

ALTERNATYWY I PERSPEKTYWY CZYNNIKÓW DO AGREGATÓW CHŁODNICZYCH *)

Część 1

James M. CALM, P.E.

Engineering Consultant, 10887 Woodleaf Lane, Great Falls, VA 22066-3003 USA
jmc@JamesMCalm.com

*) Artykuł był opublikowany w języku angielskim jako: J.M. Calm, "Options and Outlook for Chiller Refrigerants", *Proceedings of the Earth Technologies Forum*, Washington, DC, USA, 30 October- 1 November 2000, pages 239-248, October 2000. Copyright 2000 by James M. Calm, Engineering Consultant – reproduced with permission

Przed rokiem 1989 wybór czynnika chłodniczego był czynnością prostą, a przynajmniej dużo prostszą, niż obecnie. Dla agregatów wyposażonych w sprężarki odśrodkowe do dyspozycji były następujące czynniki: R-11, R-12, R-22, oraz R-500. Dla specjalnych wymagań, takich jak zakres niskich wydajności oraz praca przy wysokich temperaturach skraplania w systemach odzysku ciepła, dostępne były czynniki odpowiednio: R-113 oraz R-114. Większość inżynierów nie dokonywała doboru właściwego czynnika chłodniczego lub dokonywała go jedynie w oparciu o oferty handlowe. Uwzględniały one wydajność chłodniczą urządzenia, warunki pracy, budowę instalacji, moc napędową sprężarki oraz układ automatyki chłodniczej.

WCZEŚNIEJSZE MOŻLIWOŚCI DOBORU CZYNNIKA CHŁODNICZEGO

Chlorofluorowęglowodór R-11, należący do grupy czynników (CFC), uzyskał pozycję czynnika dominującego na rynku z uwagi na jego efektywność energetyczną oraz niskie koszty w zastosowaniu do niskociśnieniowych agregatów przeznaczonych do chłodzenia cieczy (w dalszej części tekstu nazywanych w skrócie: agregatami chłodniczymi – D.B.). Przeciętnie dwa spośród trzech agregatów ze sprężar-

kami odśrodkowymi napełnionych było tym czynnikiem. Obecnie w użyciu znajduje się więcej tego typu agregatów pracujących z czynnikiem R-11 niż innych takich urządzeń pracujących z innymi czynnikami, pomimo, że jego produkcję w krajach rozwiniętych zakończono w 1994 roku. Ten paradoks wynika z wysokiej jakości urządzeń, a jednocześnie z powolnego procesu wymiany oraz przezbierania tych instalacji.

Następnym, niezwykle popularnym czynnikiem był R-12, w pewnym stopniu konkurencyjnym w obszarze zastosowań w agregatach ze sprężarkami odśrodkowymi w zakresie niskich wydajności chłodniczych oraz pod względem niskich kosztów, o ile mniej istotna jest efektywność energetyczna. Czynnik R-500 został wprowadzony do agregatów ze sprężarkami odśrodkowymi, aby umożliwić uzyskanie tej samej wydajności chłodniczej przy częstotliwości zasilania silnika napędowego 50 Hz, co dla czynnika R-12 przy częstotliwości 60 Hz przy tej samej konstrukcji urządzenia. Czynnik R-500 znalazł w późniejszym okresie również zastosowanie w sprzęcie pracującym z częstotliwością 60 Hz, rozszerzając w ten sposób zakres wydajności chłodniczych. Częstotliwość prądu elektrycznego w sieci 50 Hz jest standardem w Europie, części Japonii oraz w niektórych częściach Azji; natomiast częstotliwość 60 Hz jest standardem w Ameryce Północnej oraz w

pozostałej części Japonii.

Większość agregatów wyposażonych w sprężarki spiralne, śrubowe lub tłokowe (czyli wszystkie sprężarki wyporowe) pracowała z czynnikiem R-22, będącym wysokociśnieniowym chlorofluorowęglowodorem (HCFC). Ten niemal wszechstronny czynnik posiadał dominującą pozycję również dla większych agregatów chłodniczych, o wydajności przekraczającej nawet 5 MW, wykorzystujących sprężarki odśrodkowe. W stosunkowo mniejszej ilości urządzeń, bowiem w około 10% całego rynku, używano amoniaku R-717 lub agregatów absorpcyjnych. W większości z tych urządzeń stosowano wodę oraz bromek litu odpowiednio jako czynnika chłodniczego oraz absorbentu.

AKTUALNE ALTERNATYWY DOBORU CZYNNIKA CHŁODNICZEGO

Obecnie do grupy czynników stosowanych w agregatach wyposażonych w sprężarki odśrodkowe można zaliczyć: R-22 w zakresie zarówno małych, jak i dużych wydajności chłodniczych, R-123 oraz R-134a. Pewna równowaga pomiędzy czynnikami R-123 oraz R-134a przypomina poprzednią sytuację dla czynników R-11 oraz R-12. W niemal dwóch trzecich nowych urządzeń używa się związku R-123, będącego niskociśnieniowym czynnikiem nale-

żącym do grupy HCFC.

W większości pozostałych tego typu urządzeń używa się czynnika R-134a, będącego średniociśnieniowym fluorowęglowodorem (HFC). Zastosowanie czynnika R-134a jest znacznie bardziej faworyzowane w pozostałych zastosowaniach, w których zastąpi on najprawdopodobniej czynnik R-22, jako najbardziej dotąd rozpozszechniony płyn roboczy w chłodnictwie.

Przebrojenie starszych urządzeń pracujących z czynnikiem R-114 (należącym do grupy CFC), pracujących na okrętach wojennych, zwłaszcza łodziach podwodnych, odbywa się przy zastosowaniu czynnika R-236fa, będącego średniociśnieniowym czynnikiem należącym do grupy HFC, jednak nie ma obecnie na rynku producentów urządzeń stacjonarnych z tym czynnikiem.

Jakkolwiek czynnik R-22 ciągle dominuje w mniejszych agregatach wyposażonych w sprężarki wyporowe, sytuacja ta ulega zmianie. Wprowadza się konstrukcje urządzeń wykorzystujących takie czynniki jak: R-134a oraz R-407C i R-410A (te ostatnie są mieszaninami czynników należących do grupy HFC) w zamian za czynnik R-22. W pewnej niewielkiej ilości agregatów o małej wydajności, głównie w Europie, stosuje się czynnik R-404A, będący również mieszaniną czynników należących do grupy HFC. Jakkolwiek krzywe nasycenia ciśnienie-temperatura czynnika R-407C są zbliżone do krzywych dla czynnika R-22, użycie pierwszego z płynów wymaga zmian konstrukcyjnych (dla przykładu wyeliminowania parowników zalanych), aby uniknąć zmiany składu mieszaniny. W kilku nowych rozwiązaniach dla czynnika R-407C wykorzystuje się poślizg temperaturowy w ten sposób, że stosuje się obieg Lorenza, zwiększając dzięki temu efektywność energetyczną.

Ciągle zwiększa się ilość małych agregatów pracujących z amoniakiem R-717, jakkolwiek jest ona wciąż dość niewielka. Znacznie rzadziej stosuje się węglowodory, takie jak: R-290 (propan), R-600 (n-butan), R-600a (izobutan), R-1270 (propylen) oraz ich

mieszanki. Czynniki te są bardziej akceptowane w Europie niż w pozostałej części świata.

Agregaty absorpcyjne, w których stosuje się układ woda/bromek litu, stanowią mniej niż 2% ogólnej ilości agregatów chłodniczych w Ameryce Północnej. W tej ilości nie uwzględniono małych agregatów absorpcyjnych amoniakalno-wodnych, które konkurują z klimatyzatorami, jednak stanowią one zaledwie mniej niż 0.2% rynku w tym obszarze zastosowań. Jakkolwiek obserwuje się oznaki zainteresowania agregatami wyposażonymi w sprężarki odśrodkowe w Japonii, agregaty absorpcyjne są tam znacznie bardziej rozpowszechnione. Ta preferencja na lokalnym rynku japońskim wynika z głównej mierze z odmiennych źródeł energii, co pociąga za sobą różnice w kosztach oraz rozwiązaniach konstrukcyjnych urządzeń.

CO ULEGŁO ZMIANOM ?

Producent sprzętu chłodniczego, rzadziej zaś projektant instalacji chłodniczej lub właściciel budynku, dokonuje przełomowej decyzji w zakresie doboru czynnika chłodniczego. Właściciele oraz projektanci zwracają znacznie mniejszą uwagę na tę kwestię niż na dobór elementów składowych instalacji. Dla większości doborów agregatów chłodniczych podstawę stanowi ich koszt, wydajność, obecność regionalnego przedstawicielstwa producenta oraz możliwości serwisowania urządzenia, ogólna opinia o producencie oraz niezawodność jego wyrobu. O ile to możliwe, wyłączają oni z zakresu doboru branego pod uwagę niektóre czynniki chłodnicze, aby uniknąć lokalnych wymogów dotyczących specjalnych pozwoleń, obecności dodatkowego personelu z obsługi dla określonych czynników lub zastosowania specjalnego wyposażenia.

