

prof. dr hab. inż. BOGUSŁAW ZAKRZEWSKI
 dr hab. inż. WŁODZIMIERZ ROSOCHACKI, prof. ZUT
 Wydział Techniki Morskiej i Transportu
 Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie
 Kontakt: dydaktyka-wtm@zut.edu.pl

Zagrożenie emisją czynników chłodniczych stosowanych w technice okrętowej



Fot. Xavier Marchant/Bigstockphoto

W artykule omówiono problematykę zagrożenia emisją czynników chłodniczych stosowanych w okrętowych systemach chłodniczych i klimatyzacyjnych. Dla typowych czynników wskazano zagrożenia oraz konsekwencje ich uwolnień. Przedstawiono przykładowe wyniki badań emisji w odniesieniu do eksploatacji urządzeń chłodniczych funkcjonujących na jednostkach pływających. Dokonano przykładowej oceny negatywnych skutków emisji czynników chłodniczych.

Hazard posed by emission of refrigerants used in maritime technology

This paper discusses hazards posed by the emission of refrigerants used in maritime refrigeration and air conditioning systems. It identifies hazards and the consequences of their release of typical refrigerants. The article presents the results of an investigation related to the operation of refrigeration systems installed on board of vessels. It also presents a sample evaluation of the negative effects of the emission of refrigerants.

Wstęp

Wiele współcześnie eksploatowanych obiektów technicznych wyposażonych jest w systemy chłodnicze i/lub klimatyzacyjne, zapewniające ich niezawodne funkcjonowanie. Eksploatacji takich systemów towarzyszy wiele zagrożeń. Jednym z nich, szczególnie istotnym dla człowieka, ale również i dla środowiska naturalnego, jest emisja do otoczenia czynników chłodniczych.

Substancje te są związkami chemicznymi lub mieszaninami, które krążąc w zamkniętej instalacji podlegają przemianom termodynamicznym tworząc obieg chłodniczy. W tym celu wykorzystywane są: amoniak, dwutlenek węgla oraz powszechnie dziś stosowane czynniki z grupy węglowodorów. Negatywne skutki towarzyszące emisji tych ostatnich wiążą się z ich szczególnymi właściwościami. Są to bowiem w zdecydowanej większości gazy bezwonne, bezzapachowe, cięższe od powietrza, eksploatowane w niskich temperaturach pracy rzędu $-20... -30$ °C, przy znacznym

ciśnieniu (około 2 MPa), mogące wpływać na działanie niektórych farmaceutyków, mające destrukcyjny wpływ na atmosferę. Część z nich jest substancjami palnymi. W rezultacie ich bezpośredniego lub pośredniego oddziaływania na organizm człowieka może dojść między innymi do czasowej depresji, stanów narkozy, bólów głowy, stanów niepewności, utraty koordynacji ruchowej, nieregularności pracy serca, poparzeń, innych obrażeń ciała, utraty przytomności a nawet zgonu [1, 2]. Konsekwencje te mogą być skutkiem kontaktu z niską temperaturą, wdychania par, oddziaływania strumienia cieczy (gazu) czy też braku tlenu w atmosferze pomieszczenia, w którym zlokalizowano instalację.

Ze względu na specyfikę czynników chłodniczych i instalacji, w których są one wykorzystywane do emisji dochodzi – wcześniej czy później – ale praktycznie zawsze. Z dostępnych w literaturze informacji wynika na przykład, że na początku lat 90. XX wieku z systemów klimatyzacji samochodów eksploatowanych w Stanach Zjednoczonych

do atmosfery przedostawało się około 45 tys. ton czynnika chłodniczego R12 (freon) z grupy chlorofluorowęglowodorów. Oznaczało to, że średnio co 2 lata z każdej instalacji wyciekła cała objętość czynnika [3]. Stwierdzono, że głównymi przyczynami wycieków były: rozhermetyzowanie urządzenia chłodniczego (następujące przy prawie każdej naprawie silnika samochodu), wadliwa konstrukcja uszczelnień oraz niekorzystne usytuowanie skraplacza urządzenia chłodniczego względem silnika.

