

Wpływ właściwości czynnika roboczego na eksploatację wybranych systemów chłodniczych

The influence of the working fluid properties on the operation of selected refrigeration systems

DOI: 10.15199/8.2021.3.1

inż. Dawid Lubocki, dr inż. Blanka Jakubowska
Politechnika Gdańska, Wydział Inżynierii Mechanicznej
i Okrętownictwa, Instytut Energii

W artykule przedstawiono wpływ wyboru czynnika roboczego na eksploatację teoretycznego systemu chłodniczego. Niniejszą analizę przeprowadzono dla trzech układów chłodniczych, które na potrzeby prowadzonej analizy sklasyfikowano jako: grupa domowa, grupa przemysłowa i grupa specjalna. Przyjętymi urządzeniami są: w grupie domowej – klimatyzator typu powietrze-powietrze, w grupie przemysłowej – chłodziarka statku do transportu żywności w głębokim zamrożeniu, a w grupie specjalnej – chłodziarka z dwustopniowym sprężaniem. W celu określenia wpływu właściwości czynnika roboczego na wydajność chłodniczą poszczególnych, przyjętych do analizy układów, wybrano łącznie dziesięć czynników, takich jak: R32, R410A, R600a, R1234yf, R404A, R455A, R507A, R290, R744 oraz R717.

Słowa kluczowe: wydajność chłodnicza, czynnik roboczy, czynnik naturalny, czynnik syntetyczny, system chłodniczy

In the paper has been presented the influence of the working fluid properties on the operation of selected and theoretical refrigeration systems. This analysis has been carried out for three refrigeration systems, which for the purposes of the analysis have been classified as: domestic group, industrial group and special group. The devices used are: in the domestic group – an air conditioner, in the industrial group – a freezer for deep-frozen food transport, and in the special group – a refrigerator with two-stage compression.

In order to determine the influence of the properties of the refrigerants on the energy efficiency of the individual systems used for the analysis, ten refrigerants have been selected, such as: R32, R410A, R600a, R1234yf, R404A, R455A, R507A, R290, R744 and R717.

Keywords: energy efficiency, working fluid, natural refrigerant, synthetic refrigerant, refrigeration system

SPIS OZNACZEŃ:

c_p – ciepło właściwe [kJ/(kgK)]
 h – entalpia właściwa [kJ/kg]
 l_t – jednostkowa praca techniczna [kJ/kg]
 \dot{m} – strumień masy [kg/s]
 p – ciśnienie [kPa]
 q – jednostkowe ciepło dostarczone [kJ/kg]
 \dot{Q}_o – moc chłodnicza [W]
 s – entropia właściwa [kJ/(kgK)]
 t – temperatura [°C]
 e – wydajność chłodnicza [-]
 r – gęstość [kg/m³]

indeksy dolne:
 d – dochłodzenie
 g – faza parowa
 k – skraplanie
 l – faza ciekła
 o – parowanie

WSTĘP

Wraz z postępowaniem cywilizacji wzrasta zapotrzebowanie na chłód. Spowodowane jest to nie tylko zwiększającym się zapotrzebowaniem na transport oraz magazynowaniem dóbr, które wymagają ustalonych przedziałów temperaturowych, lecz także społeczną potrzebą utrzymywania odpowiedniego komfortu termicznego nie tylko zimą, ale także w okresie letnim. Wraz z zwiększającym się zużyciem energii oraz czynników roboczych na potrzeby chłodnicze, należy poszukiwać coraz lepszych rozwiązań technicznych w danych sektorach. Warto podkreślić, że jednym z istotnych elementów układu chłodniczego jest zastosowany czynnik roboczy. Na rynku dostępnych jest wiele czynników, które przeznaczone są do różnych zastosowań [1 – 3, 13].

Czynnikiem chłodniczym, inaczej zwanym ziębniczym, nazywamy substancję, która pracując przy niskich temperaturach i niskich ciśnieniach, pobiera ciepło od najbliższego otoczenia i w ten sposób powoduje obniżenie jego temperatury. Teoretycznie każda ciecz mogłaby być wykorzystywana jako czynnik chłodniczy. W praktyce jednak występuje wiele warunków, jakie muszą być spełnione, aby dany płyn mógł znaleźć zastosowanie w parowym urządzeniu chłodniczym, w którym poddawany jest kolejno następującym po sobie przemianom termodynamicznym tworzącym obieg lewobieżny [4]. Warto nadmienić, że definicja czynnika chłodniczego nie jest identyczna we wszystkich źródłach literaturowych. Różnice w definicji biorą się m.in. ze względu na koncentrowanie się na czynniku bądź na jego zastosowaniu. W związku z tym, w publikacjach skupiających się na wykorzystaniu czynników można znaleźć następującą definicję: „Czynnikiem chłodniczym nazywany jest czynnik termodynamiczny, który pośredniczy w przekazaniu ciepła z dolnego źródła (ośrodka chłodzonego) do źródła górnego (najczęściej otoczenia). W przypadku pompy

ciepła czynnik termodynamiczny, który krąży w jej obiegu, nazywany jest niekiedy czynnikiem roboczym” [16].

Przez wiele lat powszechnie stosowane były czynniki chłodnicze należące do grupy chlorofluorowęglowodorów (CFC) i wodorochlorofluorowęglowodorów (HCFC). Jednak w wyniku prowadzonych badań wykazano, że czynniki należące do tych grup nie są obojętne dla środowiska. W 1974 roku dwaj amerykańscy naukowcy F. Sherwood „Sherr” Rowland i Mario Molina stwierdzili, że związki chlorofluorowęglowodorowe gromadzą się w stratosferze, powodując degradację ozonu stratosferycznego [6]. Efektem odkrycia zjawiska zubożania warstwy ozonowej przez ówczynie stosowane czynniki chłodnicze było podpisanie Protokołu Montrealskiego [19]. Protokół ten został podpisany 16 września 1987 roku, a głównymi założeniami protokołu jest całkowite zaprzestanie produkcji i użycia substancji niszczących warstwę ozonową. Dodatkowo, obecność niektórych czynników chłodniczych w atmosferze jest przyczyną jeszcze innych niekorzystnych zjawisk, a mianowicie tzw. efektu cieplarnianego. Zgodnie z rozporządzeniem UE 517/2014 odnośnie F-gazów, które mają bardzo wysoki potencjał tworzenia efektu cieplarnianego (*GWP*), zostają wprowadzone ograniczenia w użytkowaniu nowych urządzeń oraz serwisowaniu już istniejących. Czynniki z grupy hydrofluorowęglowodorów (HFC) o *GWP* równym bądź większym 2500 są objęte zakazem użytkowania w instalacjach przemysłowych stacjonarnych, a serwisowanie urządzeń już istniejących objęte jest obojętnościami. Do serwisowania urządzeń o wielkości napełnienia czynnikiem chłodniczym równej 40 t ekwiwalentu CO₂ bądź więcej użyty może być tylko zregenerowany czynnik. Natomiast w przypadku urządzeń znajdujących się w gospodarstwach domowych, jak również w przypadku klimatyzacji samochodowych, maksymalny dopuszczalny wskaźnik *GWP* wyniesie 150 [15]. Warto również dodać, że na rynku chłodniczym pojawiła się nowa rodzina syntetycznych czynników o niskim potencjale tworzenia efektu cieplarnianego. Do grupy czynników HFO należą np. R1234yf oraz R1234ze i upatrywane są one jako perspektywiczne zamienniki powszechnie znanego R134a [4]. Ponadto, nowo wprowadzane do użytku czynniki z grupy HFO mają być nie tylko przyjazne środowisku, ale również zapewniać wysoką efektywność energetyczną układu.