Powyższe zasady uległy zmianie w 1987 roku wraz z przyjęciem międzynarodowego traktatu w postaci Protokołu Montrealskiego [1], mającego na celu ochronę warstwy ozonowej obecnej w stratosferze ziemskiej. Ule-

gały one dalszym zmianom wraz z wprowadzeniem poprawek do tego dokumentu [2], przede wszystkim z roku 1990 i 1992 oraz przyjętego później Protokołu z Kioto, dotyczącego zmian klimatu [3]. Przyszłe modyfikacje tych obydwu aktów prawnych mających na celu ochronę środowiska naturalnego są praktycznie nieuniknione z uwagi na niczym nie ograniczony zakres prac naukowych oraz wzajemne stosunki polityczne, co stanowi bodziec do dalszych ograniczeń.

WPŁYW NA ŚRODOWISKO NATURALNE

Można wyróżnić dwa istotne problemy podnoszone w kwestii globalnego wpływu czynników chłodniczych na środowisko naturalne, a mianowicie niszczenie ozonu stratosferycznego oraz zmiany klimatu.

Niszczenie ozonu stratosferycznego

Ozon jest jedną z postaci, w jakiej występuje tlen. Absorbuje on promieniowanie ultrafioletowe typu B pochodzące ze Słońca, powodując wiele szkód człowiekowi, zwierzętom oraz roślinności. W publikacji M. J. Moliny i F. S. Rowlanda z 1974 roku substancje należące do grupy CFC identyfikowane są jako źródła chloru prowadzące do zniszczenia naturalnej równowagi tworzenia się oraz rozpadu ozonu stratosferycznego. Ta publikacja oraz późniejsze badania naukowe zwróciły uwagę na zmniejszenie grubości warstwy ozonu stratosferycznego poprzez działanie chloru oraz bromu mających swe źródło w związkach chemicznych pochodzenia antropogenicznego. Badania te wskazywały w oparciu o prognozowane zużycie tych związków na możliwość znacznie poważniejszego zniszczenia warstwy ozonowej.

W Protokole Montrealskim sprecyzowano zasady wycofywania tak zwanych substancji kontrolowanych. Do tych substancji zalicza się związki chemiczne zawierające chlor oraz brom używane jako czynniki chłodnicze, rozpuszczalniki, środki spieniające, środki pędne do aerozoli, środki

gaśnicze i do innych celów.

Zmiany klimatu

Perspektywa ocieplenia klimatu ziemskiego ma już długą historię. Matematyk J.-B. Fourier w roku 1827 zidentyfikował wpływ gazów atmosferycznych na poziom temperatur atmosfery oraz powierzchni naszej planety. To on jest twórcą analogii opisującej działanie tychże gazów jako "szklarni". Publikacja S. Arrheniusa z roku 1896 ostrzegała, że emisja dwutlenku węgla pochodząca z rosnącego zużycia paliw kopalnych spowoduje powstanie efektu cieplarnianego.

Zmiany klimatu są znacznie bardziej skomplikowane, niż niszczenie warstwy ozonowej, przede wszystkim z uwagi na ilość przyczyn je wywołujących, naturalne efekty kompensujące działanie tychże czynników oraz niejednoznaczność ich wzajemnego oddziaływania. Niezależnie od powyższego, większość naukowców zgadza się obecnie co do tego, że systematycznie następuje ocieplenie klimatu, a także że jego następstwa są coraz bardziej groźne.

W przeciwieństwie do niszczenia warstwy ozonu, istnieją obszary, dla których ocieplenie może okazać się korzystne. Niestety, ocieplenie klimatu spowoduje rozpowszechnienie chorób i znaczna część populacji żyjąca na poziomie zbliżonym do poziomu morza zostanie zagrożona powodziami wynikającymi z podniesienia się ich poziomu. Ponadto, nagłe zmiany spowodują zniszczenie wielu upraw oraz znacznej ilości roślinności.

Znaczący naukowiec, tacy jak J. D. Mahlman z Narodowej Administracji Oceanu i Atmosfery (the National Oceanic and Atmospheric Administration - NOAA), twierdzą, że osiągniemy podwojenie, a być może nawet czterokrotny wzrost zawartości dwutlenku węgla w atmosferze do 2100 roku. Jest to przecież najważniejszy z gazów cieplarnianych.

Inny naukowiec z NOAA, którego badania są związane z niszczeniem ozonu, D. L. Albritton, posiada niezwykle punkt spojrzenia na te sprawy. Sugeruje on mianowicie, że historycy mogą traktować obserwację zmian

wywołanych niszczeniem ozonu stratosferycznego, jako niezbędną część swojej działalności, aby w ten sposób przygotować się do czekających nas trudniejszych zagadnień związanych ze zmianą klimatu.

W debacie nad kwestiami ochrony środowiska naturalnego pojawiają się opinie zaprzeczające powyżej omawianym wpływom, czy też podkreślające korzyści wynikające ze zmian klimatu, jak również formułujące utrzymane w grobowym nastroju ostrzeżenia. W swoim ostatnim raporcie Międzypaństwowy Panel ds. Zmian Klimatu (the Intergovernmental Panel on Climate Change - IPCC) konkluduje, że są już dostrzegalne dowody na to, że nastąpiły zmiany klimatu.

Aktualny wkład czynników należących do grupy HFC do całkowitej emisji gazów cieplarnianych do atmosfery jest niewielki. Wynosi on nawet mniej niż 2% równoważnej ilości dwutlenku węgla, biorąc pod uwagę różnice w wartości wskaźnika GWP dla tych gazów. Udział czynników chłodniczych w tej ilości jest nawet mniejszy. Niezależnie od tego, sumaryczny wpływ czynników należących do grupy HFC rośnie coraz bardziej, niż innych gazów ujętych w Protokole z Kioto.

Pozostałe efekty

Jednym z wniosków, na jakie można się pokusić mając na uwadze doświadczenia w zakresie niszczenia ozonu i zmian klimatu jest to, że emisja związków chemicznych do atmosfery następuje przed tym, jak zostaną rozpoznane i opanowane związane z tym problemy. Obserwuje się zwrócenie wzmoczonej uwagi na wzrost ilości trwałych związków chemicznych (ang.: persistent chemical pollutants - PCP) oraz ich wpływ na ekosystemy. Jednym z aspektów tego zagadnienia jest graniczna wartość substancji rozpuszczonych w wodzie pitnej. Innym problemem jest azot powstający w wyniku nadmiernego nawożenia w rolnictwie, spalania paliw oraz wytwarzania na obszarach uprawy warzyw. Część postanowień prawnych wymaga poprawy sprawności urządzeń w całym obszarze zastosowań, a dotyczy to również agregatów chłodniczych.

Zanieczyszczenie powietrza na skutek spalania paliwa kopalnego, koniecznego do napędu urządzeń chłodniczych oraz wykorzystanie źródeł energii można uznać za kolejne ważne zagadnienia. Zagrożenia te będą wzrastały wraz ze wzrostem populacji na świecie (wynoszącej obecnie 6 miliardów i stale zwiększającej się), a także wraz z ekonomicznym i technicznym rozwojem.

Nie możemy dokładnie przewidzieć naszych przyszłych problemów, jednak powinniśmy formułować oczekiwania, z którymi z nich możemy mieć do czynienia. W związku z tym powinniśmy dokonywać właściwych ocen, aby uniknąć niszczenia środowiska naturalnego i wprowadzania do niego substancji chemicznych o długim czasie życia, o których wiadomo, że one same bądź produkty powstałe po ich rozpadzie będą się akumulowały wraz z upływem czasu.

CZYNNIKI CHŁODNICZE

Jakkolwiek czynniki chłodnicze wnoszą wkład do omawianych przemian w środowisku naturalnym, to jednak jest on stosunkowo mały. Jediną różnicą pomiędzy różnymi zastosowaniami tych samych związków chemicznych jest to, że czynniki chłodnicze, aby spełniły swoje zdanie, nie mogą być wyemitowane do atmosfery. Ograniczenie tejże emisji powoduje poprawę wydajności urządzenia oraz obniża koszty. Zatem, problem nie istnieje z samym czynnikiem chłodniczym, lecz z jego emisją do atmosfery!

Chłodnictwo oddaje niezliczone usługi społeczne. Stwarza ono możliwości zamieszkania w obszarach o ekstremalnych warunkach, umożliwia składowanie żywności i jej transport, pozwala na wytwarzanie oraz składowanie leków i materiałów farmaceutycznych, pozwala na ograniczenie rozprzestrzeniania się chorób. Chłodnictwo czyni również możliwym wiele ważnych procesów technologicznych, co zwiększa wydajność produkcyjną oraz poprawia warunki pracy.

