

ALTERNATYWNE DO R134a CZYNNIKI PROPONOWANE JAKO PŁYNY ROBOCZE W KLIMATYZACJI SAMOCHODOWEJ I INNYCH INSTALACJACH CHŁODNICZYCH O MAŁEJ WYDAJNOŚCI



mgr inż. Rafał ANDRZEJCZYK

Wydział Mechaniczny
Politechnika Gdańska

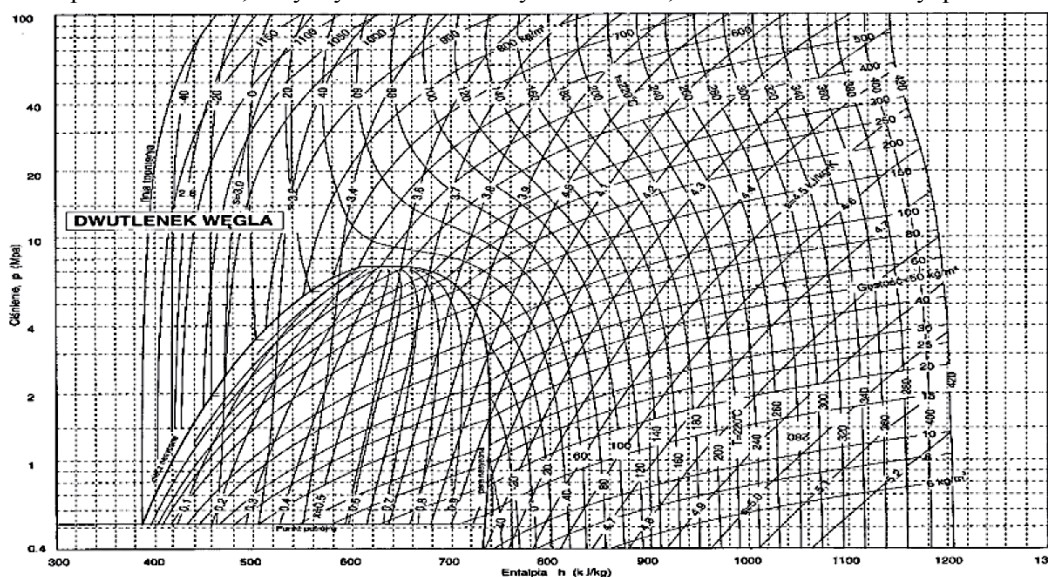
Część I

Analiza wpływu właściwości termodynamicznych i chemicznych „zamienników” R134a na bezpieczeństwo użytkowania oraz pracę instalacji chłodniczych

Na przestrzeni lat znacznie zmieniło się podejście do stosowania czynników chłodniczych w przemyśle oraz instalacjach codziennego użytku. Na bazie licznych raportów klimatycznych „lansujących” poglądy o rychłej katastrofie cywilizacji spowodowanej ociepleniem się klimatu Ziemi i niszczeniem warstwy ozonowej, jako bezpośrednim skutku przemysłowej działalności człowieka, powstały umowy międzynarodowe nazywane Protokołem z Kioto i Protokołem Montrealskim. Sygnatariusze tych dokumentów zobowiązali się do ograniczenia emisji dwutlenku węgla, uznanego za główne źródło wzmocnienia „efektu cieplarnianego”, jak również zaprzestania stosowania związków negatywnie oddziałujących na warstwę ozonową i wpływających na ocieplanie się klimatu. W celu sklasyfikowania czynników odnośnie ich szkodliwego wpływu na środowisko, wprowadzono m.in. pewne wskaźniki, takie jak np. **ODP** (Ozone Depletion Potential), czyli potencjał niszczenia ozonu stratosferycznego odniesiony do

czynnika R 11, któremu przyporządkowano wartość 1. Wprowadzono również wskaźnik **GWP** (Global Warming Potential), czyli potencjał tworzenia efektu cieplarnianego, odniesiony do dwutlenku węgla, któremu także przyporządkowano wartość 1. W początkowej fazie wprowadzania w życie, założeń Protokołu Montrealskiego położono szczególny nacisk na wyeliminowanie ze stosowania substancji posiadających $ODP > 0$. Zgodnie z Rozporządzeniem (WE) nr 2037/2000 z dnia 29.06.2000 r. oraz ustawą z dnia 20.04.2004 r. z użycia zniknął czynnik R22 i jego pochodne. W jego miejsce pojawiło się oczywiście wiele mieszanin, żeby wymienić chociażby R404A