Do prawidłowej oceny efektywności instalacji wymaga się zastosowania odpowiedniej metodologii. Dlatego już w fazie projektowania instalacji przeprowadzane są symulacje ich pracy, uwzględniające różne warianty budowy urządzenia oraz wykorzystanie wybranych rodzajów czynników roboczych. Takie działanie ma na celu m.in. ograniczenie długoterminowego wpływu pracy instalacji na środowisko.

INSTALACJE CHŁODNICZE PRZYJĘTE DO ANALIZY

Przyjęte w celu przeprowadzenia niniejszej analizy systemy chłodnicze zostały podzielone na trzy grupy. Do grupy pierwszej, tzw. domowej, zaliczane są układy jednostopniowe o niewielkiej wydajności chłodniczej, tj. poniżej 20 kW. Do tej grupy można zaliczyć m.in. sprzęty AGD, takie jak lodówki oraz klimatyzatory domowe. Drugą grupą są chłodziarki przemysłowe, będące urządzeniami jednostopniowymi o dużej wydajności chłodniczej, tj. powyżej 20 kW. Są to urządzenia służące

do zapewnienia chłodu w dużych budynkach bądź chłodnie statkowe mające za zadanie utrzymać schłodzone produkty w stałej temperaturze. Ostatnią analizowaną grupą są urządzenia tzw. specjalne, służące do uzyskiwania niskich temperatur. Tego typu urządzenia wykorzystywane są w farmaceutyce, przemyśle chemicznym oraz laboratoriach. W ostatniej z omawianych grup urządzenia są o wiele bardziej skomplikowane ze względu na trudne do uzyskania, niskie temperatury końcowe [5, 7].

Urządzenia chłodnicze wykorzystywane w gospodarstwach domowych należą do urządzeń tanich w produkcji, bezobsługowych oraz masowo produkowanych. Jednak tego typu urządzenia mogą cechować się brakiem odpowiedniej szczelności oraz możliwością uszkodzeń mechanicznych w transporcie bądź użytkowaniu. Z tego powodu są to urządzenia o nieskomplikowanej budowie, pracujące na łatwo dostępnych czynnikach. W celu przeprowadzenia analizy systemu chłodniczego przynależącego do grupy domowej wybrano klimatyzator typu powietrze-powietrze.

Urządzenia stosowane w przemyśle cechują się znacznie większymi wymiarami niż urządzenia domowe. W związku z tym często znajdują się w osobnych pomieszczeniach bądź też lokalizowane są na dachach. Instalacje te wymagają przeglądów okresowych oraz badań szczelności. Do analizy w grupie urządzeń przemysłowych przyjęto chłodnie statku do transportu żywności w głębokim zmrożeniu.

W urządzeniach do zadań specjalnych najważniejszym aspektem są uzyskane warunki końcowe, a nie opłacalność czy koszty produkcji. Dodatkowo, takie urządzenia często tworzone są na zamówienie do spełnienia konkretnego zadania, co jeszcze zwiększa ich cenę. Do analizy przyjęto chłodziarkę z dwustopniowym sprężaniem służącą do otrzymywania bardzo niskich temperatur.

Tabela 1. Założenia przyjęte do analizy

Wielkość	Grupa domowa	Grupa przemysłowa	Grupa specjalna
Moc chłodnicza Q_o [kW]	4	35	2
Temperatura skraplania t_s [°C]	40	20	2
Temperatura parowania t_o [°C]	6	-25	-50
Dochłodzenie czynnika T_d [K]	0	5	0
Czynniki robocze	R32 R410A R600a R1234yf	R404A R455A R507A R290	R507A R744 R717 R290

Podstawowe wielkości oraz czynniki przyjęte w celu przeprowadzenia analizy dla poszczególnych grup systemów chłodniczych zostały przedstawione w tab. 1. Natomiast, wybrane właściwości fizyko-cieplne przyjętych do niniejszej analizy czynników zostały zaprezentowane w tab. 2.

Jak łatwo zauważyć na podstawie tab. 1, czynnikami przyjętymi do analizy w grupie domowej są m.in. syntetyczna, jednorodna mieszanina R32 oraz syntetyczna, zeotropowa mieszanina R410A. Oba czynniki są czynnikami aktualnie spotykanymi w domowych układach klimatyzacyjnych. Ponadto, R32 coraz powszechniej stosowany jest np. w klimatyzacjach samochodowych, zastępując R410A. Jednak należy on do czynników z grupy HFC, a jego potencjał tworzenia efektu cieplarnianego