Czynnik chłodniczy jest najbardziej istotnym elementem składowym

urządzenia chłodniczego. Chłodzenie dokonuje się właśnie dzięki odprowadzeniu ciepła na skutek odparowania czynnika chłodniczego^{*)}. Oddzielenie czynnika chłodniczego od ochładzanego powietrza lub innej substancji wymaga zastosowania odpowiedniego wymiennika ciepła: parownika.

Pozostałe elementy składowe instalacji chłodniczej po prostu zapewniają krążenie czynnika chłodniczego w obiegu zamkniętym. Sprężarka (lub złożenie obiegu absorpcyjno-desorpcyjnego i pompy roztworu) podnosi ciśnienie czynnika chłodniczego, zapewniając w ten sposób oddanie ciepła do środowiska o wyższej temperaturze. W skraplaczu czynnik chłodniczy się skrapla, co pozwala na ponowne przeprowadzenie procesu wrzenia bądź odparowania. Element dławiący, jak na przykład zawór rozprężny lub dysza, reguluje natężenie przepływu i rozdziela część wysokociśnieniową od niskociśnieniowej obiegu chłodniczego.

Wszystkie pozostałe elementy składowe w urządzeniu chłodniczym regulują jego pracę w zmiennych warunkach obciążenia cieplnego, przekazują ciepło z miejsca zainstalowania parownika, przekazują ciepło skraplania do elementów odprowadzenia tego ciepła do otoczenia, dostarczają mocy napędowej do urządzenia lub spełniają funkcje podwyższające bezpieczeństwo, niezawodność i trwałość urządzenia.

Niemal każdy płyn może być stosowany jako czynnik chłodniczy, zwykle w warunkach zmiany fazy. Zasadnicze różnice pomiędzy tymi płynami wynikają z ich stabilności, bezpieczeństwa, wydajności i zdolność jednorodnego mieszania się.

Historia czynników chłodniczych

Pierwsze stulecie stosowania czynników chłodniczych było zdominowane wysiłkami zmierzającymi do odkrycia właściwego czynnika spośród płynów stosowanych na co dzień: próbowano „wszystkiego co może pracować” w niemal zawsze prototypowych maszy-

nach. Zasadniczym celem było wyneleżenie czynnika chłodniczego, zaś potem, problem jego trwałości. Niemal wszystkie najwcześniej stosowane czynniki chłodnicze były palne, toksyczne, miały obydwie te cechy łącznie, zaś niektóre z nich były bardzo reaktywne chemicznie. Wypadki były powszechne. Perspektywicznym czynnikiem stał się propan, jako „bezzapachowy bezpieczny czynnik chłodniczy”.

Druga generacja czynników chłodniczych powstała 1928 roku w wyniku poszukiwań bezpieczniejszych płynów roboczych, głównie aby rozpowszechnić stosowanie domowych urządzeń chłodniczych. T. Midgley, Jr. wraz ze swoimi asystentami A. L. Henne'em i R. R. McNarym opracowali tabele własności czynników dla tych płynów, które wydawały się stabilne, niepalne oraz nietoksyczne i posiadające odpowiedni punkt wrzenia.

Rezultatem poszukiwań, na który zwrócili oni uwagę, były stosowane poprzednio związki organiczne fluorowane, jednak brak odpowiednich danych spowodował poszukiwanie czynnika w inny sposób. Midgley zwrócił uwagę na tablicę okresową pierwiastków. Na jej podstawie w szybki sposób był w stanie wyeliminować pierwiastki odpowiedzialne za niewystarczającą lotność czynnika. Następnie wyeliminował on pierwiastki odpowiedzialne za niestabilność i toksyczność oraz położony ich punkt wrzenia. Natomiast pozostawił osiem pierwiastków: węgiel, azot, tlen, siarkę, wodór, fluor, chlor oraz brom. Pierwiastki te skupiają się wokół przecięcia rzędów oraz kolumn w tablicy okresowej pierwiastków, przy czym fluor znajduje się w okolicy centrum tego zbioru.

Ponowne klasyfikacje dokonywane przez innych wraz z nowymi danymi oraz technikami badawczymi doprowadziły do tych samych rezultatów w zakresie właściwego doboru tak zwanych pierwiastków Midgleya. Jest rzeczą interesującą, że wszystkie czynni-

ki chłodnicze stosowane przed 1928 rokiem były zbudowane z użyciem siedmiu pierwiastków spośród ośmiu sklasyfikowanych wyżej, mianowicie wyjątkiem był fluor. W opracowaniach [4,5,6,7] zamieszczono historię tego problemu. Etapy rozwoju czynników chłodniczych, nakreślone skrótowo powyżej, zostały one ujęte ideowo na Rys. 1.

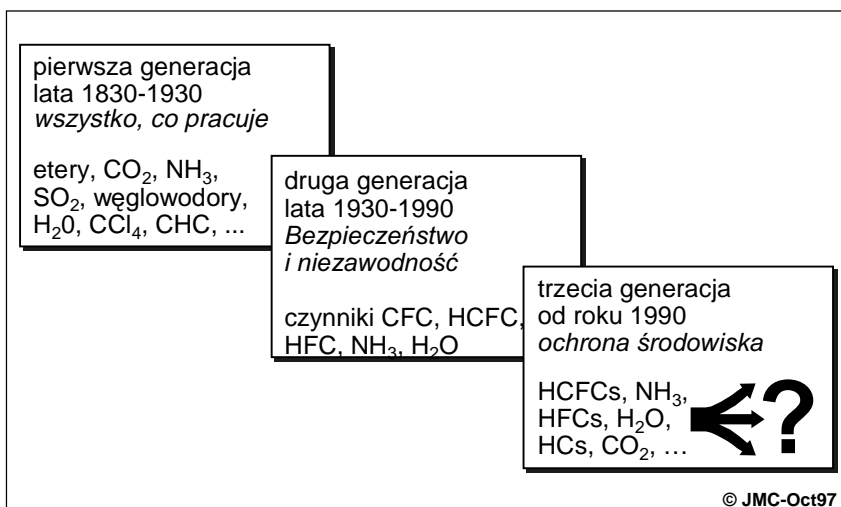
Idealny czynnik chłodniczy

Oprócz pożądaných własności termodynamicznych, **idealny czynnik chłodniczy** powinien być nietoksyczny, niepalny oraz całkowicie stabilny w instalacji. Powinien być również przyjazny dla środowiska naturalnego (takimi powinny być także produkty jego rozpadu), a ponadto czynnik powinien być łatwo dostępny i łatwy w produkcji. Pożądane jest, aby był on samosmarujący oraz kompatybilny z innymi materiałami stosowanymi do budowy oraz obsługi instalacji chłodniczych. Ponadto powinien on być łatwy w obsłudze oraz łatwy do wykrycia, nie powinien wymagać ekstremalnych ciśnień, zarówno wysokich, jak i niskich.

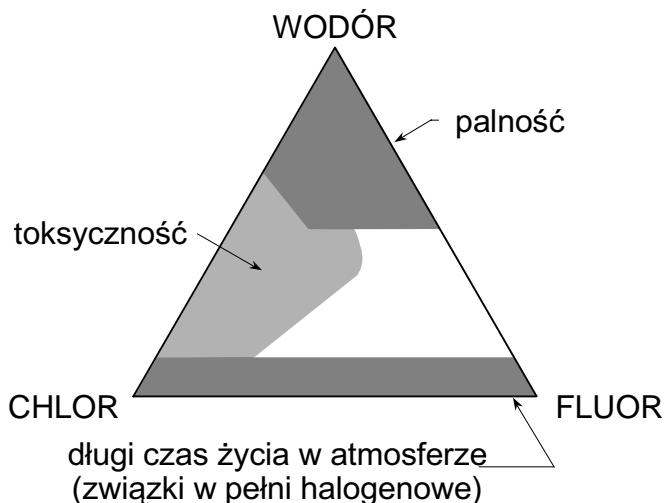
Są jeszcze dodatkowe kryteria, jednak żaden z obecnie stosowanych czynników nie może być uznany za idealny, gdyż nie spełnia nawet tej częściowej listy wymagań. Analizy dokonywane z chemicznego oraz termodynamicznego punktu widzenia ujawniają wzajemny konflikt dotyczący pożądanego składu chemicznego oraz własności, co praktycznie wyklucza prawdopodobieństwo istnienia idealnego czynnika chłodniczego oraz możliwość jego wyprodukowania [4].

