

Artur RUSOWICZ<sup>1</sup>  
Andrzej GRZEBIELEC<sup>2</sup>

## ASPEKTY PRAWNE I TECHNICZNE ZMIANY CZYNNIKÓW CHŁODNICZYCH W INSTALACJACH CHŁODNICZYCH I KLIMATYZACYJNYCH

Czynniki chłodnicze stosowane w instalacjach klimatyzacyjnych, chłodniczych oraz pompach ciepła od kilku dekad podlegają coraz ostrzejszym regulacjom prawnym. W pierwszej kolejności zgodnie z „Protokołem Montrealskim” zostały zakazane czynniki robocze, które charakteryzowały się dużym potencjałem niszczenia warstwy ozonowej. Były to głównie substancje z grupy CFC. Zastąpiły je czynniki robocze o zdecydowanie niższym potencjale niszczenia warstwy ozonowej, głównie substancje z grupy HCFC. Rok 2014 jest ostatnim, w którym na terenie Unii Europejskiej można serwisować instalacje z tego typu czynnikami. Z tego też powodu od prawie dekady stosuje się głównie czynniki z grupy HFC, jednak i te w niedalekiej przyszłości będą na terenie Unii zakazane. Co prawda, nie niszą one warstwy ozonowej, ale znajdują się w tzw. grupie f-gazów, czyli substancji fluorowanych o wysokim potencjale tworzenia efektu cieplarnianego. Wymiana czynnika roboczego w instalacji chłodniczej nie jest zagadnieniem prostym, a w wielu przypadkach wręcz niemożliwym. Spowodowało to, że w wielu wypadkach instalacje musiały być budowane zupełnie od nowa. Publikacja ma za zadanie przedstawić aspekty prawne i techniczne wymiany czynników chłodniczych na nowe w istniejących instalacjach. Zwrócono uwagę na zmiany powstające w parametrach użytkowych instalacji chłodniczych i klimatyzacyjnych. Przedstawiono także projekty najbliższych regulacji prawnych mających istotny wpływ zarówno na już istniejące instalacje, jak i na te nowo powstające.

**Słowa kluczowe:** czynniki chłodnicze, potencjał tworzenia efektu cieplarnianego, chłodnictwo, klimatyzacja

---

<sup>1</sup> Autor do korespondencji/corresponding author: Artur Rusowicz, Politechnika Warszawska, 00-665 Warszawa, ul. Nowowiejska 21/25, tel. 22 2345221, rusowicz@itc.pw.edu.pl

<sup>2</sup> Andrzej Grzebielec, Politechnika Warszawska

## 1. Wprowadzenie

Aspekty ochrony środowiska w stosunku do czynników chłodniczych stanowią dominującą rolę na przestrzeni ostatnich 25 lat. Stopniowo wymieniano czynniki chłodnicze z grupy CFC (ang. *chloroflourocarbon*) niszczące ozon w stratosferze na mniej niszczące z grupy HCFC (ang. *hydrochlorofluorocarbon*), realizując postanowienia „Protokołu Montrealskiego” [6]. Obecnie jest realizowane wycofywanie czynników HCFC (głównie R22) na podstawie rozporządzenia WE 2037/2000 [8] i ustawy o substancjach kontrolowanych [10]. Od 1 stycznia 2010 r. na terenie UE nie można już dokonywać do końca 2014 r. obrotu nowymi czynnikami z grupy HCFC, a istniejące instalacje można jeszcze uzupełniać czynnikami pochodzącymi z odzysku i regeneracji. Ilość i dostępność czynnika jest więc mocno ograniczona, w związku z czym na rynku pojawiły się nowe czynniki chłodnicze będące zamiennikami głównie R22 [2, 3]. Niestety, ograniczające negatywny wpływ na środowisko następne grupy czynników charakteryzują się coraz gorszymi właściwościami termodynamicznymi, zmniejszając efektywność urządzeń chłodniczych oraz klimatyzacyjnych [9].