W przypadku typowych systemów chłodniczych i klimatyzacyjnych inną istotną przyczyną wycieków – poza błędami popełnianymi podczas obsługi, prac remontowych czy naprawczych prowadzących do całkowitej lub częściowej dehermetyzacji instalacji chłodniczej czy klimatyzacyjnej – jest znaczna przenikliwość (w tym przez materiały metalowe) związków wykorzystywanych do produkcji czynników chłodniczych (substancje z grupy chlorofluorowęglowodorów czy hydrochlorofluorowęglowodorów), [4]. Wielkość emisji tą drogą zależy w dużym stopniu od struktury

materiału. Często mogą to być śladowe ilości, decydujące jednak zarówno o poprawności funkcjonowania urządzenia jak i – po uwzględnieniu liczby takich urządzeń i okresu takiej emisji – o negatywnym ich wpływie na życie i zdrowie człowieka oraz na środowisko. Ważnym problemem związanym z identyfikacją takich emisji (a więc i z podjęciem działań zapobiegawczych) jest często bardzo niski ich poziom. O skali problemu może świadczyć fakt, że najprostsze przyrządy stosowane do wykrywania emisji charakteryzują się czułością rzędu 5-20 g/rok, a dokładniejsze 0,01 g/rok i mniej.

Z punktu widzenia zapewnienia bezpieczeństwa człowieka istotne jest również to, że większość ze stosowanych obecnie czynników chłodniczych ma negatywny wpływ na warstwę ozonową, a zwiększone promieniowanie UVB wynikające ze zubożenia warstwy ozonowej stanowi poważne zagrożenie dla zdrowia ludzi i środowiska. Wskazuje się wprawdzie na postępujący obecnie proces zmniejszenia zawartości substancji zubożających warstwę ozonową w atmosferze, obserwowane są pewne wczesne oznaki odbudowy ozonu, niemniej zakłada się, że odbudowa warstwy ozonowej do poziomu stężeń sprzed 1980 r. nie nastąpi przed połową XXI wieku. Należy podkreślić, że większość tych substancji ma także wysoki współczynnik globalnego ocieplenia.

Istnieje zatem konieczność ustawicznego podejmowania efektywnych działań mających na celu ochronę zdrowia ludzkiego i środowiska przed niekorzystnym wpływem eksploatacji instalacji klimatyzacyjnych i chłodniczych, w tym negatywnymi skutkami emisji czynników chłodniczych oraz uniknięcie ryzyka dalszego opóźnienia odbudowy warstwy ozonowej [5]. W zakres takich działań wpisuje się w szczególności sposób identyfikacja zagrożeń towarzyszących funkcjonowaniu takich urządzeń.

W artykule podjęto to zagadnienie w odniesieniu do zagrożeń związanych z emisją czynników chłodniczych stosowanych w technice okrętowej.

Czynniki chłodnicze wykorzystywane w technice okrętowej

W technice okrętowej czynniki chłodnicze znajdują zastosowanie przede wszystkim w systemach klimatyzacji pomieszczeń oraz chłodzenia komór magazynów prowiantu. Na specjalistycznych jednostkach (tzw. chłodniowcach) przeznaczonych do przewozu ładunków wymagających stworzenia odpowiednich warunków chłodniczych systemy te są rozbudowane, a ich konkretne rozwiązanie techniczne zależy od rodzaju przewożonego ładunku. Specjalistyczne systemy klimatyzacyj-



Fot. Kriss Szkuliatowski/Stock.XCHNG

ne stosuje się na statkach pasażerskich. Warto tu podkreślić, że moc instalacji klimatyzacyjnej obsługującej statek przeznaczony do przewozu kilku tysięcy pasażerów osiąga poziom rzędu 6000 kW.

Typowe rozwiązania instalacji klimatyzacyjnych i chłodniczych stosowane w technice morskiej to instalacje bezpośrednie oraz pośrednie (w których wykorzystuje się więcej niż jeden cykl chłodniczy).