Na Rys. 2. pokazano równowagę właściwą halogenowym związkom organicznym, zawierającym w swoim składzie chlor, fluor oraz wodór oprócz węgla. Wzrost zawartości wodoru prowadzi do skrócenia czasu życia w atmosferze, jednak jednocześnie powoduje wzrost palności. Wzrost zawartości fluoru obniża rozpuszczalność w środkach smarnych, tak więc związki należące do grupy HFC oraz

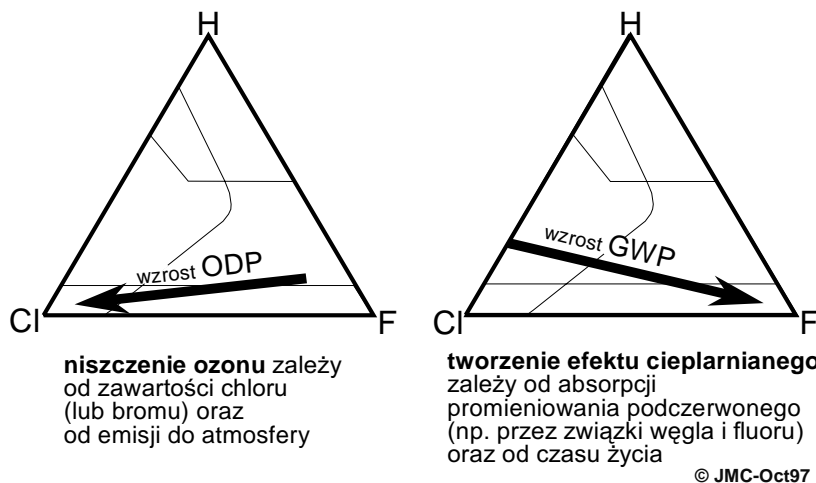
^{*)} Istnieją również inne sposoby uzyskiwania efektu chłodniczego, takie jak: efekt magnetokaloryczny, efekt termoelektryczny Seebecka i inne. Te rozwiązania wymagają dalszych badań i obecnie nie są możliwe do praktycznych zastosowań, za wyjątkiem zastosowań specjalnych, na przykład efektu magnetokalorycznego w temperaturach bliskich zera bezwzględnego. Zakres dyskusji ujęty w niniejszym artykule ogranicza się wykorzystania efektu Joule-Thomsona, który, jak na razie jest najpowszechniej stosowany.



Rys. 1. Etapy rozwoju czynników chłodniczych



Rys. 2. Równowaga pomiędzy palnością, toksycznością oraz czasem życia w funkcji zmian zawartości atomów chloru, fluoru oraz wodoru (z pracy M. O. McLindena i D. A. Didiona, 1987, [8])



Rys. 3. Wpływ zawartości chloru oraz fluoru na potencjał niszczenia warstwy ozonowej ODP oraz wskaźnik tworzenia efektu cieplarnianego GWP, wg [4]

związki fluorowe (w pełni fluorowane pochodne węglowodorów) wymagają zwykle olejów syntetycznych, aby olej powracał do sprężarki. Wzrost zawartości chloru na ogół zwiększa toksyczność związku. Jednak należy zwrócić uwagę, że są różne rodzaje toksyczności, takie jak: działanie trujące, wywołanie zaburzeń pracy serca, działanie rakotwórcze, własności mutagenne lub anestetyczne, oddziaływanie mające wpływ na rozrodczość lub działanie atakujące drogi oddechowe. Niektóre z oddziaływań toksycznych mają charakter czysto fizyczny, zaś inne chemiczny. Zawartość chloru jest zatem jedynie jedną z wielkości mających wpływ na toksyczność danego związku.

Zwiększenie zawartości fluoru oraz chloru zwiększa stabilność związku w atmosferze, co wydłuża czas jego życia. Jak pokazano na Rys. 3, wzrost zawartości chloru w cząsteczce czynnika chłodniczego na ogół zwiększa wartość potencjału niszczenia ozonu ODP. Związki chemiczne nie zawierające bromu lub chloru mają wartości potencjału ODP bliskie zeru. Podobnie, zwiększając zawartość fluoru na ogół podnosi się wartość wskaźnika tworzenia efektu cieplarnianego GWP. Zwiększenie ilości atomów wodoru skraca czas życia w atmosferze. Związki chemiczne o krótkim czasie życia posiadają niskie wartości potencjału ODP, ponieważ większość emisji do atmosfery ulega rozkładowi przed dotarciem do stratosfery. Związki te posiadają również niskie wartości wskaźnika GWP, gdyż ich obecność w atmosferze jest relatywnie krótsza.

Cdn

Z języka angielskiego przełożył:

Dariusz BUTRYMOWICZ

LITERATURA

1. Montreal Protocol on Substances That Deplete the Ozone Layer, United Na-

- tions (UN), New York, NY, USA, 1987.
2. United Nations Environment Programme (UNEP), Handbook for the International Treaties for the Protection of the Ozone Layer (fifth edition), Ozone Secretariat, Nairobi, Kenya, 2000
 3. Kyoto Protocol to the United Nations Framework Convention on Climate Change, United Nations (UN), New York, NY, USA, 1997
 4. J. M. Calm and D. A. Didion : "Trade-Offs in Refrigerant Selections: Past, Present, and Future," Refrigerants for the 21st Century, American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE), Atlanta, GA, USA, 6-19, 1997; in Japanese (translation by S. Sakaida) in Reito, 73(847):433-444, May 1998; International Journal of Refrigeration, 21(4):308-321, June 1998
 5. R. C. Downing : Fluorocarbon Refrigerants Handbook, Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ, USA, 1988
 6. B. A. Nagengast : "A History of Refrigerants," CFCs: Time of Transition, American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE), Atlanta, GA, USA, 1989
 7. R. Thévenot : A History of Refrigeration Through-out the World, International Institute of Refrigeration (IIR), Paris, France, 1979
 8. M. O. McLinden and D. A. Didion : "Quest for Alternatives," ASHRAE Journal, 29(12):32-36, 38, 40, and 42, December 1987
 9. J. M. Calm, "Emissions and Environmental Impacts from Air-Conditioning and Refrigeration Systems," Joint IPCC-TEAP Expert Meeting on Limiting the Emissions of HFCs and PFCs (Petten, The Netherlands, 26-28 May 1999), Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) of the World Meteorological Organization, Geneva, Switzerland, and Technical and Economic Assessment Panel (TEAP) of the United Nations Environment Programme, Nairobi, Kenya, 1999
 10. J. M. Calm, D. J. Wuebbles, and A. K. Jain, "Impacts on Global Ozone and Climate from Use and Emission of 2,2-Dichloro-1,1,1-trifluoroethane (HCFC-123)," Journal of Climatic Change, 42:439-474, June 1999
 11. C. Kroeze and L. Reijnders, "Halocarbons and Global Warming," Science of the Total Environment, Part I - 111(1):1-24, Part II - 112(2-3):269-290, and Part III - 112(2-3):291-314, 1992
 12. S. O. Anderson and E. T. Morehouse, "The Ozone Challenge," ASHRAE Journal, 39(9):33-36, September 1997
 13. D. J. Wuebbles and J. M. Calm, "An Environmental Rationale for Retention of Endangered Chemicals," Science, 278(5340):1090-1091, 7 November 1997
 14. World Meteorological Organization (WMO), Scientific Assessment of Ozone Depletion: 1998, chaired by D. L. Albritton, P. J. Aucamp, G. Mégie, and R. T. Watson, report 44, WMO Global Ozone Research and Monitoring Project, Geneva, Switzerland; United Nations Environment Program (UNEP), Nairobi, Kenya; National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), Washington, DC, USA; National Aeronautics and Space Administration (NASA), Washington, DC, USA; and the European Commission, Directorate General XII - Science, Research and Development, Brussels, Belgium; February 1999
 15. P. A. Domanski, D. A. Didion, and J. P. Doyle : "Evaluation of Suction Line - Liquid Line Heat Exchange in the Refrigeration Cycle," International Journal of Refrigeration, 17(7):487-493, September 1994
 16. P. A. Domanski : "Minimizing Throttling Losses in the Refrigeration Cycle," Proceedings of the 19th International Congress of Refrigeration, International Institute of Refrigeration (IIR), Paris, France, IVb:766-773, 1995
 17. Inputs for AFEAS/DOE Phase 3 Study of Energy and Global Warming Impacts, Arlington, VA: Air-Conditioning and Refrigeration Institute (ARI), November 1996
 18. Designation and Safety Classification of Refrigerants, ANSI/ASHRAE Standard 34-1997, American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE), Atlanta, GA, 1997; Addenda to Number Designation and Safety Classification of Refrigerants, Addenda 34a, 34b, 34c, 34d, and 34f, ASHRAE, 1999; Addenda to Number Designation and Safety Classification of Refrigerants, Addenda 34h, 34j, and 34k, ASHRAE, 2000
 19. J. M. Calm : "Refrigerant Safety," ASHRAE Journal, 36(7):17-26, July 1994
 20. Safety Code for Mechanical Refrigeration, ANSI/ASHRAE Standard 15-1994, American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE), Atlanta, GA, August 1994; Emergency Interim Standards Action for ANSI/ASHRAE Standard 15-1994, ASHRAE, May 1998; Addendum to Safety Code for Mechanical Refrigeration, ASHRAE, Addendum 15c, 2000
 21. J. M. Calm : "The Toxicity of Refrigerants," Proceedings of the 1996 International Refrigeration Conference at Purdue, Purdue University, West Lafayette, IN, 157-162, July 1996
 22. J. M. Calm : "Toxicity Data to Determine Refrigerant Concentration Limits," report DOE/CE/23810-110, Air-Conditioning and Refrigeration Technology Institute (ARTI), Arlington, VA, USA, September 2000



ALTERNATYWY I PERSPEKTYWY CZYNNIKÓW DO AGREGATÓW CHŁODNICZYCH

Część 2

James M. CALM, P.E.