Tabela 2. Wybrane właściwości przyjętych do analizy czynników dla temperatur parowania i skraplania [12]

czynnik	t	p	ρ_l	ρ_g	h_l	h_g	s_l	s_g	c_{pl}	c_{pg}
	°C	kPa	kg/m ³	kg/m ³	kJ/kg	kJ/kg	kJ/(kgK)	kJ/(kgK)	kJ/(kgK)	kJ/(kgK)
R32	6	981,13	1034,2	26,714	20,58	516,24	1,0377	2,1327	1,7795	1,314
	40	2478,3	893,04	73,268	275,61	512,71	1,2520	2,0091	2,1629	2,0012
R410A	6	965,29	1145,4	36,347	209,21	427,84	1,0328	1,8140	1,5530	1,2029
	40	2425,6	975,33	101,71	266,33	428,88	1,2210	1,7384	1,9389	1,8569
R600a	6	193,16	573,63	5,1749	213,82	562,40	1,0498	2,2985	2,3155	1,6584
	40	531,21	531,19	13,666	296,28	607,80	1,3263	2,3211	2,5349	1,9210
R1234yf	6	385,23	1157,2	21,413	44,393	203,74	0,16900	0,73983	1,3118	0,95293
	40	1018,4	1033,8	57,753	91,478	223,75	0,32606	0,74843	1,4732	1,1670
R404A	-25	253,73	1238,6	13,163	166,41	351,17	0,87225	1,6129	1,3008	0,86889
	20	1097,2	1067,3	57,330	228,75	373,46	1,1000	1,5912	1,5020	1,1650
R455A	-25	383,66	1188,7	13,027	54,144	355,10	0,32778	1,7069	1,3330	0,91564
	20	1386,6	1027,2	51,434	118,39	343,40	0,56191	1,4527	1,5463	1,2158
R507A	-50	86,376	1326,9	4,8097	135,03	333,98	0,73950	1,6311	1,2353	0,76561
	-25	259,92	1246,5	13,701	166,62	348,26	0,87307	1,6053	1,2921	0,86359
	2	664,73	1148,5	34,532	202,77	362,37	1,0100	1,5904	1,3899	1,0095
	20	1121,8	1071,7	59,751	228,61	370,13	1,0995	1,5826	1,4972	1,1615
R290	-50	70,569	589,90	1,7270	82,753	516,48	0,52975	2,4734	2,2115	1,3971
	-25	203,43	560,60	4,6302	139,60	546,28	0,77012	2,4090	2,3323	1,5460
	2	504,10	525,88	10,975	205,02	577,06	1,0181	2,3703	2,5083	1,7569
	20	836,46	500,06	18,082	251,64	595,95	1,1799	2,3544	2,6662	1,9492
R744	-50	682,34	1154,6	17,925	92,943	432,68	0,57939	2,1018	1,9712	0,95194
	2	3673,3	915,23	104,07	204,93	429,65	1,0172	1,8340	2,6086	1,9649
R717	-50	40,836	702,09	0,38055	118,43	1534,3	0,56609	6,9112	4,3599	2,1778
	2	462,46	635,82	3,7090	352,42	1607,5	1,5052	6,0667	4,6278	2,7102

wynosi 675 [8]. Dodatkowo, czynnikami, które zostały przyjęte w celu przeprowadzenia analizy systemu chłodniczego, przynależącego do grupy domowej, są dwa czynniki o niskim wskaźniku GWP, tj. naturalny czynnik R600a (izobutan) oraz syntetyczny czynnik R1234yf. W przypadku układu chłodniczego sklasyfikowanego jako grupa przemysłowa, do analizy przyjęto m.in. R404A, jako czynnik dobrze znany i przez wiele lat powszechnie stosowany, ale ze względów środowiskowych wycofywany z użycia. Ponadto, w tej grupie do niniejszej analizy przyjęto nowy czynnik R455A, który został stworzony z myślą o zastąpieniu R404A [17] oraz czynniki, takie jak R507A i R290 (propan). Natomiast, czynnikami wybranymi do analizy w grupie specjalnej są nieorganiczne czynniki R744 (CO₂) i R717 (NH₃), organiczny czynnik R290 oraz hydrofluorowęglowodory R507A. Warto również dodać, że zastosowanie amoniaku w układach może znacząco wpłynąć na proces intensyfikacji wymiany ciepła. Jednak należy pamiętać, że amoniak, pomimo swoich szczególnie korzystnych właściwości termodynamicznych oraz fizyko-cieplnych, znajduje zastosowanie głównie w instalacjach chłodniczych dużych zakładów przemysłowych, a nie w komercyjnych urządzeniach, m.in. ze względu na problemy związane z kompatybilnością materiałową oraz jego toksyczność i wybuchowość [8, 9]. W związku z tym czynnik

R717 został wzięty pod uwagę w niniejszej analizie w grupie specjalnej. Również w grupie specjalnej systemów chłodniczych do rozważań przyjęto dwutlenek węgla. Jest on obecnie postrzegany jako perspektywiczny czynnik do szerokich zastosowań technicznych. W porównaniu z wielu obecnie stosowanymi czynnikami jest niepalny, niewybuchowy, a także obojętny względem metali i większości tworzyw sztucznych [11, 12].

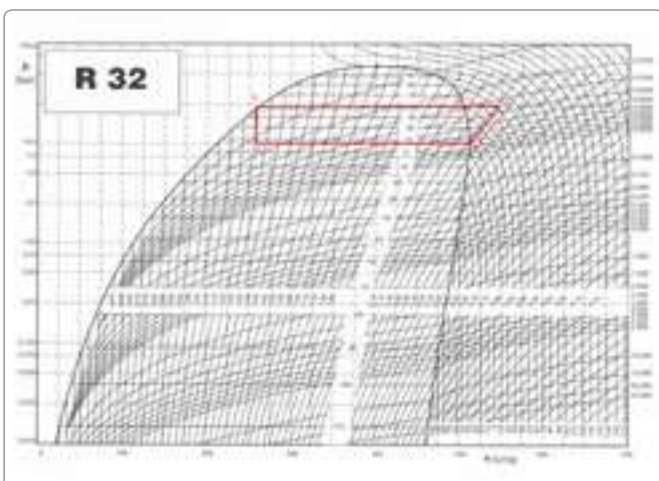
MODEL OBLICZENIOWY

W celu przeprowadzenia analizy wpływu właściwości czynników chłodniczych na eksploatację systemów chłodniczych, konieczne jest wyznaczenie współczynnika wydajności chłodniczej, opisanego zależnością (1) [14].

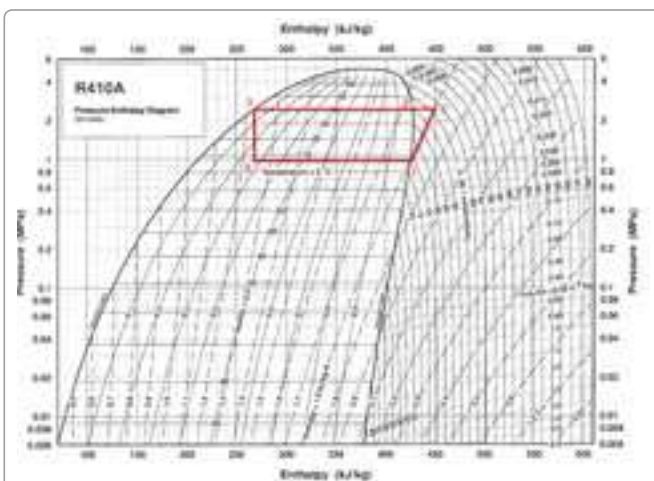
$$\varepsilon = \frac{q}{l_t} \quad (1)$$

gdzie: q – jednostkowe ciepło dostarczone do czynnika,
 l_t – jednostkowa praca techniczna sprężarki.

