

W ramach studium badawczego realizowanego w Centralnym Ośrodku Chłodnictwa dla potrzeb własnych, poddano analizie zbiór materiałów źródłowych znajdujących się w dyspozycji Ośrodka Informacji COCH, pod kątem perspektyw i warunków potencjalnych zastosowań węglowodorów w chłodnictwie.

Zbiór ten składa się z około 90 pozycji literaturowych i trzech kilkusetstronicowych opracowań o charakterze monograficznym, odnoszących się do badanej tematyki. Raport szczegółowy z tego studium stanowi dorobek naszego Ośrodka i ze względu na poufny i specyficzny roboczy charakter nie nadaje się do bezpośredniego upowszechnienia. W związku z tym na jego podstawie opracowano niniejszą publikację, która zawiera podstawowe informacje zawarte w raporcie.

Przedstawiony przegląd został dokonany przy uwzględnieniu różnych wzajemnie powiązanych aspektów użytkowania czynników chłodniczych i podzielony na 3 części. Pierwsza z nich zostanie przedstawiona poniżej, dwie kolejne w następnym wydaniu.

Korzystając z dostępnych materiałów (niezależnie od problematyki związanej z węglowodorami), w publikacji omówiono w skrócie tendencje, jakie występują w całym obszarze czynników chłodniczych podlegającym dynamicznym przemianom asortymentowym w czasie, przy równoczesnej ostrej konkurencji między nimi, ze szczególnym uwzględnieniem czynników pochodzenia naturalnego.

W związku z tym w pierwszym rozdziale przedstawiono obecną fazę asortymentowych przemian czynników chłodniczych stosowanych w chłodnictwie, stanowiącą dalszy ciąg okresu

zastępowania czynników grupy HCFC i kierunki dalszych zmian asortymentowych. Z kolei w drugim rozdziale dokonano ogólnego porównania charakterystycznych cech czynników pochodzenia naturalnego, które mają status czynników długoterminowych i konkurują zarówno w pewnym sensie solidarnie z czynnikami syntetycznymi jak i pomiędzy sobą o przestrzeń zastosowań. W ten sposób przedstawiono pełny obszar potencjalnych zastosowań i warunki, do jakich należy dostosować instalacje chłodnicze przy wykorzystaniu węglowodorów i ich specyficznych zalet z równoczesnym zapewnieniem maksymalnego bezpieczeństwa eksploatacji.

Ocena obecnego zaawansowania procesu zastępowania czynników grupy HCFC i kierunki przewidywanych dalszych zmian w zakresie asortymentu czynników chłodniczych w dziedzinie chłodnictwa oraz klimatyzacji i pomp ciepła

Niżej przytoczony materiał opiera się na danych z raportów [41a i b] opracowanych w 2010 i 2014 roku przez branżową komisję działającą w ramach Agencji ONZ UNEP (United Nations Environment Programme). W okresie omawianym w raporcie przez 8 lat opracowano i przebadano 25 nowych czynników, w tym wiele mieszanin, przeznaczonych do serwisowania istniejących a także do napełniania nowych instalacji. Czynniki te były opracowywane pod kątem uzyskania niskich wartości ODP i GWP oraz przy uwzględnieniu, w pewnym zakresie, również substancji palnych.

Brano więc przy tym pod uwagę nienasycone związki wodorofluorowęglowe (HFC) i wodorochlorofluorowęglowe (HCFC oznaczane jako HCFO). Od 2010 roku 21 z tych czynników uzyskało standardowe oznaczenia i klasyfikacje bezpieczeństwa (7 – w klasie palności 2L). a czynniki naturalne – amoniak (717), dwutlenek węgla (R744) i węglowodory (HC) – zachowały konkurencyjną pozycję.

Chłodnictwo domowe

Przestawianie nowej produkcji na czynniki chłodnicze o małym ODP w zasadzie już się dokonało.

W ponad 30% nowych urządzeń stosuje się węglowodory, R600a lub mieszaninę R600a/R290 – w pozostałych – R134a (HFC).