Engineering Consultant, 10887 Woodleaf Lane, Great Falls, VA 22066-3003 USA
jmc@JamesMCalm.com

Przed rokiem 1989 wybór czynnika chłodniczego był czynnością prostą, a przynajmniej dużo prostszą, niż obecnie. Dla agregatów wyposażonych w sprężarki odśrodkowe do dyspozycji były następujące czynniki: R-11, R-12, R-22, oraz R-500. Dla specjalnych wymagań, takich jak zakres niskich wydajności oraz praca przy wysokich temperaturach skraplania w systemach odzysku ciepła, dostępne były czynniki odpowiednio: R-113 oraz R-114. Większość inżynierów nie dokonywała doboru właściwego czynnika chłodniczego lub dokonywała go jedynie w oparciu o oferty handlowe. Uwzględniały one wydajność chłodniczą urządzenia, warunki pracy, budowę instalacji, moc napędową sprężarki oraz układ automatyki chłodniczej.

KRYTERIA DOBORU CZYNNIKÓW CHŁODNICZYCH

Biorąc pod uwagę fakt, że nie istnieje idealny czynnik chłodniczy i najprawdopodobniej taki nie zostanie znaleziony, użytkownicy muszą pracować z czynnikami dostępnymi. Dokonanie wyboru spośród tych płynów roboczych jest o tyle frustrujące, że nie jest znana przyszła ich akceptacja jako czynników chłodniczych. Ponadto, uzasadniony wybór czynnika wymaga

znajomości wpływu różnych wielkości na pracę urządzenia, zarówno o charakterze związanym z oddziaływaniem na środowisko naturalne, jak również z wydajnością oraz kompatybilnością do pracy z różnymi materiałami.

Producenci sprzętu chłodniczego, którzy napełniają swoje wyroby czynnikiem chłodniczym, przedstawiają swój wybór jako jedyny uzasadniony logicznie. Producenci związków chemicznych oraz niezależne firmy serwisowe są również zaangażowane w promocję wyrobów na rynku, jednak mają oni znacznie mniej do powiedzenia w zakresie doboru czynnika chłodniczego. Nie powinno więc dziwić, że rynek zalewają informacje ze sobą sprzeczne, błędne, a czasem nieprawdziwe. W rezultacie pojawia się obawa, niepewność i wątpliwości. Wiążą się one z następującymi względami:

- przyszłą dostępnością czynnika (lub możliwością jego wycofania) w wyniku działań podejmowanych w związku ochroną środowiska naturalnego,
- sprawnością urządzenia,
- toksycznością,
- palnością,
- wzrostem kosztów w przyszłości.

Dostępność czynników w przyszłości

Obydwa czynniki R-22 i R-123 są

przeznaczone do wycofania na mocy Protokołu Montrealskiego i związanych z nim regulacji narodowych. Protokół ten wymaga całkowitego zaprzestania produkcji tych czynników do 2030 roku w państwach uprzemysłowionych oraz do 2040 roku w państwach rozwijających się. Następnie ustalono stopniową redukcję produkcji wszystkich czynników należących do grupy HCFC w oparciu o wartości potencjału ODP. Przepisy krajowe nakładają te same daty redukcji użycia tych czynników w nowych instalacjach lub nawet okresy te skracają, podobnie jak dla produkcji oraz importu, a w skrajnych przypadkach przepisy krajowe redukują możliwość zastosowania tych czynników całkowicie. Odpowiednie terminy są na ogół wcześniejsze lub znacznie wcześniejsze dla czynnika R-22 z uwagi na większą wartość jego potencjału ODP.

Podstawowym, aktualnym zagadnieniem dotyczącym czynników HCFC jest emisja czynników R-141b i R-142b używanych jako środki spieniające. Takie zastosowanie tych czynników nieuchronnie wiąże się z emisją do atmosfery, zaś wartości potencjału ODP dla tych czynników wynoszą odpowiednio 0.086 oraz 0.043 i należy je uznać za relatywnie duże, jak dla czynników należących do grupy HCFC. W przeciwieństwie do poprzedniego zastosowania, użycie czynników w agregatach chłodniczych wiąże się z

ich bardzo małą emisją do atmosfery [9], a poza tym wartości potencjału ODP dla czynników R-22 oraz R-123 są znacznie mniejsze i wynoszą odpowiednio 0.034 i 0.012.

Dokładna analiza przeprowadzona dla czynnika R-123 wykazała, że jego wpływ na efekt niszczenia warstwy ozonowej jest pomijalny i wynosi mniej niż 0.001% udziału w maksymalnej wartości [10]. Dalsze badania wskazują, że korzyści wynikające dla środowiska naturalnego ze stosowania tego płynu przewyższają efekty niszczenia warstwy ozonowej i wskazują na konieczność ponownego przeanalizowania jego wycofania [4, 9, 10, 11, 12,13].

O ile naukowa ocena dotycząca możliwości przywrócenia czynnika R-123 jest stanowcza, to jednak względy polityczne odgrywają rolę trudną do przewidzenia. Zezwolono na produkcję tego czynnika przez następne trzy dekady (a cztery dekady w krajach rozwijających się) nawet bez ponownej analizy. Ilości czynnika R-123 konieczne do prowadzenia serwisowania zarówno istniejących, jak i nowych urządzeń z nim pracujących powinny być wystarczające nawet przez kilka następnych dekad. Warto przy tym zauważyć, że produkcja czynnika R-11 została całkowicie zatrzymana w krajach rozwiniętych w 1994 roku lub wcześniej, lecz mimo to zapasy tego płynu są nadal znaczne. Odzyskiwanie czynników chłodniczych z wycofywanego sprzętu oraz stosowanie substytutów tego czynnika dozwolonych przez Protokół Montrealski powinno zapewnić jego ilości większe niż wynikające z aktualnego zapotrzebowania przy umiarkowanych kosztach. Kluczowym zagadnieniem jest odpowiednia szczelność oraz właściwa obsługa instalacji, co zapewni zmniejszenie

ilości tego płynu koniecznej do serwisowania.

Czynniki należące do grupy HFC nie są objęte kontrolą Protokołu Montrealskiego, ponieważ wartości ich potencjału ODP są bliskie zera. Emisja czynników z grupy HFC jest natomiast objęta regulacjami Protokołu z Kyoto, jednak postanowienia tego protokołu jeszcze nie weszły w życie i stan taki może trwać dopóty, dopóki nie zostaną wniesione korekty odnoszące się do ograniczeń dla krajów rozwijających się.

W obecnym kształcie Protokół z Kyoto podaje wartości emisji czynników w oparciu o średnią ważoną wskaźnika GWP dla sześciu wyspecyfikowanych gazów lub ich grup, włączając w to czynniki HFC. Czynniki należące do grupy HFC stanowią niewielki udział, jednak są tymi związkami, których udział rośnie najszybciej.

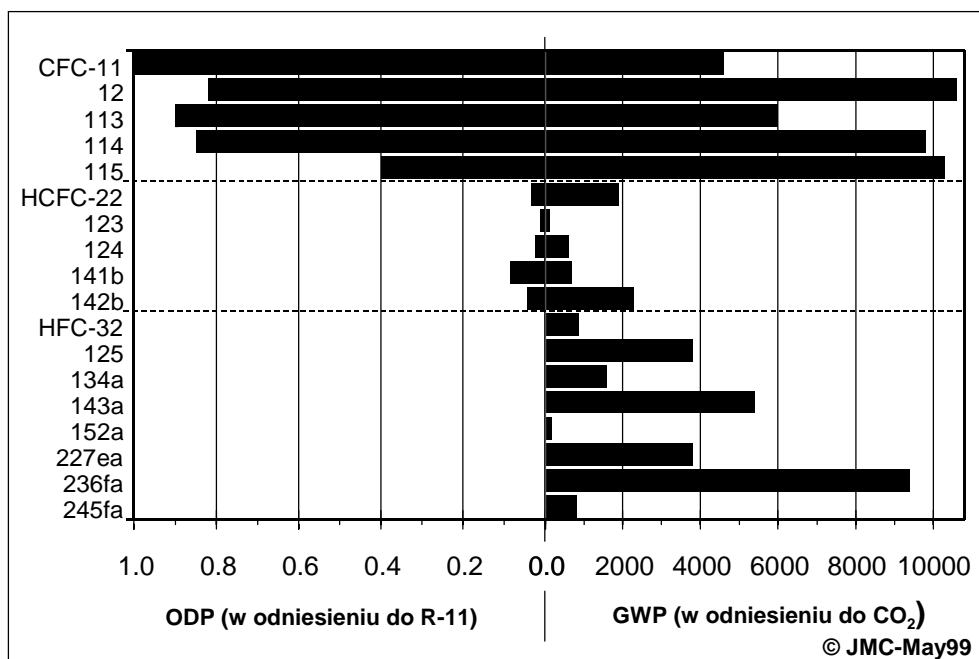
Nie ma jak na razie sposobu na przewidzenie, czy zostaną narzucone w przyszłości ograniczenia na produkcję tych czynników. Kilka krajów, głównie w Europie, skłania się zdecydowanie

w kierunku polityki restrykcyjnej odnośnie tych czynników i nawet zakazano w nich już obecnie stosowania niektórych płynów z grupy HFC. Producenci sprzętu chłodniczego unikają stosowania czynnika R-236fa w nowym sprzęcie z uwagi na wysoką wartość wskaźnika GWP dla tego płynu wynoszącą 9400 (dla porównania wartości tego wskaźnika wynoszą 120 oraz 1600 odpowiednio dla R-123 i R-134a).