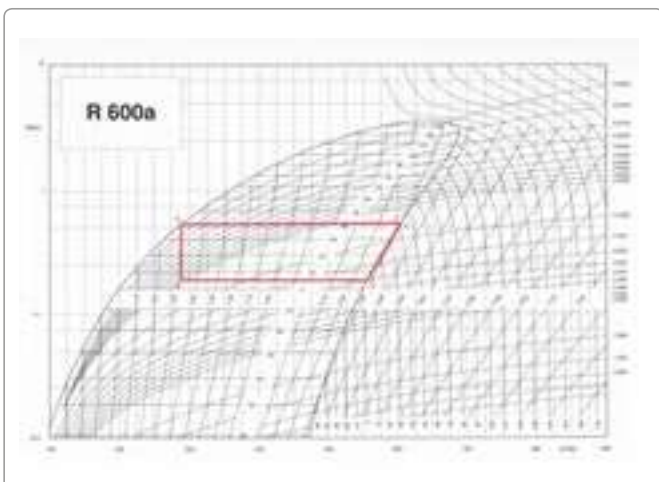
Przy czym, określenie zarówno jednostkowego ciepła dostarczonego do czynnika, jak również jednostkowej pracy technicznej, w każdym z analizowanych układów, wymagało określenia wartości entalpii właściwych w poszczególnych punktach węzłowych.



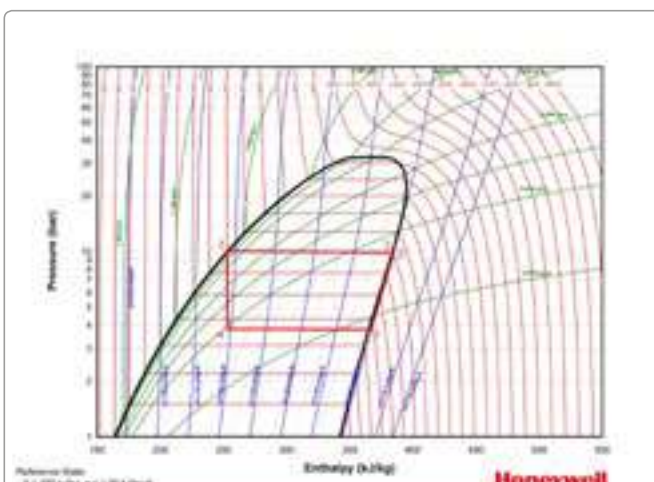
Rys. 1. Przemiany w układzie $p-h$ realizowane w układzie chłodniczym należącym do grupy domowej z zastosowaniem R32 jako czynnika roboczego [18]



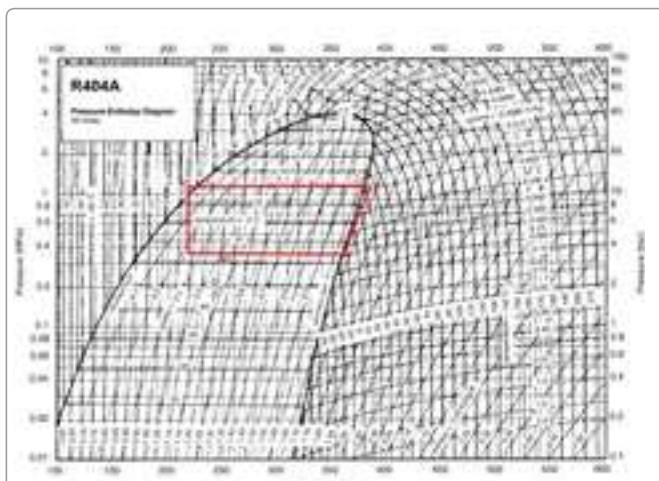
Rys. 2. Przemiany w układzie $p-h$ realizowane w układzie chłodniczym należącym do grupy domowej z zastosowaniem R410A jako czynnika roboczego [18]



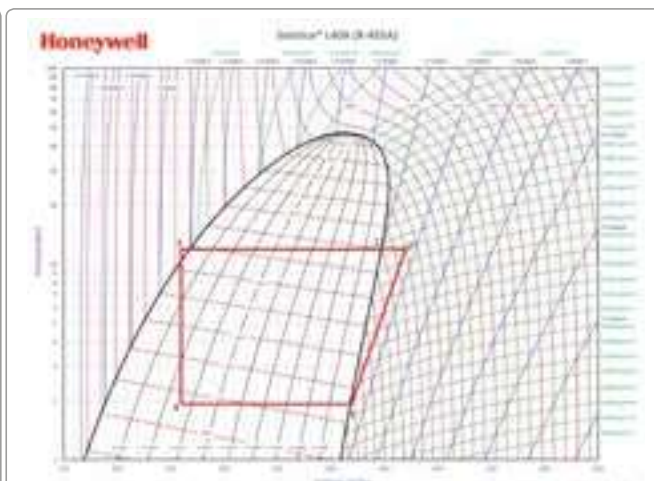
Rys. 3. Przemiany w układzie $p-h$ realizowane w układzie chłodniczym należącym do grupy domowej z zastosowaniem R600a jako czynnika roboczego [18]



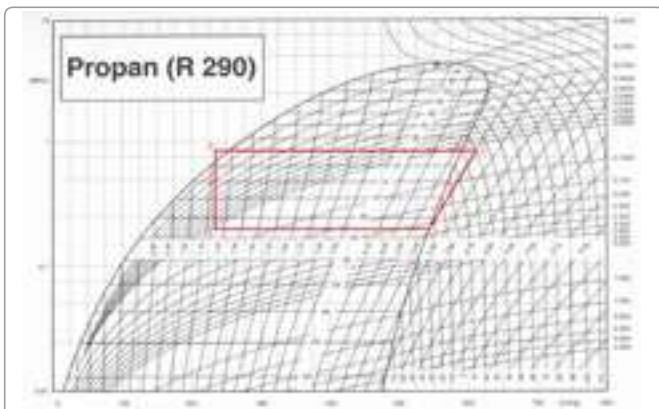
Rys. 4. Przemiany w układzie $p-h$ realizowane w układzie chłodniczym należącym do grupy domowej z zastosowaniem R1234yf jako czynnika roboczego [18]