czy R407C. Substancje te odznaczają się zazwyczaj mniejszą wydajnością chłodniczą dla parametrów, w których pracowała instalacja przy zastosowaniu w niej R22. Praktycznie oznacza to wyższe zużycie energii napędowej, a więc i w konsekwencji wyższą emisję CO_2 , jest to zależność wprost proporcjonalna (w naszej gospodarce opartej na energetyce węglowej). Kolejny etap „ekologicznej polityki UE” znalazł swój wyraz w dyrektywie 2006/40/EU, na mocy której we wszystkich nowo produkowanych urządzeniach chłodniczych i klimatyzacjach zastosowanie mogą mieć tylko czynniki o wskaźniku GWP nie wyższym niż 150. Oznacza to, że również stosowany powszechnie



Rys. 1 Wykres termodynamiczny w układzie współrzędnych „p-h” dla CO_2 [2]

Tab. 1 Porównanie wartości jednostkowej wydajności chłodniczej objętościowej oraz stosunek objętości cylindrów sprężarki dla amoniaku i dwutlenku węgla przy temperaturze skraplania +25°C i dochłodzenia +15°C [2]

t_0 [°C]	R 744	R 717	V_{R717}/V_{R744}
	q_v [kJ/m ³]		
-13	12860	2402	5.35
-23	9395	1572	5.98
-33	6713	991	6.78
-43	4201	597	7.03

nie w przemyśle motoryzacyjnym oraz niewielkich urządzeniach chłodniczych czynnik R134a odejdzie do historii, proces ten trwa, bowiem wspomniana dyrektywa obowiązuje już od 1 stycznia 2011 roku.

PORÓWNANIE „ZAMIENNIKÓW” DLA CZYNNIKA R134A

Wydawało by się, że naturalnymi zamiennikami dla wycofywanego czynnika R134a mogą być czynniki naturalne, już przecież szeroko stosowane w urządzeniach chłodniczych i klimatyzacyjnych, np. **dwutlenek węgla** (R744), **propan** (R290), czy **izobutan** (R600a). Z pośród wymienionych najbardziej przyjazny wydaje się być właśnie dwutlenek węgla. Jest to przecież gaz naturalny, będący efektem procesu oddychania niemal wszystkich organizmów na naszej planecie. Z zastosowaniem tego czynnika wiąże się oczywiście nowe problemy techniczne, tak jak każda ingerencja w instalację wiąże się z komplikacjami. Przede wszystkim R744 wymaga całkowitej zmiany w budowie układu ze względu na jego wysokie ciśnienia robocze. Substancja ta umożliwia efektywnie realizować obieg chłodniczy w obszarze nadkrytycznym, to jest powyżej punktu, w którym może ona występować tylko w stanie gazowym. W celu bliższego przeanalizowania zagadnienia na rysunku 1 przedstawiono wykres termodynamiczny tego czynnika w układzie współrzędnych (p-h).

Jeżeli chodzi o ciśnienia robocze, to pod tym względem jest to czynnik najmniej korzystny. Dla wysokiej temperatury powietrza lub wody chłodzącej skraplacza, ciśnienie w tym elemencie instalacji może osiągać wartości 100 bar i więcej. Natomiast

w normalnych warunkach ciśnienie to waha się od 60 do 70 bar. Kolejnym ograniczeniem jest ciśnienie, które musi panować w parowniku. Należy je bowiem utrzymać na poziomie 6 barów, ponieważ poniżej 5,18 bar CO₂ zamrzeza w instalacji.

Być może te właśnie wady tej substancji spowodowały, że jeszcze przed pierwszą wojną światową zrezygnowano z powszechnego stosowania dwutlenku węgla, mimo że jest to jeden z pierwszych czynników chłodniczych znany od 1866 r. Substancja ta posiada jednak również bardzo ważną zaletę, a mianowicie osiąga bardzo duże jednostkowe wydajności chłodnicze objętościowe q_v [kJ/m³]. W tym miejscu posłużę się porównaniem R744 do amoniaku, który jest przecież uważany za czynnik o szczególnie wysokich wartościach q_v , co pokazuje tabela 1.