Utrzymuje się dalszy stopniowy wzrost stosowania R600a w miejsce czynnika R134a i szacuje się, że około 2020 r. w 75% nowych chłodziarek będzie stosowany R600a. W przewidywalnej przyszłości nie należy liczyć na rozwój zastosowań HCFC-1234yf w tym sektorze.

Ostatnio obserwuje się wzrost produkcji w UE i Japonii nowego rodzaju urządzeń domowych – suszarek pralniczych z zastosowaniem układu pompy ciepła. Głównym odbiorcą jest rynek UE. Podstawowym czynnikiem roboczym jest R 134a, jako alternatywne są stosowane R407C i R290, rozpatruje się też wykorzystanie R744, R600a oraz związków HFC.

Chłodnictwo handlowe

W chłodnictwie handlowym występują trzy różne rodzaje urządzeń: scentralizowane instalacje w supermarketach, agregaty skraplające ustawiane głównie w małych sklepach i autonomiczne meble chłodnicze ustawiane we wszystkich rodzajach obiektów handlowych.

Meble autonomiczne: W krajach rozwiniętych należy liczyć się ze stopniowym zastępowaniem w meblach czynników R134a i R40A, ze względu na wysokie wartości GWP, czynnikami i mieszaninami HFC o niskim GWP oraz węglowodorami i R744. W Europie i Japonii poszerza się zastosowanie węglowodorów (R600a i R290) i R744 w meblach autonomicznych zamiast R134a, w nieco mniejszym stopniu niż w chłodnictwie domowym, głównie w przypadkach, gdy z przepisów danego kraju lub polityki producenta wynikają zastrzeżenia do zbyt wysokiego wskaźnika GWP.

Agregaty skraplające: W USA i w krajach rozwijających się w istniejących agregatach najbardziej rozpowszechniony jest czynnik R22 (HCFC). W nowych agregatach stosuje się głównie R404A (HFC), ze względu na koszty. Jako bezpośrednie zamienniki dla R404A proponowane są R407A lub R407F. Dla małych agregatów proponowany jest R744. W przypadku wysokotemperaturowych stref klimatycznych i dla urządzeń normalno-temperaturowych NT (zakres temperatury przechowywania 0÷15°C) stosowany jest czynnik R134a, z powodu większej efektywności energetycznej.

Instalacje scentralizowane: W zależności od wielkości marketu wydajność instalacji chłodniczej może sięgać od 20 kW do ponad 1 MW a napełnienie czynnikiem od 40 do 3000 kg. W instalacjach supermarketów 60% udziału ma R22. W Europie w nowych instalacjach stosuje się głównie R404A i R507A (HFC). Równocześnie wprowadza się instalacje na czynniki HCF, o niskim GWP, jak R407A lub R407F.

Obecnie znaczny udział w supermarketach mają dwustopniowe instalacje na R744. W małych i średnich marketach są stosowane instalacje typu „booster” z obiegami normalno- i niskotemperaturowymi (NT+LT) na R744. W dużych marketach preferowane są instalacje kaskadowe z R744 w obiegu niskotemperaturowym (LT) i z R744 lub R134a w obiegu normalnotemperaturowym (NT). Jako alternatywa do obiegów normalnotemperaturowych NT stosowane są również R717 i węglowodory. Podobny dobór czynników występuje odpowiednio w scentralizowanych instalacjach dwu-temperaturowych (LT + NT), o obiegach pośrednich, rozdzielnych dwustopniowych, kaskadowych.

Chłodnictwo przemysłowe

Najbardziej rozpowszechnione w praktyce są instalacje z czynnikami chłodniczymi R717 i R22. W nowych instalacjach występują obok R717 również instalacje kaskadowe: R744/R717 oraz R744/HC (węglowodór). W mniejszych instalacjach spotykane są także czynniki HFC. R717 pozostaje nadal podstawowym czynnikiem w dużych instalacjach przemysłowych, przeznaczonych głównie do technologii żywności i napojów oraz do ich przechowywania.