Pierwsza część pracy zaprezentuje właściwości nowych, ekologicznych zamienników w stosunku do czynnika wyjściowego z grupy HCFC. Drugi aspekt pracy dotyczy zmian w rozporządzeniu WE 842/2006 [7] i jego wpływu na obecnie eksploatowane instalacje chłodnicze i klimatyzacyjne. Czynniki z grupy HFC (ang. *hydrofluorocarbon*) nie niszczą ozonu w stratosferze, natomiast są gazami cieplarnianymi (popularnie nazywanymi f-gazami). W związku z tym na najbliższe lata jest planowane ograniczanie stosowania niektórych czynników chłodniczych. Jest to o tyle ważne, że pierwsze ograniczenia zostaną wprowadzone już w 2015 r. i dalej w 2020, czyli przy wymianie lub zakupie nowej instalacji chłodniczej lub klimatyzacyjnej należałoby brać pod uwagę ewentualne, późniejsze komplikacje z tym związane.

## 2. Wycofywanie czynników chłodniczych

### 2.1. Wymiana czynników chłodniczych z grupy HCFC

Wymiana czynników chłodniczych cały czas jest oparta na stosownych przepisach UE. Na obecnym etapie są wycofywane czynniki z grupy HCFC mające negatywny wpływ na ozon w stratosferze oraz efekt cieplarniany. Od 1 stycznia 2010 r. nie ma w obrocie nowych czynników z tej grupy. Następny etap dotyczy ograniczenia wpływu czynników chłodniczych z grupy HFC na efekt cieplarniany. Proponowane zmiany będą wchodzić w życie stopniowo w latach 2015, 2020, 2022 i 2025.

Ponad 80% czynników z grupy HCFC w instalacjach stanowi czynnik R22. W związku z tym omówienie właściwości zamienników sprowadza się do porównania ich właściwości w stosunku do R22. Zamienniki początkowo rekla-

mowano jak substancje „drop-in”, czyli wymiana czynnika chłodniczego miałby polegać na odzyskaniu starego czynnika i napełnieniu nowym [2, 4]. Jednak doświadczenia eksploatacyjne ujawniły, że w przypadku nowych zamienników należy odzyskać stary czynnik oraz olej, oczyścić od wewnątrz instalację oraz napełnić nowym olejem i czynnikiem chłodniczym. Dodatkowo należy zamienić uszczelki z elastomerów w elementach instalacji na nowe i przestawić ustawienia automatyki w urządzeniach.

Skład przykładowych zamienników zestawiono w tab.1. Należy zwrócić uwagę, że zamienniki są mieszaninami o właściwościach zeotropowych w stosunku do substancji jednorodnej, jakim jest czynnik R22. Również ważnym elementem jest znaczny wpływ zamienników na efekt cieplarniany. Wskaźnik GWP – potencjał tworzenia efektu cieplarnianego (ang. *Global Warming Potential*) informuje o ilości ciepła zatrzymanego przez określoną masę gazu do ilości ciepła zatrzymanego przez ekwiwalentną masę dwutlenku węgla przez 100 lat. Można zaobserwować znacznie większy wpływ zamienników zeotropowych niż R22 [11]. Osobną grupę stanowią najnowsze czynniki R1234 będące HFO (ang. *hydrofluoroolefine*), dopiero pojawiające się na rynku [1, 12].

Tabela 1. Właściwości zamienników w stosunku do czynnika chłodniczego R22

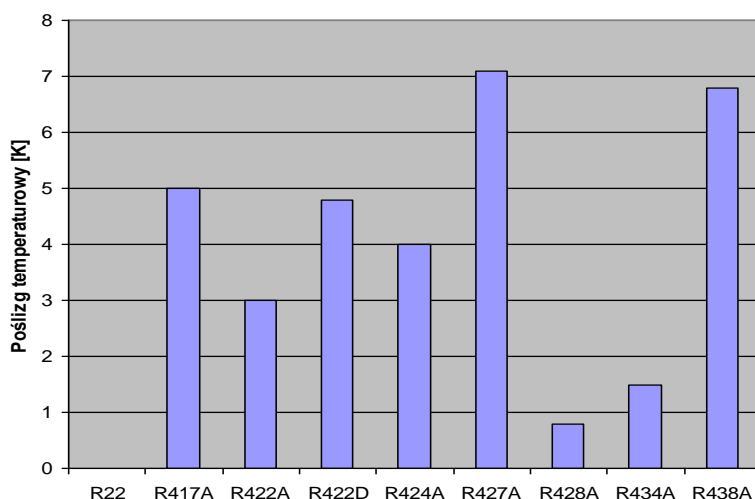
Table 1. Properties of R22 substitutions compared to pure R22 refrigerant