Z analizy zawartych w tabeli danych widać wyraźnie, że stosunek wielkości cylindrów sprężarki dla amoniaku i R744 waha się między 5 a 7, czyli czynnik ten pozwala na budowanie urządzeń o największej zwartości. Jest to aspekt niezwykle ważny w dobie szeroko pojętej miniaturyzacji. Kolejnymi zaletami tego czynnika są jego niepalność i niewybuchowość. Wadą może być brak zapachu, co w połączeniu z jego bezbarwnością powoduje, że jest on niewyczuwalny przez zmysły człowieka. Ponadto CO₂ posiada wyjątkowo małą rozpiętość pomiędzy warunkami śmiertelnymi a obojętnymi dla człowieka. Przeciwnicy zastosowania tego czynnika podnoszą właśnie ten argument, że w przypadku rozszczelnienia parownika gaz ten może przeniknąć do kabiny i zatruć pasażerów, oraz to, że niezwykle trudno jest zlokalizować nieszczelność w jego instalacji (niewątpliwie trudno nie zgodzić się z argumentem dotyczącym lokalizacji nieszczelności). Prześledźmy jednak podstawowe właściwości termodynamiczne dwutlenku węgla, które zestawiono w tabeli 2.

Tab. 2 Wybrane właściwości dwutlenku węgla [10]

Masa molowa [kg/kmol]	44,01
Temperatura punktu potrójnego [°C]	-56,5
Temperatura wrzenia dla warunków normalnych [°C]	-78,464
Temperatura krytyczna [°C]	31,978
Ciśnienie krytyczne [bar]	73,773
ODP	0
GWP	1

Poza wysokimi ciśnieniami roboczymi, pod względem termodynamicznym substancja ta powinna pozwalać na budowę bezpiecznych i zwartych instalacji chłodniczych przyjaznych dla środowiska. Niewątpliwie lokalizacja nieszczelności w instalacji, w której czynnikiem jest R744 następcza obsłudze serwisowej pewne problemu, ale skoro koszty mają ponosić użytkownicy układów, to dlaczego nie rozłożyć ich po równo na wszystkie zainteresowane strony.

Wydaje się, że gra idzie o wysoką stawkę, bowiem poza instalacjami domowych urządzeń chłodniczych, czynnik R134a najczęściej stosowany jest przecież w układach klimatyzacji samochodowej (warto zauważyć, że przemysł motoryzacyjny jest największym odbiorcą czynników chłodniczych). Początkowo organizacja VDA, stowarzyszenie zajmujące się badaniami i rozwojem w dziedzinie motoryzacji, zarekomendowała jako zamiennik dla wycofywanego R134a właśnie dwutlenek węgla. Miało to miejsce w roku 2009, ale od tego czasu stanowisko tej organizacji uległo diametralnej zmianie, co buduje atmosferę podejrzeń, skąd nagle taka zmiana. Być może powodem jest fakt, że CO₂ jest czynnikiem szeroko dostępnym, a jego uzupełnienie w instalacji wiązało by się z niewielkimi kosztami? Tymczasem przemysł chemiczny bazujący przecież na produkcji czynników syntetycznych zaliczył by ogromne straty. Koszty dostosowania instalacji chłodniczej do pracy z CO₂ szacuje się na ok. 100 euro. Natomiast do końca nie wiadomo ile będzie koszt-

Tab. 3 Wybrane właściwości R134a i R1234yf [10]

R134a		R1234yf	
Masa molowa [kg/kmol]	102,03	Masa molowa [kg/kmol]	114,04
Temperatura punktu potrójnego [°C]	-103,3	Temperatura punktu potrójnego [°C]	-53,15
Temperatura wrzenia dla warunków normalnych	-26,074	Ciśnienie punktu potrójnego [bar]	-29,45
Temperatura krytyczna [°C]	101,06	Temperatura krytyczna [°C]	94,7
Ciśnienie krytyczne [bar]	40,593	Ciśnienie krytyczne [bar]	33,822
ODP	0	ODP	0
GWP w przeciągu 100 lat	1300	GWP	4

tować wymiana syntetycznego czynnika **R1234yf** (2,3,3,3-tetrafluoropropene), którego skład chemiczny ma postać $\text{CH}_2=\text{CFCF}_3$, proponowanego jako zamiennik R134a. Według bieżących szacunków będzie to około 200 euro [4].