Na Rys. 4 pokazano wartości potencjału ODP oraz wskaźnika GWP dla najważniejszych jednorodnych czynników chłodniczych. Wykres ten nasuwa kilka spostrzeżeń.

Po pierwsze, czynniki CFC są objęte kontrolą zarówno z uwagi na niszczenie warstwy ozonowej, jak i tworzenie efektu cieplarnianego.

Po drugie, tylko dwa z zamieszczonych na wykresie czynników posiadają bardzo niską (lub bliską zeru) wartość potencjału ODP oraz wskaźnika GWP, a jest to czynnik R-123 (należący do grupy HCFC) oraz czynnik R-152a (należący do grupy HFC). Czynnik R-152a jest płynem łatwopalnym



Rys. 4. Wartości potencjału niszczenia ozonu ODP oraz wskaźnika tworzenia efektu cieplarnianego GWP dla najważniejszych jednorodnych czynników chłodniczych (w oparciu o bazę danych zamieszczoną w opracowaniu [14]): czynniki należące do grupy CFC posiadają wysokie wartości ODP oraz GWP. Czynniki należące do grupy HCFC posiadają na ogół znacznie niższe wartości ODP oraz GWP. Czynniki należące do grupy HFC mają wartości potencjału ODP bliskie zera, ale posiadają relatywnie wysokie wartości wskaźnika GWP

i z tej racji stosowanym wyłącznie jako składnik mieszanin (głównie w mieszaninach R-401 będących czynnikami do serwisowania oraz w mieszaninie R-500).

Po trzecie, obraz zmieniłby się zasadniczo, gdyby za wiodące przyjęć wartości wskaźnika tworzenia efektu cieplarnianego niż potencjału niszczenia ozonu. Lewa część wykresu, zawierająca wartości potencjału ODP, wyjaśnia, dlaczego ustalenia wynikające z Protokołu Montrealskiego skierowane są przede wszystkim na czynniki należące do grupy CFC, ponadto dlaczego traktują płyny z grupy HCFC jako substancje przejściowe oraz traktują czynniki z grupy HFC jako rozwiązanie długoterminowe. Prawa strona wykresu, na której podano wartości wskaźnika GWP, sugeruje inny obraz, właściwy podejściu, gdy ocieplenie klimatu uznać za efekt wiodący. Czynniki powinny być w tym przypadku rozważane raczej indywidualnie niż łącznie w poszczególnych grupach. Wygląda na to, że czynnik R-123 prawdopodobnie przetrwa "drugie cięcie" z uwagi na wartość potencjału ODP, biorąc pod uwagę pozostałe rozważania dotyczące pozytywnych efektów jego stosowania dla środowiska naturalnego. Sprawy te przedyskutowano poniżej.

Biorąc pod uwagę racjonalne argumenty powrotu do stosowania czynnika R-123 oraz uwzględniając fakt, iż niektóre strony Protokołu dążą w kierunku bardziej rygorystycznego kontrolowania czynników z grupy HFC, branża chłodnicza i klimatyzacyjna wymaga klarownej naukowej oceny rzeczywistego stanu rzeczy. Branża ta wymaga łącznej oceny biorącej pod uwagę wszystkie aspekty ekologiczne, zarówno korzystne, jak i niekorzystne, wynikające ze stosowania tego płynu.

Sprawność

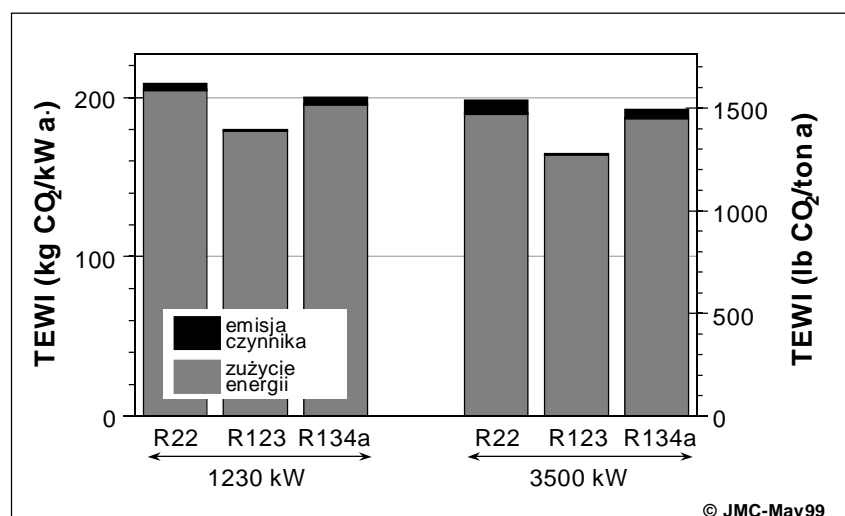
Niemal wszystkie substancje lotne mogą być stosowane jako czynniki chłodnicze. Ponadto, stosując różne płyny robocze można uzyskać te same wartości współczynnika wy-

dajności chłodniczej COP dla obiegu teoretycznego zmodyfikowanego w celu jego zaadaptowania do konkretnych własności termodynamicznych czynnika [4,15,16]. Należy jednak podkreślić, że osiągalny współczynnik wydajności chłodniczej jest różny dla różnych czynników dla prostych obiegów [4]. W rzeczywistości sprężenie różnice są znacznie większe [4,9,10].

Jeżeli chodzi o czynniki stosowane w nowych agregatach chłodniczych wyposażonych w sprężarki odśrodkowe, wartość współczynnika wydajności chłodniczej dla czynnika R-123 jest wyższa o 3 do 5% w odniesieniu do substytutów tego płynu. W opracowaniu wykonanym przez amerykański Instytut Chłodnictwa i Klimatyzacji (the Air-Conditioning and Refrigeration Institute - ARI) w grudniu 1996 roku podano, że stosowanie czynnika R-123 pozwala na uzyskanie wartości współczynnika wydajności chłodniczej o 9 do 20% wyższego w porównaniu do innych płynów roboczych pracujących w najlepszym dostępnym na rynku sprężeniu [17]. Biorąc pod uwagę, że większe usprawnienia wprowadzono dla czynnika R-123, niż dla pozostałych płynów roboczych, różnice są jeszcze większe. Na podstawie powyższego nie moż-

na sugerować, że agregaty chłodnicze pracujące z czynnikiem R-123 zawsze przewyższają pozostałe urządzenia, gdyż zakresy wartości współczynnika wydajności chłodniczej dla różnych czynników nachodzą na siebie. Oznacza to jednak, że agregaty chłodnicze pracujące z tym czynnikiem posiadają znaczną przewagę w obszarze urządzeń o najwyższej efektywności energetycznej. Te korzyści w zakresie efektywności energetycznej tłumaczą znaczne różnice w wartości wskaźników **TEWI** (ang.: total equivalent warming impact), **LCWI** (ang.: life-cycle warming impact) oraz **LCCP** (ang.: life-cycle climate performance), w których uwzględnia się łączny wpływ emisji czynnika do atmosfery oraz bardziej znaczące efekty związane ze zużyciem energii przez urządzenie wyrażone w równoważnej ilości emitowanego dwutlenku węgla.

Na Rys. 5 porównano wartości wskaźnika TEWI dla najlepszych agregatów chłodniczych i dla różnych czynników. W prezentowanych wynikach uwzględniono zapotrzebowanie energii na wieże chłodnicze i typowe pompy do wody chłodzącej skraplacze. Obliczenia były prowadzone w oparciu o metodykę oraz dane zawarte w opracowaniach



Rys. 5. Emisja gazów cieplarnianych (wyrażona w równoważnej ilości dwutlenku węgla) przypadająca na 1 kW wydajności chłodniczej i na rok (wskaźnik TEWI) dla najlepszych agregatów chłodniczych dostępnych na rynku dla dwóch reprezentatywnych wydajności chłodniczych

[4,10], a także poprzednich pracach cytowanych powyżej. Wartości wskaźnika GWP używane do obliczeń zostały wzięte z najnowszych raportów międzynarodowych. Jak wynika z tego wykresu, wycofanie czynnika R-123 spowoduje wzrost wartości wskaźnika TEWI dla najlepszych agregatów o 14 do 20%.