Czynnik chłodniczy	Normalna temperatura wrzenia	Składniki mieszaniny	Udział wagowy składników	GWP <sub>100</sub>
R22	-41	chlorodifluorometan	100	1810
R417A	-39	R125/R134a/600	46,6/50/3,4	2346
R422A	-47	R125/134a/600a	85,1/11,5/3,4	3143
R422D	-43	R125/R134a/R600a	65,1/31,5/3,4	2729
R423A	-24	R134a/227ef	52,5/47,5	2280
R424A	-39	R134a/125/601a/600/600a	47,0/50,5/0,6/1/0,9	2440
R427A	-43	R134a/125/143a/32	50,0/25,0/10,0/15,0	2138
R428A	-47	R125/143a/600a/290	77,5/20,0/1,9/0,6	3607
R434A	-45	R125/134a/143a/600a	63,2/16,0/18,0/2,8	3245
R438A	-42	R32/125/134a/600/601a	8,5/45,0/44,2/1,7/0,6	2265
R1234yf	-29	2,3,3,3-tetrafluoropropan	100	4
R1234ze	-19	trans-1,3,3,3-tetrafluoropropan	100	6

W przypadku mieszanin zeotropowych występuje tzw. „poślizg temperatury”, czyli początek i koniec wrzenia zachodzi przy tym samym ciśnieniu w innych temperaturach. Na rysunku 1. zestawiono wartości poślizgu temperaturowego dla zamienników R22.

Występowanie zróżnicowanej temperatury wrzenia poszczególnych składników w czynniku chłodniczym rzutuje pewnymi ograniczeniami w eksploatacji urządzeń chłodniczych i klimatyzacyjnych. Po pierwsze, wystąpienie niewiel-

kich nieszczelności w urządzeniu zaburza skład czynnika chłodniczego i jego właściwości. Najbardziej lotne składniki pierwsze opuszczają urządzenie. Naprawa urządzenia wiąże się z uszczelnieniem urządzenia i wymianą całego czynnika chłodniczego. W przypadku R22 można było dopełnić brakującą ilość czynnika w instalacji po jej uszczelnieniu. Po drugie, niektóre typy wymienników ciepła nie mogą być stosowane z czynnikami zeotropowymi. Dotyczy to parowników, w których wrzenie odbywa się w dużej objętości (tzw. „zalaných”). Ponadto inaczej są realizowane przemiany fazowe, wrzenie i skraplanie w rurach wymienników, co powoduje inną wymianę ciepła w stosunku do przemian czynnika chłodniczego R22.