Jeżeli chodzi o ekologię i nasze wspólne dobro, to dlaczego powinno się przejść na stosowanie R1234yf? Zwolennicy tego rozwiązania zastrzegają się, że przede wszystkim przeróbki w instalacji chłodniczej będą kosmetyczne, ponieważ czynnik ten posiada właściwości bardzo zbliżone do swojego poprzednika, dodając jednak niemal jednym tchem, że najprawdopodobniej konieczna będzie wymiana sprężarki. Nowe urządzenia sprężarkowe będą mogły pracować zarówno na R134a jak i na R1234yf. Jednak stare sprężarki raczej nie będą tolerowały nowej substancji syntetycznej. W tabeli 3 zestawiono wybrane właściwości termodynamiczne R134a i R1234yf.

Rzeczywiście jak widać z powyższego zestawienia w zakresie ciśnień i temperatur czynniki te wykazują bardzo zbliżone właściwości. Niewątpliwie na korzyść R1234yf przemawia znacznie niższa wartość wskaźnika GWP, chociaż przegrywa on w tym zakresie z CO_2 . Nowy czynnik nie jest bezwonny, a więc ewentualne jego wycieki będzie można łatwiej zlokalizować, natomiast w odróżnieniu od R134a nie jest to substancja niepalna, co więcej jego temperatura zapłonu wynosi 405°C . Innymi słowy możliwe jest, że przy zderzeniu samochodu powstaną warunki sprzyjające jego wybuchowi w instalacji. Oczywiście w dobie pojazdów napędzanych różnymi mediami, takimi jak mieszanina

propan-butan czy metan, cecha ta zapewne aż tak bardzo nie szokuje potencjalnych użytkowników. Niewiele mówi się jednak o innych „interesujących” właściwościach tego czynnika. Efektem spalania tego gazu jest fluorowodor, który w połączeniu z substancjami gaszącymi lub wodą np. w deszczowy dzień tworzy kwas fluorowodorowy. Substancja ta bardzo dobrze i do tego bezboleśnie przenika przez skórę, powodując głębokie i trudno gojące się rany. Ale to nie koniec „dobrodziejstw”, jakie niosą nam kolejne „ekologiczne rozwiązania”. Według symulacji przeprowadzonej przez jedną z niemieckich organizacji ochrony środowiska, w wyniku wypadku samochodu wyposażonego w instalację klimatyzacji wypełnioną omawianym czynnikiem przy pożarze wydzielony fluorowodor po przeniknięciu do kabiny pojazdu wypalał nawet szyby. Biorąc ponadto pod uwagę fakt, że czynnik ten reaguje z takimi materiałami jak alumi-

nium, cynk czy magnez, perspektywa jego użycia w układach samochodowych wydaje się stwarzać dodatkowe wątpliwości. Czy wyobrażamy sobie nowoczesne auta pozbawione elementów konstrukcyjnych wykonanych z aluminium? Pojawia się więc kolejny element, który powinno się, a raczej należy wymienić w starszych instalacjach klimatyzacyjnych napełnionych R134a, są to przede wszystkim wymienniki ciepła, konstruowane często jako wymienniki z rurkami miedzianymi i lamelami wykonanymi z aluminium. Zastanawiający jest fakt, że Unia Europejska nie dopuściła do zastosowania czynnika R1234yf jako środka gaśniczego (do związku tego miały zostać dodane odpowiednie składniki zapewniające niepalność mieszaniny). Równie dziwne wydaje się postępowanie Komisji Europejskiej na której stronie pojawił się ostatnio komunikat o wszczęciu postępowania antymonopolowego wobec producentów omawianego czynnika. Zdecydowani oponenci zastosowania R1234yf wykazują, że, każdy większy wypadek samochodowy będzie wyglądał, tak jak na rysunku 2.

Jak do tej pory, samochody wyposażone w instalacje napełnioną HFO-1234yf wyprodukowały koncerny Mazda i Suzuki. Rozsądniejsze wydają się działania Mercedesa, który wystąpił o możliwość wyprodukowania jeszcze około 50 tys. aut „na starym czynniku” R134a.