Toksyczność

Czynniki R-22, R-123, R-134a oraz inne częściej stosowane czynniki charakteryzują się niską lub bardzo niską toksycznością, jeżeli chodzi o oddziaływanie na skórę i drogi oddechowe (w warunkach krótkookresowej ekspozycji podczas nieplanowanej ucieczki czynnika). Żaden z nich nie jest rakotwórczy, nie oddziałuje szkodliwie na płodność, trującą i drażniącą na błony śluzowe. Wyjątkiem jest amoniak R-717. Jest to czynnik podrażniający skórę i oczy. Ponadto podrażnia on drogi oddechowe, jednak silny zapach ostrzega przed wyciekami tego czynnika.

Wszystkie płyny podane powyżej, za wyjątkiem amoniaku R-717 oraz wody R-718 wywołują zaburzenia pracy serca. Wszystkie one mogą być też uważane za gazy duszące.

Wymienione powyżej czynniki stwarzają niewielkie ryzyko podczas pracy obsługi technicznej lub dla osób znajdujących się w pobliżu instalacji. Zagrożenia stwarzane przez te płyny są zwykle zaliczane do zagrożeń długookresowych (długi czas trwania ekspozycji, ekspozycja powtarzająca się). Czynnik R-123 jest bardziej toksyczny niż R-22 oraz R-134a, co wynika z granicznych wartości czasu ekspozycji lub wskaźników ujętych w normie ASHRAE Nr 34 (*Designation and Safety Classification of Refrigerants*) [18]. Z kolei amoniak R-717 jest płynem jeszcze bardziej toksycznym, jednak żaden z omawianych płynów roboczych nie jest klasyfikowany jako substancja "bardzo toksyczna" lub nawet "toksyczna" w amerykańskich regulacjach prawnych oraz w większości regionalnych regulacji prawnych w dziedzinie budownictwa

(przepisy budowlane, przeciwpożarowe oraz przepisy dotyczące konstrukcji mechanicznych) [19].

Wszystkie te czynniki mogą być stosowane w warunkach pełnego bezpieczeństwa, o ile zostanie zastosowany odpowiedni sprzęt oraz odpowiednie rozwiązania konstrukcyjne i będą przestrzegane odpowiednie zasady obsługi technicznej urządzenia. Norma ASHRAE Nr 15 (*Safety Code for Mechanical Refrigeration*) [18] oraz przepisy budowlane, przeciwpożarowe oraz przepisy dotyczące konstrukcji mechanicznych podają minimalne wymagania bezpieczeństwa.

Sama toksyczność nie stanowi względnej miary zagrożeń wynikających ze stosowania czynnika. Większość wskaźników opisujących bezpieczeństwo oraz graniczne czasy ekspozycji są wyrażane za pomocą wartości bezwymiarowych koncentracji, podanych na przykład w ppm (milionowych częściach objętościowo) lub za pomocą równoważnych wartości wymiarowych (masa na jednostkę objętości). Z uwagi na różnice w lotności, wyciek tej samej ilości czynnika niskociśnieniowego oraz wysokociśnieniowego będzie skutkował różnymi wartościami stężenia w powietrzu w warunkach temperatury otoczenia. Biorąc pod uwagę normalną temperaturę wrzenia czynnika R-123, wynoszącą +27.8 °C, większość tego płynu wykropli się na podłodze, zatem jego stężenie w powietrzu będzie niskie. Na odwrót, czynniki R-22 oraz R-134a będą miały wyższe stężenie początkowe, lecz szybciej rozpląną się one w otoczeniu. Ponieważ wyciek czynnika wymusza jego ciśnienie, ilość czynnika wypływającego z instalacji dla tych samych rozmiarów nieszczelności będzie większy dla płynu wysokociśnieniowego, niż dla płynu niskociśnieniowego.

Biorąc pod uwagę większość wskaźników, czynnik R-123 jest bezpieczniejszy lub nawet znacznie bezpieczniejszy niż czynnik R-11. Czynnik R-134a jest z kolei jednym z najmniej toksycznych czynników

powszechnie dostępnych na rynku. Jakkolwiek czynniki te stwarzają zagrożenie, gdy stosowane są w sposób niewłaściwy, większa część instalacji chłodniczej znajduje się poza obrębem miejsca pracy ludzi. Możliwość śmiertelnego zagrożenia z tytułu wycieku czynnika chłodniczego, wyłączając celowe uszkodzenie instalacji, jest więcej niż dwadzieścia razy niższe w porównaniu z zagrożeniem wynikającym z instalacji oświetleniowej. To zagrożenie powinno się jeszcze bardziej zmniejszyć z uwagi na stosowanie wykrywaczy wycieku czynnika oraz stosowanie odpowiednich norm i przepisów.

Jak się okazało, czynnik R-22 wywoływał powstawanie złośliwych guzów u szczurów poddawanych testom toksycznym. Zarówno czynnik R-123, jak i czynnik R-134a, powodują powstawanie niezłośliwych guzów u szczurów podczas długotrwałej ekspozycji, przy czym dla ostatniego z płynów efekt ten obserwowuje się przy bardzo wysokich stężeniach. Wielokrotnie powtarzane testy toksykologiczne wykonane specjalnymi technikami potwierdziły, że powyższe rezultaty nie odnoszą się do ludzi. Wedle stwierdzeń ochotników, którzy byli w stanie bliskim śmierci oraz zostali reanimowani podczas testów prowadzonych na ludziach, czynniki R-134a oraz R-227ea w sposób rażący wypaczały to, co rzeczywiście miało miejsce. Jednocześnie prowadzone badania wykazały, że reakcje ludzi były wywołane warunkami, w jakich prowadzono badania, nie zaś oddziaływanie o charakterze chemicznym. Wielokrotnie prowadzone testy na zwierzętach oraz ludziach w warunkach wysokich koncentracji, a także w warunkach niezamierzonych ekspozycji na czynnik chłodniczy, potwierdziły te ustalenia.

Opracowania [19,21,22] zawierają więcej szczegółów dotyczących toksyczności czynników chłodniczych.

Palność

Żaden z omawianych czynników, za

wyjątkiem amoniaku oraz węglowodorów, nie jest palny, co stwierdzono na podstawie testów wykonywanych powszechnie dla celów klasyfikacji bezpieczeństwa czynników chłodniczych. Palność amoniaku jest umiarkowana, ponieważ płynu tego nie można łatwo zapalić. Czynniki R-123 oraz R-236fa są stosowane komercyjnie jako środki tłumiące ogień.

Za wyjątkiem wody, wszystkie pozostałe omawiane czynniki wymagają większej ostrożności przed ogniem, włączając w to aerozole złożone z oleju oraz sprężonej pary czynnika chłodniczego. Ta uwaga jest szczególnie istotna dla czynników palnych lub podtrzymujących płomień.

Przyszłe koszty

Najkrótsza uwaga odnosząca się do przyszłych kosztów czynnika chłodniczego jest taka, że nie powinny one być zbyt wysokie. Udział kosztów czynnika chłodniczego w całkowitym koszcie instalacji chłodniczej lub nawet odniesiony do kosztów samego sprzętu chłodniczego jest niewielki. Zasadniczym sposobem obniżenia kosztów czynnika chłodniczego dla celów serwisowania instalacji jest zminimalizowanie wymagań odnośnie uzupełniania jego ilości. Zasadnicze znaczenie odgrywają tu testy szczelności wykonywane u producenta oraz na miejscu wykonywania instalacji, stosowanie zaleceń producenta odnośnie obsługi, wyszkolenie personelu technicznego oraz szybka reakcja na wykrycie wycieku czynnika. W takim przypadku wymagane jest uzupełnienie ilości czynnika, użycie wykrywaczy nieszczelności oraz wydłużenie czasu pracy odpowiedzycy.

“WOJNA AGREGATÓW” - CHILLER WARS

Określenie “wojna agregatów” (ang.: chiller wars) oznacza akcję reklamową, która pojawiła się w latach 1990-ych na skutek problemów z doбором czynnika chłodniczego

oraz sprzętu.

Każde zastosowanie agregatu chłodniczego wymaga określenia wielu wielkości, jednak można dokonać dla większości z nich pewnych uogólnień. Poniższe uwagi dotyczą zwłaszcza niejasnej sytuacji na rynku, którą określa się często skrótem **FUD** (ang.: fear, uncertainty, and doubt – obawa, niepewność, wątpliwość).