Przewidywany jest w najbliższej przyszłości rozwój nowych konstrukcji wyposażenia chłodniczego, mających na celu efektywniejsze wykorzystanie właściwości termodynamicznych czynników R717 i R744. Natomiast wprowadzenie do dużych instalacji przemysłowych nowych czynników z grupy nienasyconych związków HFC jest mało prawdopodobne, ze względu na duże koszty prac badawczych oraz przewidywaną wysoką cenę tych czynników.

Chłodnictwo transportowe

W transporcie stosowane są czynniki R22, R404A i R134a, przy czym w nowych urządzeniach – wyłącznie dwa ostatnie. W ograniczonym zakresie – na statkach morskich – wykorzystuje się

R717 i R744.

Na etapie prób są kontenery morskie z instalacjami na R717 i R744, naczepy na R744 oraz furgony chłodnicze na R290.

W ciągu 10-15 lat spodziewane jest wycofanie czynników HCFC z kontenerów, pojazdów szynowych i drogowych, natomiast w okresie do 25 lat – ze statków morskich.

Czynniki te zostaną zastąpione głównie przez związki HFC, które prawdopodobnie będą dominować również na statkach pasażerskich oraz małych statkach wszystkich kategorii.

Klimatyzatory i pompy ciepła, □ typu powietrze/powietrze

W 2008 r. w 85% zainstalowanych klimatyzatorów chłodzonych powietrzem stosowano jako czynnik chłodniczy R22.

W nowych klimatyzatorach tego typu dominują mieszaniny HFC, przede wszystkim R410A i częściowo R407C, jako zamienniki R22 oraz R134a, R290 i R32.

W niektórych krajach R290 jest używany jako zamiennik R22 w instalacjach dzielonych (split), o małym napełnieniu, w klimatyzatorach okiennych i przenośnych.

W krajach rozwijających się, w klimatyzacji nadal najczęściej stosowane jest R22.

Dla klimatyzatorów i pomp ciepła jako najbardziej prawdopodobne zamienniki długoterminowe przewiduje się czynniki HFC (R32 lub związki nienasycone, takie jak R1234yf) i mieszaniny HFC, a w większości zastosowań klimatyzacyjnych i przy mniejszym napełnieniu – węglowodór R290.

Pompy ciepła do c.w.u.

Na rynku pomp ciepła typu A/W w okresie ostatnich 5 lat zaobserwowano duży wzrost zastosowań (dotacje rządowe) w Japonii, Australii, Chinach i Europie oraz wcześniej w USA.

Obecnie w Europie i w innych krajach do tego przeznaczenia używane są czynniki R410A i R407C oraz R134a, R290, R600a, a w krajach rozwijających się – głównie R22. W większości nowych pomp ciepła ma zastosowanie R410A. Jest on najbardziej efektywny w małych i średnich wielkościach maszyn, natomiast w dużych – R134a.

Pompy ciepła z czynnikiem R744 zostały wprowadzone na rynek w Japonii w 2001 r. i obecnie obserwuje się stały wzrost ich zastosowań, przy znaczącym dotowaniu.

R290 był używany w Europie, lecz po wprowadzeniu Dyrektywy PED (Pressure Equipment Directive) jego zastosowanie spadło. Do pomp ciepła o dużej wydajności stosowany jest głównie R717.

Jako czynniki przyszłościowe dla pomp ciepła do c.w.u. brane są pod uwagę takie czynniki jak R32 lub mieszaniny nienasyconych związków HFC, przy uwzględnieniu ich efektywności, kosztów wytwarzania oraz konieczności przestrzegania przepisów bezpieczeństwa dostosowanych do ich ograniczonej palności. Przewiduje się również nadal stosowanie dotychczasowych czynników : R410A, R134a, R290, R600a, R744 i R717.

Ziębiarki cieczy (chillery)

W nowych wyrobach czynnik R22 został w krajach rozwiniętych wyeliminowany, natomiast nadal jest stosowany w krajach rozwijających się.