Nie można oczywiście nie zauważać argumentacji i badań firm odpowiedzialnych za opracowanie i pro-



Rys. 2. Działania podejmowane podczas wypadku samochodu przewożącego niebezpieczną substancję [6]

Tab. 4 Zestawienie informacji dotyczących toksyczności R1234yf w porównaniu z R134a [9]

Test	HFO-1234yf	134a	
Ostra śmiertelność	Brak 400,000 ppm	Brak 359,700 ppm	✓
• Wpływ nasercowy	NOEL > 120,000 ppm	NOEL 50,000 ppm LOEL 75,000 ppm	✓
• 13 tyg. ekspozycja	NOEL 50,000 ppm	NOEL 50,000 ppm	✓
• wpływ na rozwój (szczur)	NOAEL 50,000 ppm	NOAEL 50,000 ppm	✓
• Toksyczność genetyczna	Niemutageny	Niemutageny	✓
• 13 tyg. ekspozycja Rakotwórczość	Brak akt. (50,000 ppm)	toler. (50,000 ppm)	✓
NOEL - Nie obserwowany poziom narażenia , ppm-część na milion		LOEL - Niski obserwowany poziom narażenia	

dukcję R1234yf. Pokazują one m.in. że substancja ta wykazuje mniejszą palność, od np. powszechnie niegdyś stosowanego czynnika R152a. Palność HFO-1234yf w zestawieniu z innymi popularnie stosowanymi substancjami prezentuje rysunek 3.

Producenci przedstawiają alternatywne badania, które udowadniają, że mimo wycieku omawianego czynnika nie następuje jego zapłon nawet w zetknięciu z łukiem spawalniczym. Przedstawiają również szereg testów wykazujących analogiczny do R134a brak toksycznego wpływu na organizmy żywe. Zestawienie najważniejszych informacji w tym zakresie prezentuje tabela 4.

Producenci nowego „zamiennika” podkreślają również fakt, że także R134a może ulegać rozkładowi termicznemu w wyniku czego uwalniane są toksyczne substancje żrące m.in. fluorowodór (niewątpliwie warunki te są znacznie bardziej ekstremalne). Ponadto w swoich badaniach prezentują szereg doświadczeń polegających na zbadaniu sytuacji, która wystąpi po zderzeniu pojazdu wyposażonego w instalację z R1234yf, w różnych najczęściej spotykanych wariantach. Według tych doświadczeń, tylko niezwykle zbieg niekorzystnych okoliczności mógłby doprowadzić do wystąpienia zagrożenia dla użytkowników pojazdu.

W świetle tak sprzecznych informacji może warto nie ograniczać się do brania pod uwagę tylko dwutlenku węgla i R1234yf jako zamienników R134a, ale i stosować jako czynnik **propan** (R290), który z powodzeniem

wykorzystywany jest w Australii, czy może od dawna stosowany w małych urządzeniach chłodniczych **izobutan** (R600a). Są to również substancje palne, ale nie żrące, ponadto propan jest przecież czynnikiem naturalnym. Jego ewentualna wymiana kosztowała by tak jak w przypadku CO₂, niewielkie pieniądze (również w przypadku izobutanu koszty były by na pewno mniejsze niż dla czynnika R1234yf).

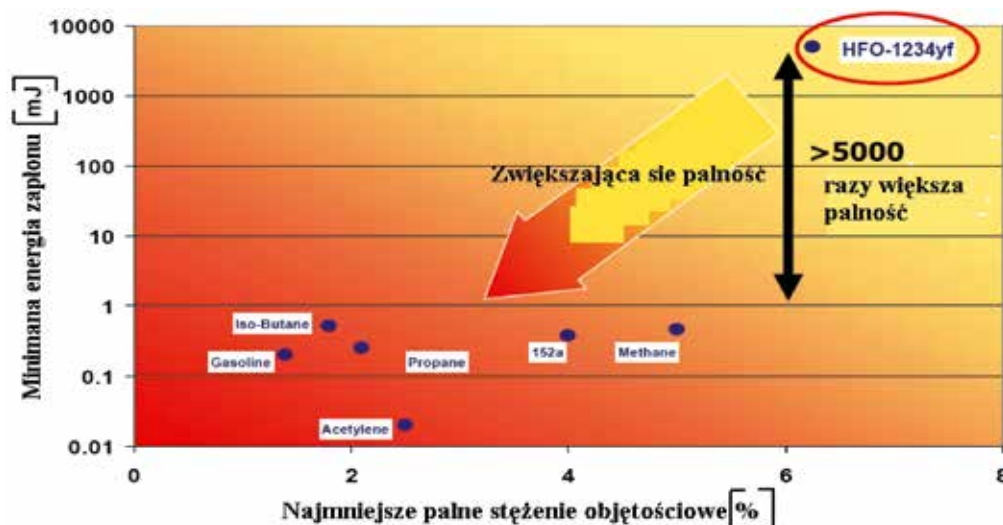
Jeżeli chodzi o R290, to jest to substancja naturalna stosowana od dawna w przemyśle, ale ze względu na wybuchowość objęta, nie bez przyczyny, ostrymi przepisami w zakresie bezpieczeństwa. Tak jak czynnik syntetyczny R134a jeszcze do niedawna typowany był jako zamiennik wycofanych czynników chlorowcopochodnych R22 i R502, w tym aspekcie zawsze wymieniany był również propan. R134a góruje nad nim przede wszystkim względami bezpieczeństwa, które stawiane są na pierwszym miejscu. W tabeli 5 zestawiono najważniejsze właściwości propanu.