Współczesne okrętowe instalacje klimatyzacyjne i chłodnicze wyposażane są w czynniki z grupy hydrofluorocarbonów (należą do nich m.in. substancje oznaczone jako: R134a, R404A oraz R407C). Zastępują one obecnie wycofywane z eksploatacji czynniki pierwszej i drugiej generacji (np. freony R12, R22), które zubożały warstwę ozonową oraz miały znacznie większy negatywny wpływ na środowisko naturalne. Należy jednak podkreślić, że nie wszystkie kraje są sygnatariuszami Protokołu Montrealskiego [6] i z tego

też względu na wielu jeszcze jednostkach pływających w systemach chłodniczych i klimatyzacyjnych stosuje się freony R12 czy R22.

Każdy z wymienionych czynników chłodniczych zaliczany jest wg normy do tzw. grupy A1 [7]. Grupa A oznacza czynniki niemające szkodliwego wpływu przy codziennym narażeniu na ich działanie w ciągu 8-godzinnego dnia pracy i 40-godzinnego tygodnia pracy, przy średnim ważonym względem czasu stężeniu równym 400 ml/m³. Grupa 1 dotyczy czynników chłodniczych niepalnych w postaci pary przy dowolnym stężeniu w powietrzu. Nie oznacza to jednak, że substancje te są dla człowieka zupełnie nieszkodliwe. Analiza wielu dostępnych źródeł charakteryzujących czynniki chłodnicze wskazuje na istotne zagrożenia związane z ich wykorzystywaniem w technice.

W tabeli 1. przedstawiono informacje o zagrożeniach związanych z emisją takich substancji.

Tabela 1. Podstawowe dane o zagrożeniach związanych z emisją czynników chłodniczych stosowanych w technice okrętowej

Table 1. Basic data on hazards related to the emission of refrigerants used in maritime technology

	Rodzaj czynnika chłodniczego		
	R134a, R404A, R407C		
Zagrożenia towarzyszące emisji czynnika	substancja pod ciśnieniem	substancja dusząca w wysokich stężeniach	niska temperatura substancji
Możliwe konsekwencje emisji czynnika	fizyczne obrażenia ciała	zawroty głowy, mdłości, zakłócenia koordynacji ruchu, utrata przytomności, uduszenie	poparzenia zimnem i odmrozenia
Inne, istotne właściwości czynnika	nie powoduje korozji, nietoksyczny, bezbarwny, niepalny, brak zauważalnych efektów duszenia się, w niskich stężeniach może powodować efekty narkotyczne, cięższy od powietrza, może się gromadzić w pomieszczeniach zamkniętych lub zagłębieniach terenu, wypierając tlen z powietrza, próg zapachu jest odczuciem subiektywnym i nie jest właściwy do ostrzegania o nadmiernym narażeniu, emitowany w dużych ilościach może przyczynić się do powstawania efektu cieplarnianego, może powodować arytmie serca i objawy podenergowania		

Tabela 2. Rozmiar i przyczyny emisji czynnika chłodniczego z okrętowych instalacji chłodniczych magazynów prowiantu jednostek B445 [9]

Table 2. Quantity and causes of the emission of refrigerants from maritime refrigeration systems in storage space for provisions in B445 vessels [9]

Jednostka	Typ statku	Rozmiar emisji [kg]	Liczba uszkodzeń [-]	Główne przyczyny uszkodzenia
B445-I/9 Bolesław Krzywousty	drobnicowiec	64	2	przecieki na płynowskazie i manowakuometrze zbiornika, kolektorze tłocznym, uszczelnienie (dławnica) wału sprężarki
		55	1	
B445-I/10 Władysław Jagiełło	drobnicowiec	63	1	przecieki na manowakuometrze sprężarki, nieszczelności zaworu bezpieczeństwa sprężarki
		82	2	
B445-I/11 Zygmunt Stary	drobnicowiec	61	2	przecieki na uszkodzonej kapilarze TZR, uszczelnieniu (dławnicy) zaworu odcinającego zbiornika, nieszczelność zaworu bezpieczeństwa sprężarki
		96	2	
B445-I/13 Władysław Łokietek	drobnicowiec	85	2	dwukrotne przecieki na uszczelnieniu (dławnicy) wału sprężarki, dehydratorze, manometrze olejowym sprężarki, uszczelnieniu (dławnicy) zaworu odcinającego rurociągu tłoczenia gazu, nieszczelność zaworu bezpieczeństwa sprężarki, wyciek w skraplaczu chłodzonym wodą morską
		128	4	
Suma		634	16	