W przypadku ziębiarek ze skraplaczami chłodzonymi powietrzem, o wydajności poniżej 2 MW, ze sprężarkami waporowymi, które aktualnie stanowią około 80% produkcji rocznej ziębiarek cieczy, stosuje się czynniki R134a i R410A oraz przejściowo R407C. W małych ilościach produkowane są również ziębiarki na R717, dostępne są także ziębiarki na R744.

W ziębiarkach ze skraplaczami chłodzonymi wodą, ze sprężarkami wyporowymi, stosuje się najczęściej te same czynniki co w ziębiarkach chłodzonych powietrzem. W ziębiarkach ze sprężarkami odśrodkowymi, na ogół o wydajności powyżej 2 MW, stosuje się przejściowo czynnik HCFC – R123 (do 2020/2030 r.) i R134a.

Jako czynniki alternatywne do stosowanych w ziębiarkach czynników o wysokich wartościach ODP lub GWP zalecane są: R7177, R744,, R32, R1234yf oraz R718.

Jako przyszłościowe czynniki chłodnicze, o niskich wartościach ODP lub GWP, proponowane są do ziębiarek cieczy: nienasycone związki HFC lub mieszaniny zawierające związki HFC, HC i/lub nienasycone związki HFC. Niektóre z nich mają klasę palności 2L, czyli znacznie niższą niż np. R290. Badania nad ich dopuszczeniem do stosowania nie zostały jeszcze zakończone.

Klimatyzatory samochodowe

Obecnie wszystkie nowe klimatyzowane samochody osobowe są wyposażane w instalacje klimatyzacyjne z czynnikiem R134a.

Z uzyskanych informacji wynika, że dotychczas przeprowadzono badania R744, R152a i R1234yf, jako czynników alternatywnych. Wszystkie mają GWP poniżej wartości granicznej 150 (kryterium UE) i uzyskują efektywność porównywalną z R134a.

Rozważane były również zastosowania węglowodorów lub ich mieszanin. Wersja ta nie uzyskała jak dotychczas ogólnego poparcia ze strony producentów pojazdów ze względów bezpieczeństwa. Nie mniej jednak niektórzy producenci samochodów planują w najbliższych latach podjęcie próbnej produkcji klimatyzatorów na R1234yf (Japonia) i R744 (Niemcy).

W USA i w Australii węglowodory były wykorzystywane jako zamienniki przy serwisowaniu klimatyzatorów napełnionych czynnikiem R12. Wybór czynnika przyszłościowego zależy głównie od producentów samochodów. Przyszłościowym czynnikiem wydaje się być R1234yf. Klimatyzatory przygotowywane do tego czynnika są tak rozwiązane, by mogły działać również na czynniku R134a.

Obecnie w 50% użytkowanych autobusów i tramwajów stosowane są klimatyzatory na R22, w pozostałych stosowane są czynniki R134a i R407C.

Natomiast większość nowych autobusów i tramwajów jest wyposażana w klimatyzatory na R134a lub R407C. Prowadzone są również badania na R744.

Podsumowanie ogólnych tendencji rozwoju asortymentu czynników

Jako podstawowe zamienniki obecnie stosowanych czynników w chłodnictwie i pompach ciepła brane są pod uwagę czynniki o niskim GWP obejmujące grupę czynników HFC (R32, R152a, R161, R1234yf i inne nienasycone związki chlorowco-pochodne i ich mieszaniny) R290, R717 i R744.

R717 jest toksyczny, R290 i niektóre z czynników HFC są palne, co zmusza producentów do rozwijania konstrukcji urządzeń w kierunku zmniejszenia ogólnej pojemności instalacji i tym samym masy jej napełnienia oraz dostosowania ich do wymagań właściwych norm bezpieczeństwa, które ustalają relacje pomiędzy maksymalnymi poziomami napełnienia instalacji a zakresem niezbędnych zabezpieczeń zapewniających bezpieczną eksploatację.

Przewidywane tendencje rozwoju zastosowań wybranych naturalnych czynników chłodniczych

(...)

Emisja jako parametr oceny czynnika

(...)

Ogólny przegląd i porównanie czynników stosowanych w chłodnictwie w ostatnim okresie

(...)