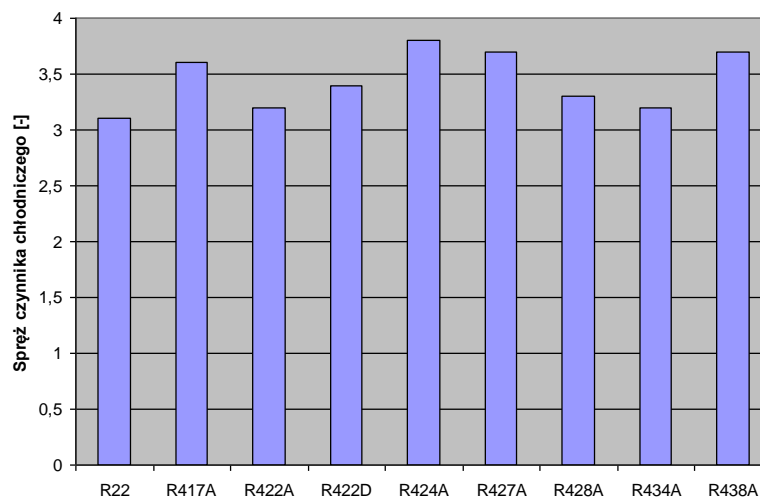


Rys. 1. Poślizg temperaturowy zamienników R22

Fig. 1. Temperature glide of R22 replacements

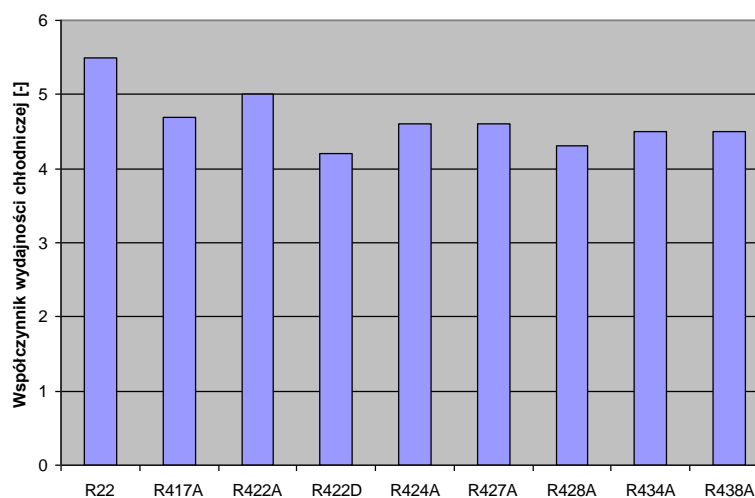
Oprócz wymienionych utrudnień pojawiają się inne, zwykle „gorsze” właściwości zamienników w stosunku do R22. Na rysunku 2. przedstawiono wzrost sprężu realizowanego w urządzeniach klimatyzacyjnych dla temperatury wrzenia  $0^{\circ}\text{C}$  i skraplania  $40^{\circ}\text{C}$ . Zamienniki R22 mają wyższe wartości sprężu. W związku z tym w istniejącym urządzeniu chłodniczym nie zostaną utrzymane temperatury wrzenia i skraplania w stosunku do R22. Jeszcze większe różnice są obserwowane w urządzeniach chłodniczych niskotemperaturowych.

Ponadto występuje obniżenie wartości współczynnika wydajności chłodniczej. W związku z tym rośnie zapotrzebowanie na energię elektryczną do napędu urządzeń chłodniczych i klimatyzacyjnych. Na rysunku 3. zaprezentowano spadek współczynnika wydajności chłodniczej zamienników w stosunku do R22 dla urządzeń klimatyzacyjnych. Jeszcze większe spadki są realizowane w urządzeniach chłodniczych nisko- i średnotemperaturowych.



Rys. 2. Spręż w urządzeniach klimatyzacyjnych zamienników w stosunku do R22

Fig. 2. Pressure ratio in air conditioning R22 replacements

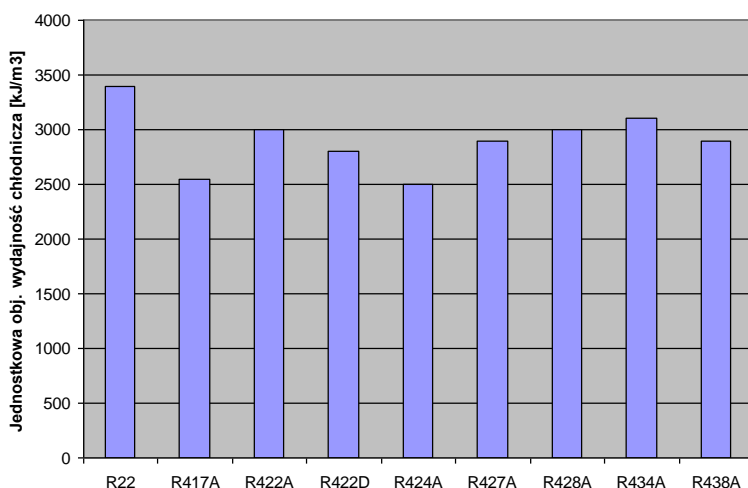


Rys. 3. Współczynnik wydajności chłodniczej w urządzeniach klimatyzacyjnych zamienników w stosunku do R22