Tab. 5 Wybrane właściwości R290 [10]

Masa molowa [kg/kmol]	44,096
Temperatura punktu potrójnego [°C]	-187,63
Temperatura wrzenia dla warunków normalnych	-42,114
Temperatura krytyczna [°C]	96,74
Ciśnienie krytyczne [bar]	42,512
ODP	0
GWP w przeciągu 100 lat	3

Należy dodać, że propan jest bezbarwny i bezwonny, a jego temperatura samozapłonu wynosi 470°C, jest cięższy od powietrza, a granica jego wybuchowości waha się od 2,1% do 9,5% obj. Co warto zauważyć, zarówno w zakresie wskaźników ekologicznych jak i temperatury samozapłonu propan wydaje się być bezpieczniejszy od zaproponowanego przez UE nowego czynnika chłodniczego. Temperatura tłoczenia R290 kształtuje się na podobnym poziomie jak w przypadku R12, a więc w tym zakresie nadaje się do instalacji na R134a. Propan nie sprawia żadnych problemów odnośnie tolerancji materiałowej. Może współpracować z olejami mineralnymi stosowanymi do czynników z grupy CFC. W warunkach zastosowania propanu niezbędne są oczywiście specjalne systemy zabezpieczające przed jego wybuchem. Czynnik ten odznacza się dużą jednostkową wydajnością chłodniczą objętościową, dlatego też możliwe jest wykorzystywanie mniejszej jego ilości w instalacji (nawet o 30% mniej w porównaniu z instalacjami na R22). Wydaje się, że cechę tę zauważyły koncerny międzynarodowe, między innymi chińska firma Gree Electric Appliances, która prowadzi pilotażowy program z klimatyzatorami indywidualnymi napełnionymi w miejsce R22 i R404A właśnie propanem. Co ciekawe, badania te finansowane są przez niemieckie Ministerstwo Ochrony Środowiska. Wymogi bezpieczeństwa osiąga się w tym przypadku dzięki niewielkiemu napełnieniu instalacji rzędu 200 do 350 g, przy wydajnościach chłodniczych od 2 do 4 kW. Niewątpliwie zwiększenie wydajności można by osiągnąć poprzez zastosowanie innowacyjnych rozwiązań w dziedzinie budowy układów chłodniczych. Między innymi należałoby rozpocząć badania nad zastosowaniem technologii mini i mikrokanałowych, czy nowoczesnych elektronicznych zaworów rozprężnych. Działania te winny sprzyjać również dalszemu ograniczaniu ilości czynnika w instalacji, tak aby ilość ta nie stwarzała zagrożenia pożarem, jak również wybuchem.