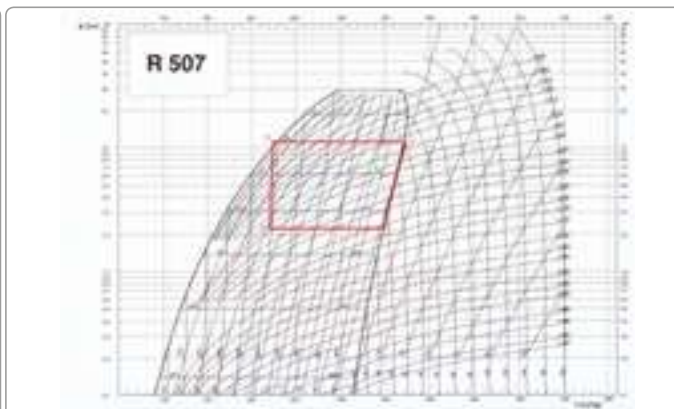
Rys. 5. Przemiany w układzie $p-h$ realizowane w układzie chłodniczym należącym do grupy przemysłowej z zastosowaniem R404A jako czynnika roboczego [18]



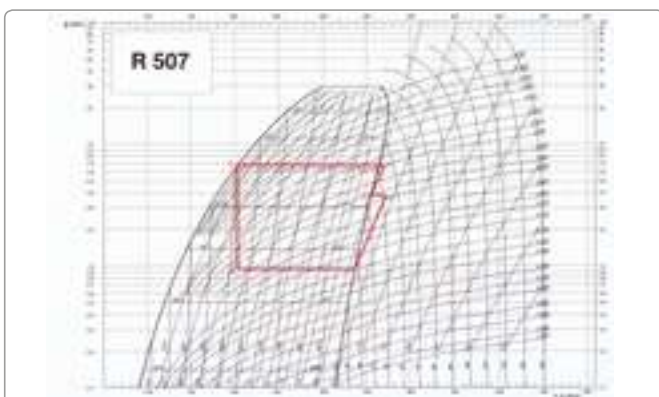
Rys. 6. Przemiany w układzie $p-h$ realizowane w układzie chłodniczym należącym do grupy przemysłowej z zastosowaniem R455A jako czynnika roboczego [18]



Rys. 7. Przemiany w układzie $p-h$ realizowane w układzie chłodniczym należącym do grupy przemysłowej z zastosowaniem R290 jako czynnika roboczego [18]



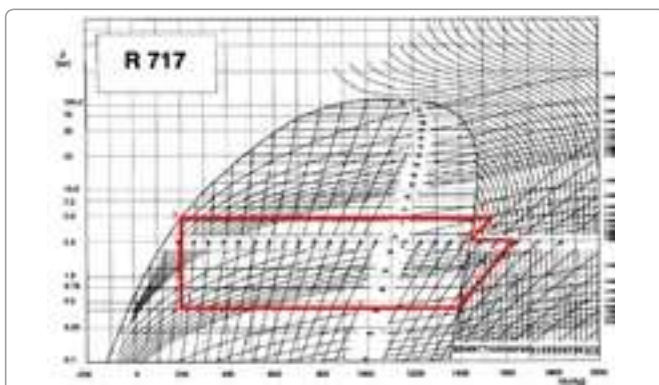
Rys. 8. Przemiany w układzie $p-h$ realizowane w układzie chłodniczym należącym do grupy przemysłowej z zastosowaniem R507A jako czynnika roboczego [18]



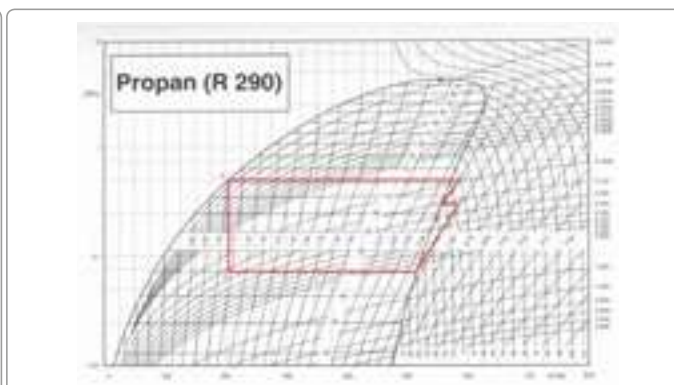
Rys. 9. Przemiany w układzie $p-h$ realizowane w układzie chłodniczym należącym do grupy specjalnej z zastosowaniem R507A jako czynnika roboczego [18]



Rys. 10. Przemiany w układzie $p-h$ realizowane w układzie chłodniczym należącym do grupy specjalnej z zastosowaniem R744 jako czynnika roboczego [18]



Rys. 11. Przemiany w układzie $p-h$ realizowane w układzie chłodniczym należącym do grupy specjalnej z zastosowaniem R717 jako czynnika roboczego [18]



Rys. 12. Przemiany w układzie $p-h$ realizowane w układzie chłodniczym należącym do grupy specjalnej z zastosowaniem R290 jako czynnika roboczego [18]

Tabela 3. Zależności opisujące ε dla systemów chłodniczych przyjętych do analizy

	Równanie opisujące ε
Grupa domowa	$\varepsilon = \frac{h_1 - h_4}{h_2' - h_1} \quad (2)$
Grupa przemysłowa	$\varepsilon = \frac{h_1 - h_5}{h_2' - h_1} \quad (3)$
Grupa specjalna	$\varepsilon = \frac{h_1 - h_4}{(h_2' - h_1) + (h_2 - h_2')} \quad (4)$

Odwzorowanie przemian w układach $p-h$, zachodzących w systemach chłodniczych przyjętych do niniejszej analizy przedstawiono na rys. 1 – 12.

W zależności od analizowanej grupy systemów chłodniczych oraz przyjętych założeń, współczynnik wydajności chłodniczej wyznaczono odpowiednio z równań przedstawionych w tab. 3.

Dodatkowo, w ramach prowadzonych obliczeń, wyznaczono strumień masy przepływającego czynnika, który jest wymagany w celu zapewnienia przyjętej w zało-

zeniach obliczeniowych mocy chłodniczej układu. Zależność opisująca strumień masy przepływającego czynnika została opisana równaniem (5).



(5)

liczonych wartości ciepła dostarczonego do parownika, ciepła odebranego w skraplaczu, pracy potrzebnej do napędu sprężarki, wydajności chłodniczej oraz strumienia masy dla grupy domowej w zależności od zastosowanego czynnika.

