórych pracach (np. spawanie) stosowanie miejscowego wyciągu (tu; gazów i pyłów spawalniczych);
- innych wymagań, zgodnie z obowiązującymi procedurami.

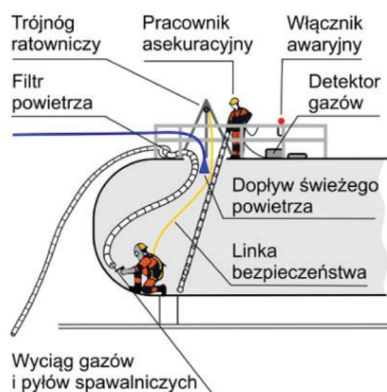


**Rys. 3.** Spadek stężenia tlenu w powietrzu nasyconym przy ciśnieniu atmosferycznym 101,325 kPa wraz ze wzrostem temperatury powietrza

Przykład zabezpieczenia stanowiska pracy podczas spawania w zbiorniku przedstawiono na rysunku 3.

### Podsumowanie

Ze względu na szereg wątpliwości interpretacyjnych związanych z informacjami zawartymi w poradnikach dotyczących bezpiecznego wejścia do przestrzeni zamkniętych oraz w procedurach armatorów statków dotyczących zasad bezpieczeństwa w trakcie przygotowania, wejścia, zabezpieczenia i pracy w nich, autor uznał za konieczną próbę ich wyjaśnienia. Najwięcej pytań dotyczyło wymaganego stężenia tlenu w powietrzu, zawartym w zbiornikach ładunkowych, dającego gwarancję bezpiecznej pracy. W niektórych poradnikach można znaleźć informacje, że stężenie tlenu w granicach 18÷19% daje jeszcze warunki bezpiecznej pracy, a o górnej granicy się nie wspomina w ogóle, w innych, że minimalna zawartość dopuszczalna wynosi 20,6%. Problem oceny stanu i składu atmosfery w zbiorniku ładunkowym po wielu procesach zachodzących w czasie transportu różnorodnych ładunków jest procesem dość skomplikowanym i trudnym do jednoznacznej odpowiedzi. Przede wszystkim nie można rozpatrywać tylko jednego warunku. Konieczna jest weryfikacja wszystkich warunków jednocześnie z uwzględnieniem historii procesów zachodzących w przestrzeni ładunkowej. Nawet jeśli zapewnimy wszystkie konieczne warunki do wykonywania pracy w tych przestrzeniach, pozostaje czynnik ludzki: jego wydolność fizyczna, stan zdrowia, wiek, czas odpoczynku a nawet nastrój, a ma to decydujący wpływ na wydajność pracy człowieka. O ocenie końcowej dopuszczenia do pracy w przestrzeniach zamkniętych decyduje oficer uprawniony do takich działań. Należy jeszcze pamiętać, że skład atmosfery ciągle się zmienia (obecność ludzi, wykonywanie pracy, wentylacja, pora dnia, warunki zewnętrzne, przemieszczanie się statku) i warunki bezpiecznej



**Rys. 4.** Podstawowe warunki dopuszczenia do pracy w przestrzeniach zamkniętych - system zabezpieczeń

pracy w przestrzeniach zamkniętych mogą ulegać szybkim zmianom, również w kierunku pogorszenia warunków i konieczności przerwania pracy, kiedy ulegną pogorszeniu. Z tego względu po pewnych okresach czasu (4÷12 godzin) wymaga się ponownych pomiarów i przeprowadzenia kolejnej procedury oceny stanu atmosfery.

### Bibliografia:

1. *Polski Rejestr Statków, Wytyczne dotyczące bezpiecznego wejścia do przestrzeni zamkniętych*, Publikacja Informacyjna Nr 28/I, lipiec 2016.
2. Mackenzie F.T., Mackenzie J.A., *Our changing planet*, Prentice-Hall, Nowy Jork, 1995.
3. *Kodeks przewozu ładunków niebezpiecznych – International Maritime Dangerous Goods Code – IMDG code*, IMO, Londyn 2017.
4. [www.portalbhp.pl](http://www.portalbhp.pl)
5. Bugbee B., Blonquist M., *Absolute and Relative Gas Concentration: Understanding Oxygen in the Air*, ICT, 2016.
6. *HM 40 Guidelines for the Crude Oil Washing of Ship's Tanks and the Heating of Crude Oil Being Transported by Sea*, Energy Institute, London, 2018.
7. *Density Corrections for Moist Air and Other Gases* (Information and Recommendations for the Engineers), Tween City Fan (TCF), FE-1700, 2017. [www.tcf.com](http://www.tcf.com)
8. <https://www.youtube.com/watch?v=GqXMPvpwLl0>
9. *Code of Safe Working Practices for Merchant Seamen*, Maritime and Coastguard Agency (MCA), 2010 (consolidated edition), changes 2018. [www.tso.co.uk](http://www.tso.co.uk)
10. MSC.1/Circ.1477 – Guidelines to facilitate the selection of portable atmosphere testing instruments for enclosed spaces as required by SOLAS Regulation XI-1/7.
11. *A master's guide to Enclosed Space Entrance*, Standard Club, 2017. [www.standard-club.com](http://www.standard-club.com)

### Assessment of the atmosphere composition in vessel's tank after cargo operations, gas-freeing and ventilation

*Paper discussed the problem of proper process of gas-freeing and ventilation of vessel cargo tank after cargo operations in aim to the entrance into the tank and its inspection. Correct assessment of atmosphere composition into the cargo tank is a basic condition of safe entrance and work of a crew. It should be done following actions: assessment of flammability hazard, the presence of other toxic gases for human and oxygen concentration. In the aim ship-owner should prepare adequate procedures: before entrance, during work and on emergency situations. On a vessel the assessment performs responsibility (entitled) officer who decisions are crucial for the safety of prosecuting operations. The one of primary problem is proper (adequate) assessment of oxygen concentration in the air into the tank (enclosed spaces) after the measurement which should be properly interpreted. It concerns basically such situations when the oxygen concentration into the tank after measure leads the value over 22% or below 20.8% of volume contribution (v/v).*

**Keywords:** cargo holds, vessel, tank washing, gas-freeing, assessment, atmosphere composition.

### Autor:

dr hab. inż. **Jerzy Herdzik**, prof. UMG – Uniwersytet Morski w Gdyni, Wydział Mechaniczny, Katedra Siłowni Okrętowych