Należy zauważyć, że wszystkie wymienione w tabeli 1. substancje mają wprawdzie zero-wy potencjał niszczenia warstwy ozonowej, ale jednocześnie charakteryzują się wysokim współczynnikiem tworzenia efektu cieplarnianego. Z racji swoich właściwości ekologicznych są bardziej przyjazne środowisku, stwarzając jednocześnie możliwość łatwego zastąpienia czynników z grupy freonów w eksploatowanych dotychczas okrętowych instalacjach klimatyzacyjnych i chłodniczych.

Emisja czynników chłodniczych z okrętowych instalacji chłodniczych

Emisje czynników chłodniczych z instalacji okrętowych są zazwyczaj następstwem wielu przyczyn i występują we wszystkich wymienionych typach instalacji. Wynika to ze specyfiki pracy tych urządzeń. Podczas eksploatacji są one poddawane różnorodnym oddziaływaniom mogącym mieć wpływ przede wszystkim na niezawodność ich funkcjonowania, a więc i na bezpieczeństwo osób je obsługujących.

Spektakularnym przykładem negatywnych skutków, jakie może nieść uszkodzenie instalacji okrętowej, któremu towarzyszy emisja czynnika, był wypadek na statku Polar Uruguay, na którym doszło do pęknięcia przewodów tłocznych czynnika freonu R22 w ładowni [8]. W rezultacie doszło do wycieku w ładowni ponad 2 ton freonu, stanowiących całkowitą objętość instalacji. Zdarzenie to miało miejsce podczas wyładunku i przygotowywania ładowni do chłodzenia następnego ładunku. Pracownicy portowi w ostatniej chwili zdążyli opuścić ładownię, jednakże nastąpiło znaczne skażenie środowiska.

Do głównych przyczyn prowadzących do uszkodzeń skutkujących rozszczelnieniem okrętowego urządzenia chłodniczego

– i w konsekwencji do emisji czynnika chłodniczego zalicza się przede wszystkim: drgania kadłuba statku wywołane oddziaływaniem falowania morskiego, drgania spowodowane pracą silnika głównego, sprężarek, pomp, wentylatorów, pulsacje płynowe i inne zjawiska dynamiczne, korozję, błędy ludzkie [9]. Inną z możliwych przyczyn mogących prowadzić do całkowitej lub częściowej dehermetyzacji instalacji jest, jak już wspomniano, znaczna przenikliwość związków wykorzystywanych do produkcji czynników chłodniczych.

W rezultacie wymienionych oddziaływań i zjawisk może dojść między innymi do emisji czynnika wskutek uszkodzeń: rurociągów cieczowych (na skutek zużycia materiału), rurociągów gazowych na drodze z wymienników ciepła parowaczy i oziębiaczy, przewodów elastycznych, zaworów (rozprężnych, stałego ciśnienia), czujników temperatury i ciśnienia, systemów rurociągów i pomp wody morskiej chłodzących skraplacze, zabezpieczeń wysokiego ciśnienia czynnika chłodniczego (uszkodzenie może spowodować otwarcie zaworu bezpieczeństwa i wyciek czynnika do atmosfery), wymienników ciepła na poszczególnych pokładach czy wentylatorów w wymiennikach ciepła. Wyciek może mieć miejsce również na uszczelnieniach wałów (w przypadku sprężarek śrubowych i tłokowych) oraz na uszczelnieniach zaworów odcinających.

Problematyka uszkodzeń okrętowych instalacji chłodniczych w aspekcie emisji czynnika chłodniczego została szczegółowo omówiona w publikacji B. Zakrzewskiego [9]. Autor przytoczył w niej m.in. wyniki badań instalacji stanowiących wyposażenie magazynów prowiantu drobnicowców serii B445. Analizie poddano dwuletni okres eksploatacyjny czte-

rech jednostek. Łącznie w ciągu 2 lat badań zarejestrowano 16 uszkodzeń skutkujących łączną masą emisji czynnika chłodniczego freonu R22 na poziomie 634 kg.