Ogólna charakterystyka i porównanie substancji naturalnych jako potencjalnych zamienników dla stosowanych czynników chlorowcopochodnych

(...)

Amoniak (R717)

(...)

Dwutlenek węgla (R744)

(...)

Węglowodory

(...)

Porównanie zastosowań wybranych czynników chłodniczych

Tabela 6. Porównanie właściwości i zastosowań wybranych czynników chłodniczych (wg [40])

Czynnik	Właściwości	Zalety	Wady	Zastosowanie w chłodnictwie handlowym
Amoniak	<ul style="list-style-type: none"> Temperatura normalna parowania: -33°C ¹⁾ Temperatura krytyczna: 133°C Granica palności: 15÷28% w powietrzu Zgodność materiałowa Zagrożenie korozją stopów miedzi 	<ul style="list-style-type: none"> Niski ODP – niski GWP Dobre własności termiczne Dobra efektywność Charakterystyczny zapach i bardzo istotna gwarancja bezpieczeństwa Niska cena Koszt instalacji chłodniczej 10÷20% niższy Mała ilość czynnika w instalacji 	<ul style="list-style-type: none"> Toksyczny – nie dozwolone nieszczelności Palny Ograniczona wielkość napełnienia instalacji (150 g) 	<ul style="list-style-type: none"> Instalacje scentralizowane o zdalnym pośrednim oziębianiu mebli chłodniczych Urządzenia autonomiczne – nie stosuje się Automaty chłodnicze – nie stosuje się
CO ₂	<ul style="list-style-type: none"> Temperatura normalna parowania: -78°C ¹⁾ Temperatura krytyczna: 31°C Dolna granica palności: niepalny Zgodność materiałowa: zagrożenie korozją stali w obecności wilgoci 	<ul style="list-style-type: none"> Niski ODP – niski GWP Bardzo niska cena w porównaniu z tradycyjnymi czynnikami Wysoka efektywność Nie toksyczny /nie agresywny Niewielkie gabaryty sprężarki Małe średnice rur 	<ul style="list-style-type: none"> Niższa efektywność niż dla czynników z grupy HFC przy wysokiej temperaturze otoczenia Wysokie ciśnienie w instalacji Wysokie koszty ogólne ze względu na niewielką produkcję masową sprężarek na CO₂ 	<ul style="list-style-type: none"> Instalacje scentralizowane o zdalnym pośrednim oziębianiu mebli chłodniczych w kilku supermarketach – dobra alternatywa dla czynników HFC Urządzenia autonomiczne – już stosowane w małych ilościach Automaty chłodnicze – już stosowane w niewielkich ilościach
Węglowodory	<ul style="list-style-type: none"> Zgodność materiałowa: nie powodują korozji <p><i>Propan</i></p> <ul style="list-style-type: none"> Temperatura normalna parowania: -42°C ¹⁾ Temperatura krytyczna: 97°C Dolna granica palności: 2,1÷9,5% w powietrzu <p><i>Izobutan</i></p> <ul style="list-style-type: none"> Temperatura normalna parowania: -12°C ¹⁾ Temperatura krytyczna: 135°C Dolna granica palności: 1,6÷8,4% w powietrzu 	<ul style="list-style-type: none"> Niski ODP – niski GWP Konstrukcja parowaczy podobna jak dla czynników chlorowcopo pochodnych Dobre właściwości termiczne Dobra efektywność Niska cena Mniej głośne dzięki obniżeniu ciśnienia w sprężarce 	<ul style="list-style-type: none"> Palny Ograniczona wielkość napełnienia instalacji autonomicznych (150 g) Wysoki koszt instalacji scentralizowanych z uwagi na urządzenia zabezpieczające 	<ul style="list-style-type: none"> Instalacje scentralizowane o zdalnym pośrednim oziębianiu mebli chłodniczych Urządzenia autonomiczne – już stosowane Automaty chłodnicze – planowane wprowadzenie

¹⁾ przy ciśnieniu atmosferycznym

Właściwości fizyczne i chemiczne wybranych czynników chłodniczych (wg [40])