Kolejnym czynnikiem, którego zastosowanie warto jest rozważyć jako



Rys. 3. Palność poszczególnych substancji w zależności od stężenia objętościowego [9]

alternatywy dla R134a jest wspomniany **izobutan** (R600a). Obecnie wiele małych urządzeń chłodniczych, takich jak np. chłodziarki napełnionych jest tą substancją. Izobutan również nie wykazuje agresywności w stosunku do najczęściej używanych materiałów konstrukcyjnych, ponadto dobrze miesza się z olejami mineralnymi. Czynnik ten odznacza się niską lepkością dynamiczną i małą masą molową, co wiąże się ze zmniejszeniem oporów hydraulicznych w przepływie. Wadą przy użytkowaniu tego czynnika jest mała jednostkowa wydajność chłodnicza objętościowa, która zmusza do zastosowania sprężarek chłodniczych przeznaczonych specjalnie do R600a. Oczywiście izobutan jest palny, ale jego samozapłon następuje w temperaturze 460°C. Czynnik ten nie jest praktycznie rozpuszczalny w wodzie, stąd też instalacja nim napełniona jest niewrażliwa na zawilgocenie. W tabeli 6 zestawiono wybrane właściwości dotyczące tego czynnika.

Tab. 6 Wybrane właściwości R600a [10]

Masa molowa [kg/kmol]	58,122
Temperatura punktu potrójnego [°C]	-159,42
Temperatura wrzenia dla warunków normalnych	-11,749
Temperatura krytyczna [°C]	134,66
Ciśnienie krytyczne [bar]	36,29
ODP	0
GWP w przeciągu 100 lat	0,001

Ważnym parametrem jest w tym przypadku wysoka temperatura w punkcie krytycznym, co zapewnia, że nawet w wyjątkowo trudnych warunkach nie będzie ryzyka pracy instalacji w obiegu nadkrytycznym (jest to dla tej substancji niekorzystne). Natomiast pod względem wartości wskaźników ekologicznych czynnik ten wydaje się być najbardziej przyjazny dla środowiska. Pary izobutanu są cięższe od powietrza, ponadto posiada on właściwości duszące, ale ze względu na niewielkie ilości tego czynnika np. w lodówkach nie stanowi to zagrożenia nawet w małych pomieszczeniach. Należy domyślać się, że w przypadku układu klimatyzacji samochodowej bez ciągłej recyrkulacji powietrza wewnątrz kabiny, nieszczelność w układzie nie stanowiła by poważnego zagrożenia dla użytkowników.

WNIOSKI

Niewątpliwie należy zdawać sobie sprawę z tego, że wszystkie wymienione zamienniki R134a, są w ogólnym rozrachunku mniej bezpieczne dla użytkowników klimatyzacji samochodowej. Na pewno w mniejszym stopniu dotyczy to innych niewielkich urządzeń chłodniczych czy klimatyzacyjnych przeznaczonych do zastosowań domowych. Nasuwa się pytanie, jakie wartości współczynnika COP będzie można uzyskać przy zastosowaniu analizowanych substancji? Czy faktycznie rezygnacja z dobrze znane-

go nam czynnika R134a opłaci się z punktu widzenia chociażby zużycia paliwa, a więc i ilości emitowanych spalin do atmosfery?

cdn...

LITERATURA DO CZĘŚĆ I:

- [1] Bonca Z., Dziubek R.: Zagadnienia obliczeniowe z chłodnictwa i klimatyzacji, Wydawnictwo Uczelniane WSM Gdynia, 2000
- [2] Bonca Z. i in.: Nowe czynniki chłodnicze i nośniki ciepła, Wyd MASTA, Gdańsk 2004
- [3] Witt M.: Eurammon: Węglowodory czynniki chłodnicze neutralne wobec klimatu, Technika Chłodnicza i Klimatyzacyjna, nr 3/2010, s. 106-108
- [4] <http://www.wykop.pl/ramka/921555/nowy-czynnik-do-klimatyzacji-ue-wybiera-drozszy-i-bardziej-niebezpieczny/> [strona 27. 02. 2012 r.]
- [5] <http://www.chlodnictwoiklimatyzacja.pl/index.php/arttykuly/169-wydanie-102010/1652-kontrowersje-zwizane-z-r1234yf-jako-czynnikami-chodniczym.html> [strona 27. 02. 2012 r.]
- [6] <http://www.malopolskie.pl/Transport/ADR/?id=2075> [strona 27.02.2012 r.]
- [7] <http://www.laser-sinex.pl/auto-klimatyzacja-samochodowa/nowy-czynnik-chlodniczy-r-1234yf/> [strona 27.02.2012 r.]
- [8] <http://www.sae.org/events/aars/presentations/2010/H5.pdf> [strona 6.03.2012 r.]
- [9] <http://www.sae.org/events/aars/presentations/2010/T8.pdf> [strona 6.03.2012 r.]
- [10] Refprop 9.0