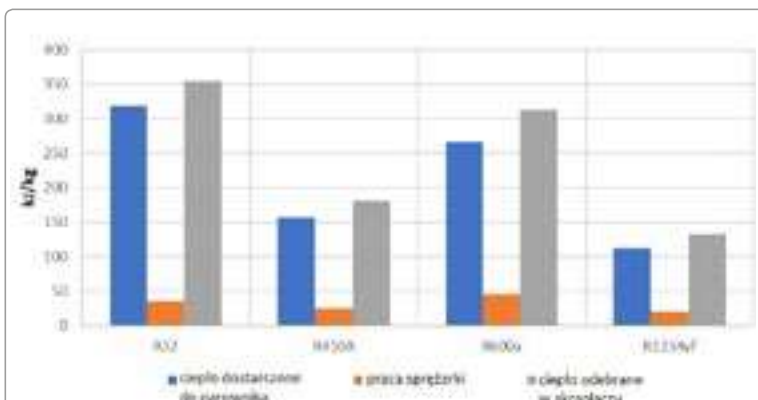
Tabela 4. Wyniki obliczeń

System chłodniczy	czynnik	q	l_c	ε	m
		[kJ/kg]	[kJ/kg]	[-]	[kg/s]
Grupa domowa	R32	318,23	36,36	8,75	0,0126
	R410A	156,97	24,72	6,35	0,0255
	R600a	266,12	46,16	5,76	0,0150
	R1234yf	112,26	20,33	5,52	0,0356
Grupa przemysłowa	R404A	130,96	29,66	4,42	0,2670
	R455A	156,72	53,76	2,91	0,2230
	R507	127,46	28,78	4,43	0,2750
	R290	307,73	65,90	4,67	0,1140
Grupa specjalna	R507	131,22	39,37	3,33	0,0150
	R744	227,75	71,52	3,18	0,0090
	R717	1207,19	322,52	3,74	0,0020
	R290	324,71	87,89	3,69	0,0060

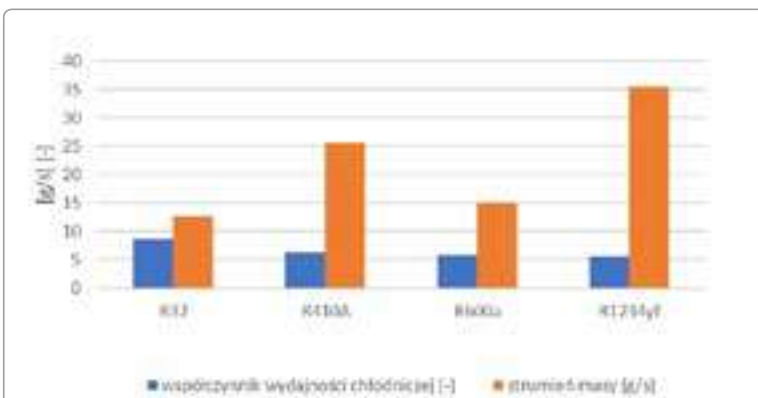
WYNIKI ANALIZY

Wyniki obliczeń prowadzonej analizy dla poszczególnych grup systemów chłodniczych zostały zbiorczo przedstawione w tab. 4.

Na podstawie uzyskanych wyników obliczeń dla teoretycznych obiegów chłodniczych, pracujących w różnych warunkach z zastosowaniem różnych czynników roboczych, można stwierdzić, że w grupie domowej największym współczynnikiem efektywności chłodniczej cechuje się R32, następnie R410A, R600a, a najgorzej wypada R1234yf. W łatwy sposób można zauważyć, że aktualnie stosowane czynniki cechuje większa wydajność niż zaproponowane ekologiczne alternatywy. W przypadku czynnika R32 warto podkreślić również to, że oprócz najwyższej uzyskanej wartości wydajności chłodniczej, uznawany jest on za bardziej ekologiczny od rynkowego konkurenta, tj. R410A. W przypadku R32 współczynnik *GWP* jest trzykrotnie niższy niż w przypadku R410A. Dodatkowo, ze względu na większe jednostkowe ciepło dostarczone do parownika, system pracujący z wykorzystaniem R32 wymaga dwukrotnie mniejszej ilości zastosowanego czynnika. Ponadto, konstrukcyjnie klimatyzatory pracujące z wykorzystaniem czynnika R32 oraz R410A nie różnią się znacząco budową, ze względu na przybliżone ciśnienia pracy. W związku z tym istnieje możliwość przezbrajania systemów z czynnika R410A na czynnik R32. Na rys. 13 i 14 przedstawione zostało porównanie ob-



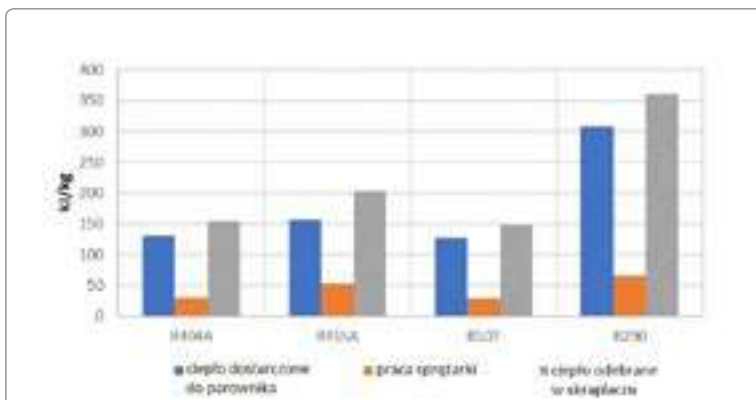
Rys. 13. Porównanie obliczonych wartości ciepła dostarczonego do parownika, ciepła odebranego w skraplaczu oraz pracy potrzebnej do napędu sprężarki dla grupy domowej w zależności od zastosowanego czynnika



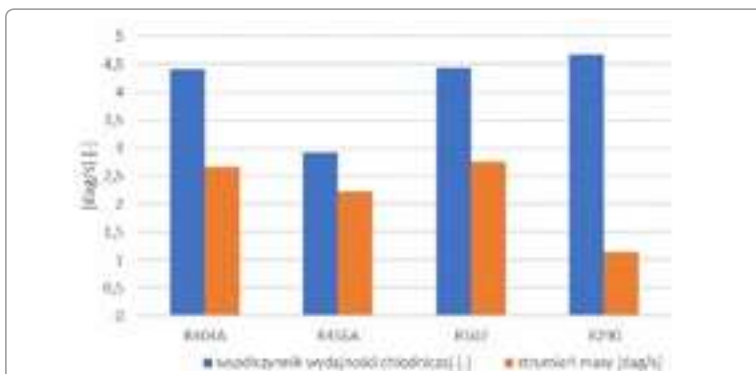
Rys. 14. Porównanie obliczonych wartości wydajności chłodniczej oraz strumienia masy dla grupy domowej w zależności od zastosowanego czynnika