Fig. 3. The coefficient of performance in air conditioning with R22 replacements

Następnym niezwykle ważnym elementem jest porównanie jednostkowej objętościowej wydajności chłodniczej [9]. Zamienniki R22 mają znacząco niższe wartości tego parametru. W związku z tym moce chłodnicze urządzeń mogą ulec znacznemu zmniejszeniu lub (co było prezentowane wcześniej) może na-

stać wzrost zapotrzebowania na energię elektryczną. Na rysunku 4. porównano jednostkowe objętościowe wydajności chłodniczych zamienników w stosunku do czynnika R22 w urządzeniach klimatyzacyjnych. Oprócz głównych problemów z zamianą czynników chłodniczych pojawia się jeszcze wiele innych, jednak nie zostaną one omówione w pracy. Zamienniki R22 mają niższe temperatury po opuszczeniu sprężarki w króćcu tłocznym. Powoduje to zmniejszenie opłacalności, a w niektórych przypadkach nawet brak stosowania odzysku ciepła przegrzania w instalacjach głównie chłodniczych. Wyższe ciśnienia skraplania mogą powodować konieczność certyfikacji zbiorników ciekłego czynnika chłodniczego wymaganego przez UDT. Dodatkowo, masowa ilość nowego czynnika chłodniczego w tej samej instalacji jest zazwyczaj większa niż pierwotnego czynnika R22.



Rys. 4. Jednostkowa objętościowa wydajność chłodnicza w urządzeniach klimatyzacyjnych zamienników w stosunku do R22

Fig. 4. Unit volume cooling capacity in air conditioning with R22 replacements

## 2.2. Wycofywanie czynników o wysokim GWP

Następny kierunek zmian jest związany z nowelizacją rozporządzenia WE 842/2006 [7]. Celem nowelizacji jest redukcja emisji f-gazów, mając na uwadze ambitne plany UE w ograniczaniu emisji CO<sub>2</sub> (pakiet klimatyczno-energetyczny 3 x 20). Czynniki chłodnicze z grupy HFC będą podlegać znacznym restrykcjom. Planowane jest stopniowe ograniczenie emisji tych czynników, docelowo o 79% do 2030 r. w stosunku do emisji z lat 2009-2012. Oczywiście ograniczenie emisji wiąże się z ograniczeniem zużycia tych czynników chłodniczych. Miarą zużycia będą tony ekwiwalentu CO<sub>2</sub> (tCO<sub>2</sub>-e), a nie jak do tej pory masy

wprowadzanych czynników chłodniczych. Napełnienia instalacji wyrażone w tCO<sub>2</sub>-e polegają na wymnożeniu masy czynnika chłodniczego w instalacji i wskaźnika GWP. Powoduje to dążenie do stosowania czynników chłodniczych o jak najmniejszym GWP, gdyż pula czynników chłodniczych dla całej UE jest określona. Dodatkowo pojawiają się zakazy wprowadzania urządzeń chłodniczych i klimatyzacyjnych do obrotu w zależności od wskaźnika GWP, co zaprezentowano w tab. 2.

Tabela 2. Terminy, od których będzie zakazane wprowadzanie na rynek urządzeń chłodniczych i klimatyzacyjnych o wysokim GWP

Table 2. Terms which would be prohibited from placing on the market of refrigeration and air conditioning units with a high GWP