W tabeli 2. zawarto informacje o zarejestrowanych poziomach emisji czynnika chłodniczego (podano masę wycieku) z określeniem jej głównych przyczyn.

W świetle wyników informacji przedstawionych w tabeli 2. szczególnie duże znaczenie, z punktu widzenia zapewnienia bezpieczeństwa osobom obsługującym tego typu instalacje, ma systematyczna kontrola przede wszystkim takich elementów okrętowych instalacji chłodniczych, jak uszczelnienia, zawory odcinające czy zawory bezpieczeństwa.

Wpływ emisji czynnika ziębniczego na efekt cieplarniany

Jak wspomniano we wstępie, emisja czynnika chłodniczego do atmosfery skutkuje w długim horyzoncie czasowym zubożeniem warstwy ozonowej oraz wzrostem globalnego ocieplenia atmosfery. Trudno zakwestionować stwierdzenie, że zmiany te mogą w dowolnym momencie wpłynąć negatywnie na zachowanie pojedynczej osoby czy nawet pewnej zbiorowości (np. poprzez czasowe obniżenie komfortu psychicznego). Istotna w tym kontekście staje się zatem także konieczność oceny poziomu takich negatywnych, globalnych oddziaływań.

Poniżej przedstawiono przykład takiej oceny z wykorzystaniem podejścia przyjętego w normie PN-EN 378 [7]. Na tej podstawie założono, że udział w powiększaniu całkowitego globalnego ocieplenia w odniesieniu do eksploatowanych okrętowych instalacji klimatyzacyjnych i chłodniczych można określić z wykorzystaniem tzw. wskaźnika $TEWI$, tj. całkowitego równoważnego wskaźnika ocieplenia. Jego wartość wyznacza się ze wzoru:

$$TEWI = TEWI_i + TEWI_{ii} + TEWI_{iii}$$

gdzie:

$TEWI_i = (GWP \cdot L \cdot n)$ – składowa uwzględniająca wpływ strat nieszczelności

$TEWI_{ii} = GWP \cdot m \cdot (1 - \alpha_{rec})$ – składowa uwzględniająca wpływ strat odzysku

$TEWI_{iii} = \beta \cdot n \cdot E_{an}$ – składowa uwzględniająca wpływ zużycia energii

GWP – globalny potencjał ocieplenia, odniesiony do CO_2

L – roczne straty czynnika przez nieszczelności, [kg]

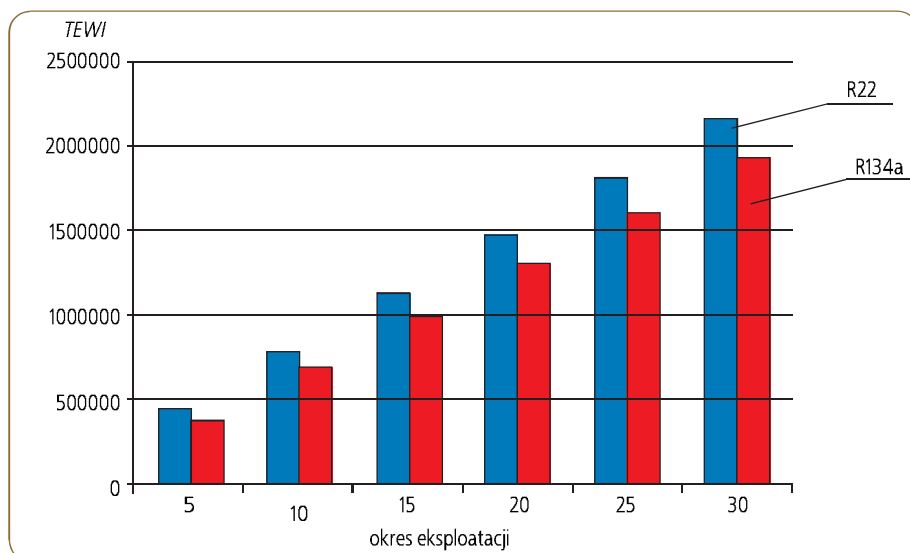
n – czas eksploatacji urządzenia, [lata]

m – masa czynnika, [kg]

α_{rec} – stopień odzysku/uzdatniania, (0÷1)

E_{an} – roczne zużycie energii, [kWh]

β – wskaźnik emisji CO_2 , [kg/kWh].