W przypadku układu chłodniczego, sklasyfikowanego do grupy przemysłowej, czynnik R290 wykazał się największym współczynnikiem wydajności chłodniczej oraz najmniejszym strumieniem czynnika. Ma to duże znaczenie, gdyż R290 cechuje się palnością, którą, przy niewielkim napełnieniu instalacji tym czynnikiem, można uznać za cechę mało istotną przy wyborze czynnika. Warto zauważyć, że dla czynników, takich jak: R404A, R455A oraz R507A, ciśnienie nasycenia dla założonych temperatur skraplania i parowania jest do siebie bardzo zbliżone. W związku z tym, podobnie jak w przypadku grupy domowej, umożliwia to modernizację instalacji pracującej z czynnikiem wykluczonym przez odpowiednie regulacje prawne i zastosowanie czynnika o mniej negatywnym wpływie na środowisko. Jednak, w przypadku modernizacji instalacji polegającej na zmianie czynnika roboczego z R404A na czynnik R455A bądź R507A, należy zwrócić uwagę na fakt, że taka modernizacja systemu chłodniczego wiąże się ze znacznym pogorszeniem efektywności układu. Porównanie obliczonych wartości, wyszczególnionych w tab. 4, w przypadku rozważań podjętych dla urządzenia chłodniczego przynależącego do grupy domowej w zależności od zastosowanego czynnika, zostało zaprezentowane na rys. 15 i 16.

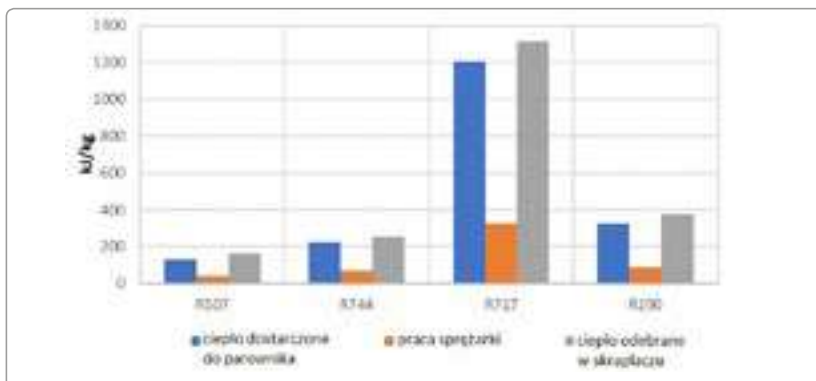
Analiza systemu chłodniczego sklasyfikowanego do grupy specjalnej wykazała, że w przypadku zastosowania czynników cechu-



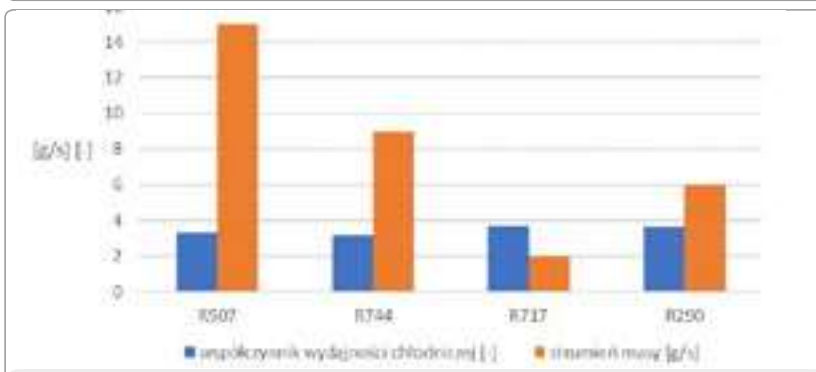
Rys. 15. Porównanie obliczonych wartości ciepła dostarczonego do parownika, ciepła odebranego w skraplaczu oraz pracy potrzebnej do napędu sprężarki dla grupy przemysłowej w zależności od zastosowanego czynnika



Rys. 16. Porównanie obliczonych wartości wydajności chłodniczej oraz strumienia masy dla grupy przemysłowej w zależności od zastosowanego czynnika



Rys. 17. Porównanie obliczonych wartości ciepła dostarczonego do parownika, ciepła odebranego w skraplaczu oraz pracy potrzebnej do napędu sprężarki dla grupy specjalnej w zależności od zastosowanego czynnika



Rys. 18. Porównanie obliczonych wartości wydajności chłodniczej oraz strumienia masy dla grupy specjalnej w zależności od zastosowanego czynnika

jących się niewielkim, negatywnym wpływem na środowisko możliwe jest uzyskanie wyższych wydajności chłodniczych, niż w przypadku zastosowania czynnika syntetycznego. Warto również dodać, iż czynnik R717 wykazuje się największą energochłonnością spośród analizowanych czynników. Ponadto, amoniak cechuje się dużą pojemnością cieplną, a związku z tym wymagane są znacznie mniejsze ilości tego czynnika do napełniania instalacji. Porównanie wszystkich wielkości, uzyskanych w wyniku prowadzonej analizy w przypadku systemu chłodniczego z grupy specjalnej, zostało przedstawione na rys. 17 i 18.

PODSUMOWANIE

W niniejszym artykule dokonano analizy wpływu wyboru czynnika roboczego na wydajność chłodniczą trzech systemów chłodniczych, sklasyfikowanych jako: grupa domowa, grupa przemysłowa i grupa specjalna. W celu przeprowadzenia analizy wybrano łącznie dziesięć czynników, tj.: R32, R410A, R600a, R1234yf, R404A, R455A, R507A, R290, R744 oraz R717. Do analizy wybrano zarówno czynniki obecnie stosowane