Typy urządzeń i instalacji chłodniczych	Data wprowadzenia zakazu
Domowe chłodziarki i zamrażarki zawierające HFC o <b>GWP ≥ 150</b>	1.01.2015
Chłodziarki i zamrażarki do zastosowań komercyjnych (hermetycznie zamknięte urządzenia) o <b>GWP ≥ 2500</b>	1.01.2020
Chłodziarki i zamrażarki do zastosowań komercyjnych (hermetycznie zamknięte urządzenia) o <b>GWP ≥ 150</b>	1.01.2022
Klimatyzatory przenośne o <b>GWP ≥ 150</b>	1.01.2020
Stacjonarne urządzenia chłodnicze, które zawierają HFC o <b>GWP ≥ 2500</b> , z wyjątkiem urządzeń przeznaczonych do zastosowań służących schładzaniu produktów do temperatury poniżej -50°C	1.01.2020
Wieloagregatowe scentralizowane układy chłodnicze do zastosowań komercyjnych o mocy znamionowej 40 kW lub większej, które zawierają fluorowane gazy cieplarniane o <b>GWP ≥ 150</b> , z wyjątkiem obiegów chłodniczych pierwszego stopnia w układach kaskadowych, w których można stosować fluorowane gazy cieplarniane o <b>GWP ≥ 1500</b>	1.01.2022
Zakaz stosowania HFC o <b>GWP ≥ 2500</b> do serwisowania i konserwacji urządzeń o napełnieniu powyżej 40 tCO <sub>2</sub> -e, z wyjątkiem HFC pochodzących z odzysku	1.01.2020
Klimatyzatory typu split o <b>GWP ≥ 750</b>	1.01.2025
Zakaz stosowania HFC o <b>GWP ≥ 2500</b> do serwisowania i konserwacji urządzeń o napełnieniu powyżej 40 tCO <sub>2</sub> -e	1.01.2030

O ile zakazy dotyczące małych urządzeń w obecnej chwili nie nastroczają specjalnych kłopotów, gdyż tego typu urządzenia już wykorzystują węglowodory (głównie izobutan), o tyle zakazy dotyczące urządzeń o większych mocach chłodniczych w 2020 i 2022 r. wydają się mocno problematyczne w realizacji. Najpierw są wycofywane popularne czynniki chłodnicze R404A i R507, a następnie R407C i R410A. Proponowane zamienniki nie mają jeszcze sprawdzonych właściwości i są bardzo drogie. Nowelizacja rozporządzenia WE 842/2006 [7] najprawdopodobniej wejdzie w życie 1 stycznia 2015 r.

### 3. Podsumowanie

W pracy przedstawiono wiele ograniczeń przy wymianie czynników chłodniczych na bardziej ekologiczne. W zakresie prawa obecnie wymagana jest ewidencja, kontrola szczelności oraz odpowiednie oznakowanie urządzeń chłodniczych i klimatyzacyjnych [1]. Czynności serwisowe powinny wykonywać osoby lub firmy posiadające odpowiednie certyfikaty i wyposażenie. Wymiana czynników ze względów technicznych napotyka na wiele utrudnień. Na początku trzeba wybrać konkretny zamiennik, a to jest już utrudnione ze względu na znaczną ich liczbę i szcążkowe dane prezentowane przez producentów nowych czynników chłodniczych. Nowe zamienniki czynników z grupy HCFC zainstalowane w urządzeniach powodują zwiększone zużycie energii elektrycznej, pogorszenie parametrów urządzeń w postaci zmiany temperatury wrzenia i skraplania oraz często obniżają moc chłodniczą urządzenia. Proces zamiany czynnika chłodniczego wymaga należytej staranności wykonania, aby nie doprowadzić do awarii urządzenia. Do tego dochodzą uwarunkowanie ekonomiczne – nowe czynniki są znacznie droższe od wycofywanych czynników chłodniczych. W związku z tym operacje wymiany czynników należy przeprowadzić rozważnie, mając na uwadze najbliższe nowe ograniczenia, które wejdą w życie na początku 2015 r. i następne w 2020. Dodatkowo należy przeprowadzić analizę wpływu zastosowanego czynnika chłodniczego w nowych instalacjach chłodniczych i klimatyzacyjnych. Perspektywiczny wydaje się powrót do naturalnych czynników chłodniczych (amoniak, węglowodory, dwutlenek węgla). Jednak w przypadku urządzeń chłodniczych i klimatyzacyjnych oraz pomp ciepła istnieje potrzeba wprowadzenia nowych norm i standardów podczas produkcji i eksploatacji tego typu urządzeń. Na uwagę zasługują również lawinowo powstające czynniki chłodnicze i mieszaniny zawierające nową grupę związków HFO o bardzo niskich wskaźnikach GWP [5].