Rys. Diagram ilustrujący równoważny wskaźnik ocieplenia dla urządzenia ziębniczego magazynu prowiantu przy wartości wycieku $m_c = 2$ kg/miesiąc

Fig. Diagram illustrating equivalent warming impact for a refrigeration unit in storage space for provisions for leak $m_c = 2$ kg/month

Przyjęta metoda pozwala oszacować wpływ bezpośredniej emisji czynnika chłodniczego do atmosfery oraz pośredni wpływ emisji dwutlenku węgla podczas wytwarzania energii niezbędnej do działania urządzeń chłodniczych w okresie odpowiadającym ich trwałości eksploatacyjnej.

Przykładowej ocenie poddano wartości wskaźnika TEWI dla urządzenia chłodniczego magazynu prowiantu statku B445 [3]. Obliczenia wykonano dla dwóch czynników chłodniczych: R22 oraz R134a. Do obliczeń przyjęto: $m_c = 2$ kg/miesiąc, $GWP = 1700$ (R22), $GWP = 1300$ (R134a), $L = 9 \cdot m_c$ (założono, że urządzenie w ciągu roku eksploatowane jest przez okres odpowiadający 9 miesiącom rejsu), $m = 120$ kg, $\alpha_{rec} = 0,5$, $E_{an} = 40500$ kW (moc urządzenia 10 kW, liczba godzin pracy na dobę: 15), $\beta = 0,94$. Wyniki przedstawiono na rysunku.

Porównanie uzyskanych wartości wskaźnika TEWI wyznaczonego dla instalacji wykorzystującej freon oraz dla instalacji napełnionej czynnikiem R134a wskazuje w tym drugim przypadku na kilkuprocentową redukcję jego wartości.

Podsumowanie

Emisja czynnika chłodniczego może prowadzić do poważnych, negatywnych skutków obejmujących zarówno zdrowie, jak i życie osoby bezpośrednio narażonej na jej oddziaływanie. Ubocznym, istotnym efektem emisji jest zubożenie warstwy ozonowej. W tym przypadku narażone zostaje zdrowie i życie każdego człowieka. Z tego też względu zasadne jest podejmowanie działań prowadzących do ograniczenia ryzyka towarzyszącego eks-

ploatacji systemów chłodniczych i klimatyzacyjnych [10].

W zakres takich działań wpisują się z jednej strony dążenia do ograniczenia potencjalnych możliwości emisji czynników chłodniczych, a z drugiej – do ograniczania skali konsekwencji towarzyszącym takim zdarzeniom.

W pierwszym przypadku celem jest podwyższenie niezawodności systemów klimatyzacyjnych i chłodniczych (w tym również najważniejszego elementu takich systemów, jakim jest człowiek). Kształtowanie niezawodności może być prowadzone na etapie projektowania, wytwarzania oraz ich eksploatacji. Na etapie projektu istotne jest m. in. spełnienie kryterium minimalizacji liczby połączeń rozłącznych oraz tworzenie rozwiązań służących ograniczaniu emisji czynnika (np. poprzez redukcję niezbędnego napełnienia instalacji czynnikiem). Ważne są również działania projektowe prowadzące do nowych rozwiązań urządzeń wykrywających nieszczelności.