Konstrukcje niskociśnieniowe zwykle zapewniają niższe koszty, zwłaszcza dla agregatów o wysokiej efektywności energetycznej. Wymagają one zastosowania urządzeń do odpowietrzania instalacji, jednak praca w warunkach podciśnienia zmniejsza straty czynnika (raczej do instalacji dostaje się powietrze niż wypływa z niej czynnik). Twierdzenie, że proces odpowietrzania instalacji (czyli usuwania z niej gazów inertnych) również prowadzi do ucieczki czynnika jest w dużej mierze poglądem odnoszącym się do przeszłości. W wyniku odpowietrzania straty czynnika są zbliżone do zera w wyniku jego wykroplenia z mieszaniny, w szczególności dla rozwiązanych, w których stosuje się przepływ mieszaniny gazów inertnych i czynnika przez warstwę węgla drzewnego lub inny zbiornik do odzyskiwania czynnika.

Agregaty chłodnicze wysokociśnieniowe mają zwykle bardziej zwartą konstrukcję, co ułatwia ich obsługę, gdy jest niewystarczająca ilość miejsca. Pozwalają one na ogół uzyskać niższe koszty wyposażenia chłodniczego dla urządzeń o niższej efektywności energetycznej, lecz nie dotyczy to oczywiście kosztów eksploatacyjnych.

Czynniki R-22, R-123 oraz R-134a stanowią możliwą do zaakceptowania ofertę. Urządzenia pracujące z czynnikiem R-22 będą stanowiły grupę sprzętu przeznaczoną do wycofania. Firmy handlujące hurtowo czynnikiem R-22 oraz odzyskane ilości tego płynu powinny łącznie zapewnić odpowiednią ilość czynnika do prowadzenia serwisowania starych oraz nowych urządzeń jeszcze przez wiele lat. Twierdzenie,

że użytkownicy będą się zmagali z niedostatkami tego płynu roboczego, lub że będą zmuszeni go nabywać za bardzo wygórowane ceny, należy uznać za przesadzone. Podobnie, jak dla czynników R-11, R-12 oraz innych płynów należących do grupy CFC lub mieszanin zawierających związki typu CFC (jak na przykład R-500 lub R-502), zasadnicze znaczenie ma szczelność instalacji, aby zminimalizować straty, poprawienie jakości obsługi technicznej oraz prowadzenie usprawnień w aktualnie eksploatowanych instalacjach. Powyższe stwierdzenia są istotne dla wszystkich czynników chłodniczych, nie tylko dla tych, które wkrótce przestaną być produkowane z uwagi na ich wycofanie.

Amoniak R-717 jest płynem roboczym również wymagającym rozważenia. Jest on doskonałym czynnikiem dla odpowiednich zastosowań. Przykładem mogą być procesy technologiczne w skali przemysłowej, takie jak obróbka chłodnicza żywności i piwa, składowanie chłodnicze żywności, sztuczne lodowiska. Amoniak nie jest czynnikiem odpowiednim wówczas, gdy z uwagi na lokalizację instalacji, jego wyciek wskutek awarii może zagrozić bezpieczeństwu publicznemu.

Agregaty chłodnicze absorpcyjne są zwykle droższe oraz większe, lecz w zamian oferują niższe koszty eksploatacyjne, o ile napędzane są one ze źródeł takich, jak ciepło odpadowe lub tanie ciepło grzejne, lub tanie paliwo. Pozwalają one ponadto na uniknięcie szczytowych obciążeń elektrycznych. Efektywność energetyczna agregatów absorpcyjnych jest stosunkowo niższa niż urządzeń sprężarkowych, co skutkuje znacznie większymi wartościami wskaźników TEWI, LCWI oraz LCCP w większości ich zastosowań.

Stoimy przed znanym starym dylematem dotyczącym częściowo wypełnionej wodą szklanki. Filozof zastanawia się, czy szklanka jest do połowy pełna, czy jest ona do połowy pusta, zaś inżynier chłodnik rozważa nieco inny problem, a mianowicie że owa szklanka jest stanowczo

za duża do potrzeb. Półprawdy o czynnikach chłodniczych wywołują podobne powyższemu stwierdzenia. Podstawową kwestią jest jednak nie to, czy mamy do czynienia z informacjami, które do połowy są poprawne, zaś do połowy nie, lecz to, że nie odnoszą się one do właściwych problemów.

PRZYSZŁE CZYNNIKI DO AGREGATÓW CHŁODNICZYCH

W nowych rozwiązaniach konstrukcyjnych stosuje się czynniki R-134a, R-407C, R-410A, inne mieszaniny lub amoniak R-717, które zastępują czynnik R-22 w najbliższych latach. Czynnik R-134a pozostanie nadal w użyciu i będzie dominował na ograniczonym rynku bardzo dużych agregatów chłodniczych o wydajności przekraczającej 15 MW.

Bardzo trudnym zadaniem będzie zastąpienie czynnika R-123, ponieważ wszystkie dostępne jego zamienniki stanowią pewien kompromis pomiędzy sprawnością a bezpieczeństwem [4,9,10]. Najlepszym rozwiązaniem byłaby rezygnacja z wycofania czynnika R-123 na mocy Protokołu Montrealskiego oraz krajowych regulacji prawnych. Rezygnacja taka mogłaby dotyczyć wyłącznie produkcji ograniczonej do zastosowania tego płynu tylko jako czynnika chłodniczego. Naukowa ocena takiej decyzji jest stanowcza, gdyż oddziaływanie czynnika R-123 na warstwę ozonową jest niemal niezauważalne, zaś znacząca korzyść wynikająca ze stosowania tego płynu polega na zredukowaniu efektu cieplarnianego, a przy tym czas jego życia w atmosferze należy do najkrótszych spośród wszystkich czynników chłodniczych.

Czynnik R-245fa umożliwia potencjalnie uzyskanie efektywności energetycznej na poziomie odpowiadającym czynnikowi R-123 w zakresie dużych wydajności chłodniczych od 3 do 15 MW przy zastosowaniu sprężarek wielostopniowych. Zastosowanie komercyjne tego czynnika nie jest jednak pewne. Związane jest ono bowiem z uzyska-

niem powszechnej akceptacji tego czynnika na rynku środków spieniających, aby uzyskać opłacalny poziom produkcji. Nawet, gdyby udało się ten warunek spełnić, wówczas czynnik R-245fa byłby znacznie droższy niż inne płyny robocze z uwagi na proces jego produkcji. Sprawą decydującą dla producentów sprzętu chłodniczego jest zaś kwestia długoterminowej dostępności czynnika w przyszłości.

Sugerowane stosowanie czynników: R-601 (n-pentanu), R-601a (izopentanu) oraz ich mieszanin wiąże się nieuchronnie z niebezpieczeństwem. Te węglowodory są palne, zaś znaczne ich ilości wymagane w agregatach chłodniczych wyposażonych w sprężarki odśrodkowe mogą skutkować eksplozją. Ponadto, praca w warunkach podciśnienia stwarza możliwość dostania się powietrza do instalacji i możliwości jego wybuchu, gdy zostanie ono sprężone. Poza kwestiami bezpieczeństwa jest ważne, że ani węglowodory, ani amoniak nie pozwalają na osiągnięcie sprawności urządzenia pracującego z czynnikiem R-123, jak pokazano w opracowaniach [4,9].

PODSUMOWANIE

Większość aktualnie wyrażanych obaw związanych z doborem czynnika chłodniczego jest nieuzasadniona. Inżynierowie, właściciele budynków oraz inni uczestniczący w procedurze wyboru agregatu chłodniczego powinni powrócić do tradycyjnego sposobu doboru opartego na podstawie kosztów, wydajności, lokalnych warunków serwisowania zapewnianych przez producenta oraz niezawodności. Przewidując bardziej rygorystyczne regulacje prawne związane z ochroną środowiska, powinni oni również wziąć pod uwagę praktyczne środki zaradcze ograniczające możliwości ucieczki czynnika chłodniczego oraz zapewniające wzrost efektywności energetycznej.

Obawy, niepewności i wątpliwo-

ści (FUD) opóźniły proces zastępowania starego, mniej sprawnego i bardziej podatnego na nieszczelności i usterki sprzętu chłodniczego. Taka sytuacja szkodzi środowisku naturalnemu, zwiększa koszty oraz ogranicza rozwój rynku agregatów chłodniczych.

Wcześniejsze stwierdzenie, że nie ma idealnego czynnika chłodniczego i że takiego się najprawdopodobniej nie znajdzie, pociąga za sobą przekonanie, że należy dążyć do naukowego uzasadnienia akceptacji określonych rozwiązań, niż do manipulowania rynkiem. Jeśli tak się nie stanie, wówczas wewnętrzna walka w branży spowoduje powrót do mniej bezpiecznych rozwiązań, które bardzo negatywnie wpłyną na zmiany klimatu. Wpłyną one również na pogorszenie się możliwości rozwiązania dalszych problemów, takich jak obniżona efektywność energetyczna i związane z tym większe zużycie energii napędowej.

Z języka angielskiego przełożył
Dariusz BUTRYMOWICZ

Literaturę zamieszczono w części pierwszej artykułu (p. numer 3/2003, s. 99)



www.tchik.com.pl