### Literatura

- [1] Grzebielec A., Rusowicz A.: Kierunki rozwoju syntetycznych czynników chłodniczych w Europie. *Polska Energetyka Słoneczna*, nr 1-4/2012, s. 45-49.
- [2] Grzebielec A., Godala M., Ruciński A., Rusowicz A.: Przewodnik do wykonywania przez Inspekcję Ochrony Środowiska kontroli przestrzegania przepisów Rozporządzenia (WE) nr 842/2006 w sprawie niektórych fluorowanych gazów cieplarnianych. *Meritum Comp.*, 2010.
- [3] Grzebielec A., Pluta Z., Ruciński A., Rusowicz A.: Czynniki chłodnicze i nośniki energii. *Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej*, Warszawa 2011.
- [4] Grzebielec A., Pluta Z., Ruciński A., Rusowicz A.: Substancje zubażające warstwę ozonową. *Atmoterm*, Warszawa 2008.
- [5] McLindena M.O., Kazakova A.F., Brown J.S., Domanski P.A.: A thermodynamic analysis of refrigerants: Possibilities and tradeoffs for Low-GWP refrigerants. *International Journal of Refrigeration*, no. 38, 2014, pp. 80-92.



- [6] Protokół Montrealski w sprawie substancji zubożających warstwę ozonową (Dz.U.1992.98.490).
- [7] Rozporządzenie (WE) 842/2006 w sprawie niektórych fluorowanych gazów cieplarnianych (F-gazów).
- [8] Rozporządzenie (WE) 2037/2000 w sprawie substancji zubożających warstwę ozonową.
- [9] Targański W.: Zamienniki „serwisowe” czynnika R 22. Technika Chłodnicza i Klimatyzacyjna, nr 1-2, 2010, s. 27-33.
- [10] Ustawa z dnia 20 kwietnia 2004 r. o substancjach zubożających warstwę ozonową (Dz.U.2004.121.1263).
- [11] Yang Z., Wu X.: Retrofits and options for the alternatives to HCFC-22. Energy, no. 59, 2013, pp. 1-21.
- [12] Zilio C., Brown J.S., Schiochet G., Cavallini A.: The refrigerant R1234yf in air-conditioning systems. Energy, no. 36, 2011, pp. 6110-6120.

## LEGAL AND TECHNICAL ASPECTS OF REPLACEMENT REFRIGERANTS IN REFRIGERATION AND AIR CONDITIONING

### Summary

The refrigerants used in air conditioning, refrigeration and heat pump for several decades subject to ever more stringent legal regulations. In the first place, according to the „Montreal Protocol” has been prohibited refrigerants, which were characterized by high ozone-depleting potential. These were mainly substances CFCs. They were replaced by agents working for much lower ozone depletion potential, mainly HCFC substances. Year 2014 is the last year in which the European Union can be serviced with this type of installation. For this reason, almost a decade mainly used HFCs, however, and these factors working in the near future in the EU will be banned. Although there are a niche of the ozone layer, but can be found in the so-called group of f-gases, or fluorinated substances with a high global warming potential. Changing the working fluid in the cooling system is not a simple issue, and in many cases even impossible. This has resulted in many cases, plants have to be built completely from scratch. Article is intended to provide legal and technical aspects replacement refrigerants for new in existing installations. Drew attention to the changes arising in functional parameters refrigeration and air-conditioning. Also shown next regulatory projects that have a significant impact on existing installations, as well as those emerging.

**Keywords:** refrigerants, Global Warming Potential, refrigeration, air conditioning

*Przesłano do redakcji: 28.11.2014 r.*

*Przyjęto do druku: 28.03.2015 r.*

DOI: 10.7862/rb.2015.25