Osobny problem stanowi opracowanie takich substancji, które – przy spełnieniu najważniejszych wymagań stawianych czynnikom chłodniczym – byłyby bezpieczne dla człowieka i jego środowiska oraz korzystne pod względem energetycznym (wprowadzenie ich do eksploatacji będzie się wiązać z poniesieniem znacznych kosztów towarzyszących z wymianą dotychczas stosowanych czynników na nowe). Na etapie wytwarzania pożądanym poziomem niezawodności uzyskuje się poprzez spełnienie wszystkich wymagań określonych w projekcie (materiałowych, technologicznych, jakościowych itp.). Niezbędne jest także przeprowadzenie wszystkich prób zdawczo-odbiorczych instalacji, w tym wykonanie badań połączeń z punktu widzenia

ich odporności na drgania. Podczas eksploatacji konieczna jest właściwa realizacja przeglądów (w szczególności zwrócenie szczególnej uwagi na szczelność połączeń), nadzoru, remontów, modernizacji itp.; odpowiednia ochrona instalacji przed oddziaływaniem negatywnych czynników zewnętrznych oraz dbałość o stałe podwyższanie kwalifikacji obsługi [11]. Jednym z dodatkowych, możliwych działań zmierzających do poprawy poziomu niezawodności analizowanych tu systemów jest również gromadzenie informacji na temat zaistniałych już uszkodzeń i związanych z nimi emisji, ich precyzyjna analiza oraz formułowanie na podstawie zgromadzonego materiału wniosków pozwalających na zaplanowanie skutecznych przeciwdziałań.

W drugim aspekcie działań, tj. prowadzących do ograniczania skali konsekwencji emisji czynnika chłodniczego pożądanym efektem uzyskuje się poprzez zapewnienie środków technicznych gwarantujących skuteczną ochronę osobistą, efektywne przeciwdziałanie podczas procesu uwalniania się czynnika chłodniczego oraz niezawodny system ratowania zdrowia i życia ludzkiego. Również i w tym przypadku istotną rolę odgrywa prawidłowe i systematyczne szkolenie personelu obsługującego instalacje oraz nadzoru technicznego.

Prowadzenie opisanych działań ma tym większe znaczenie, jeżeli uwzględnimy w nich – prezentowane w publikacji – potencjalne skutki negatywnych oddziaływań związanych z emisją czynnika chłodniczego w długim horyzoncie czasowym.

PIŚMIENNICTWO

- [1] Czynniki chłodnicze DuPont: Suva[®] HP oraz SUVA[®] MP. Własności, zastosowanie, przechowywanie i dostawy. Materiały firmy DuPont. Clodic D., Sauer F.: *Vademecum odzysku czynników chłodniczych*. IPPU Masta, Gdańsk 1999
- [2] Misiński J., Schwitala A. *Bezpieczeństwo instalacji freonowych w budynkach mieszkalnych i użyteczności publicznej*. „Chłodnictwo i Klimatyzacja” 2009,1-2
- [3] Clodic D., Sauer F. *Vademecum odzysku czynników chłodniczych*. IPPU Masta, Gdańsk 1999
- [4] Zakrzewski B., Kędzierska K., Rosochacki W. *Badania emisji czynnika ziębniczego z urządzeń ziębniczych obiektów handlowych*. „Chłodnictwo” 2011,6
- [5] Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (WE) nr 1005/2009 z dn. 16 września 2009 r. w sprawie substancji zubożających warstwę ozonową
- [6] Protokół Montrealski w sprawie substancji zubożających warstwę ozonową, sporządzony w Montrealu dnia 16 września 1987 r. (DzU z dn. 23 grudnia 1992 r.)
- [7] PN-EN 378: *Instalacje ziębnicze i pompy ciepła – Wymagania bezpieczeństwa i ochrony środowiska*
- [8] Kędzierska K., Zakrzewski B. *Analiza wycieków podczas eksploatacji i awarii okrętowych urządzeń chłodniczych*. „Chłodnictwo” 2010, 8
- [9] Zakrzewski B. *EU rules on controlled substances and evaluation of the possibility of new factors in marine refrigeration systems*. Konferencja Maritime Transport of Refrigerating Cargoes, Odessa, Ukraina 2010
- [10] Zakrzewski B., Kędzierska K., Rosochacki W. *Identyfikacja zagrożeń jako istotny element procesu oceny ryzyka eksploatacji instalacji ziębniczych oraz pomp ciepła*. „Chłodnictwo” 2011,9