w urządzeniach chłodniczych, ich zamienniki, jak również czynniki uznane za perspektywiczne. Na podstawie przeprowadzonej analizy można łatwo zauważyć wpływ właściwości analizowanych czynników na eksploatację układu. Dodatkowo, warto nadmienić, że właściwości czynnika roboczego, oprócz wpływu na efektywność instalacji czy jej oddziaływania na środowisko, mają również istotne znaczenie na wielkości projektowanych oraz stosowanych wymienników ciepła, które zmniejszają się wraz ze zmniejszeniem strumienia masy przepływającego czynnika. Dzięki temu możliwe jest projektowanie znacznie mniejszych systemów. Natomiast dobór nieodpowiedniego czynnika roboczego może w konsekwencji przyczynić się do wzrostu zapotrzebowania układu na energię. W przypadku analizy prowadzonej dla grupy przemysłowej i specjalnej można stwierdzić, że wydajność chłodnicza zmienia się w niewielkim stopniu w zależności od stosowanych czynników. Natomiast w przypadku grupy domowej wpływ ten jest znacznie bardziej widoczny. Jednak wpływ zastosowanego czynnika roboczego dla wszystkich trzech grup systemów chłodniczych jest znacznie większy w przypadku porównania ciepła dostarczonego w parowniku, ciepła odebranego w skraplaczu oraz pracy niezbędnej do napędu sprężarki. Na podstawie porównania tych wielkości oraz właściwości fizyko-cieplnych analizowanych czynników można stwierdzić, że czynniki naturalne, takie jak amoniak oraz propan, dzięki swoim korzystnym właściwościom wpływają na intensyfikację wymiany ciepła w układach, w których były rozpatrywane.

LITERATURA

- [1] Andrzejczyk R., T. Muszyński, B. Jakubowska. 2015. „Nowe czynniki chłodnicze i zmiany w instalacjach chłodniczych. Cz. 1”. *Przem. Spożywczy* (69) 9: 12 – 15.
- [2] Andrzejczyk R., T. Muszyński, B. Jakubowska. 2015. „Nowe czynniki chłodnicze i zmiany w instalacjach chłodniczych. Cz. 2”. *Przem. Spożywczy* (69) 10: 26 – 30.
- [3] Andrzejczyk R., T. Muszyński, B. Jakubowska. 2016. „Nowe czynniki chłodnicze i zmiany w instalacjach chłodniczych. Cz. 3”. *Przem. Spożywczy* (70) 2: 29 – 33.
- [4] Bonca Z., D. Butrymowicz, W. Targański, T. Hajduk. 2004. *Nowe czynniki chłodnicze i nośniki ciepła. Własności cieplne, chemiczne i użytkowe. Poradnik*. Gdańsk: IPPU MASTA sp. z o.o.
- [5] Bohdal T., H. Charun, M. Czapp. 2020. *Urządzenia chłodnicze sprężarkowo-parowe. Podstawy teoretyczne i obliczenia*. Warszawa: Wydawnictwo Naukowe PWN, WNT.
- [6] Exploring the History of Information and Media through Timelines, "Rowland & Molina Suggest that CFCs Deplete the Ozone Layer". [Online]. Available: <https://www.historyofinformation.com/detail.php?id=2721>. [Accessed: 18-Mar-2021].
- [7] Fodemski T. R.. 2000. *Domowe i handlowe urządzenia chłodnicze. Poradnik*. Warszawa: WNT.
- [8] Jakubowska B.. 2020. „Analiza procesów cieplnych zachodzących w skraplaczu płaszczowo – rurowym”. *Ciepłownictwo Ogrzew. Went.* (51) 9: 8 – 14.
- [9] Jakubowska B.. 2020. „Analiza modeli opisujących wrzenie w przepływie w kanałach konwencjonalnych”. *Chłodnictwo* (4): 9 – 18.
- [10] Lemmon E. W., M. L. Huber, M. O. McLinden. 2013. "NIST Standard Reference Database 23: Reference Fluid Thermodynamic and Transport Properties-REFPROP, Version 9.1."
- [11] Mikielewicz D., B. Jakubowska. 2015. „Wyznaczenie współczynnika przejmowania ciepła podczas wrzenia w przepływie dwutlenku węgla”. *Chłodnictwo* (1–2): 28 – 34.
- [12] Mikielewicz D., B. Jakubowska. 2016. "Prediction of flow boiling heat transfer coefficient for carbon dioxide in minichannels and conventional channels". *Arch. Thermodyn.*(37),2: 89 – 106.
- [13] Muszyński T., R. Andrzejczyk, B. Jakubowska. 2016. „Wpływ właściwości czynników chłodniczych na straty egzergii w pompie ciepła”. *Ciepłownictwo Ogrzew. Went.* (5) 47: 195 – 200.
- [14] Pudlik W. 2011. *Termodynamika*. Gdańsk: Wydawnictwo Politechniki Gdańskiej.
- [15] Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Radu UE Nr 517/2014 z dnia 16 kwietnia 2014.
- [16] Rubik M. 2020. *Chłodnictwo i pompy ciepła*. Warszawa: Grupa MEDIUM.
- [17] Schiessl, "R455A." [Online]. Available: <https://www.schiessl.pl/pl/hfohfc/r455a>. [Accessed: 22-Mar-2021]
- [18] Schiessl, "Czynniki chłodnicze." [Online]. Available: <https://www.schiessl.pl/pl/czynniki-chlodnicze>. [Accessed: 23-Mar-2021].
- [19] United Nations Environment Program (UNEP). 1987. "Montreal Protocol on Substances that Deplete the Ozone Layer (Final Act, United Nations)". Montreal

WIADOMOŚCI

Panasonic rozwija Contact Center dla użytkowników końcowych

Panasonic uruchomił telefoniczną obsługę klientów końcowych w celu wsparcia swoich dystrybutorów i akredytowanych instalatorów w obsłudze użytkowników indywidualnych. Contact Center jest skierowane do klienta końcowego, któremu zapewni obsługę przed i po zakupie pomp ciepła Aquarea i klimatyzatorów Panasonic.

Nowe Contact Center to jednak nie tylko infolinia. Na stronie klient może również pobrać instrukcje obsługi do produktów Panasonic, dowiedzieć się więcej o pompach ciepła Aquarea czy zdalnym sterowaniu Smart Cloud i zdalnym serwisie Service Cloud, poznać zaawansowane sterowanie klimatyzacją przez smartfon.

Na Contact Center Panasonic można również znaleźć akredytowanego instalatora, czyli firmę która zapewni użytkownikowi najwyższy poziom bezpieczeństwa, dzięki czemu usługa stanowi również wsparcie dla współpracujących z firmą montażystów.

W przypadku pytań Panasonic umożliwia kontakt zarówno przez prosty formularz kontaktowy, jak i pod numerem infolinii 800 080 911.

Nowe Contact Center jest dostępne pod adresem: https://www.aircon.panasonic.eu/PL_pl/contact/

Nowe Centrum Obsługi klienta indywidualnego

Pomoc dla klienta.
Jesteśmy do Twojej dyspozycji.



Panasonic

heating & cooling solutions