

APARATURA BADAWCZA I DYDAKTYCZNA

Zmiany parametrów pracy urządzenia chłodniczego w wyniku zamiany czynnika R410A na propylen

ANDRZEJ GRZEBIELEC

POLITECHNIKA WARSZAWSKA, WYDZIAŁ MECHANICZNY ENERGETYKI I LOTNICTWA,
INSTYTUT TECHNIKI CIEPLNEJ

Słowa kluczowe: efektywność energetyczna, bezpieczeństwo, R410A, propylen

STRESZCZENIE:

W wyniku działań legislacyjnych od roku 2020 nie będzie możliwości stosowania czynnika roboczego R410A w nowych urządzeniach i instalacjach chłodniczych i klimatyzacyjnych. Obecnie jest on jednym z najpopularniejszych czynników chłodniczych wykorzystywanych w systemach klimatyzacji stacjonarnej. Z tego powodu poszukiwane są zamienniki, które będą spełniać wymogi rozporządzenia f-gazowego oraz mogłyby bez przebudowy instalacji zastąpić czynnik R410A. Jednym z takich zamienników jest propylen, który z powodzeniem może zastąpić czynnik R410A, polepszając nawet efektywność urządzenia. Wadą propylenu jest jego palność. Artykuł odpowiada na pytanie, jak zmienia się praca układu po zamianie na propylen oraz jakie stanowi zagrożenie i w jakich wypadkach taka zamiana jest dopuszczalna.

Changes in the refrigeration plant operation parameters as a result of the conversion of R410A to propylene

Keywords: energy efficiency, safety, R410A, propylene

ABSTRACT:

As a result of legislative activities from 2020, it will not be possible to apply the refrigerant R410A in new refrigeration and air conditioning equipment and systems. At present, it is one of the most popular refrigerants used in stationary air conditioning systems. For this reason, replacements are sought that will be able to meet the requirements of the f-gas regulation and will be able to replace R410A without replacing the installation. One such substitute is propylene, which can successfully replace R410A, improving even the efficiency of the device. The disadvantage of propylene is its flammability. The article answers the question how the work of the system changes after conversion into propylene and what constitutes a threat and in which cases such conversion is allowed.

1. WPROWADZENIE

Zgodnie z rozporządzeniem 517/2014 Parlamentu europejskiego i Rady (UE) [13] przyjęto ograniczenia we wprowadzaniu na rynek produktów i urządzeń zawierających fluorowane gazy cieplarniane. Rozporządzenie to dotyczy w szczególności:

- urządzeń chłodniczych;
- urządzeń klimatyzacyjnych;
- pomp ciepła;
- urządzeń ochrony przeciwpożarowej;
- rozdzielnic elektrycznych;
- dozowników aerozolu, które zawierają fluorowane gazy cieplarniane, z wyjątkiem inhalatorów ciśnieniowych z odmierzoną dawką do celów podawania składników farmaceutycznych;
- wszystkich pojemników na fluorowane gazy cieplarniane;
- rozpuszczalników na bazie fluorowanych gazów cieplarnianych;
- organicznych obiegów Rankine’a.

W Tabeli 1 zaprezentowano daty zakazów wprowadzania na rynek urządzeń związanych ściśle z chłodnictwem i klimatyzacją.

Rozporządzenie odnosi się do współczynnika GWP (ang. Global Warming Potential), czyli do współczynnika określającego potencjał wpływu na efekt cieplarniany. W Tabeli 2 zaprezentowano współczynniki GWP dla czynników chłodniczych wykorzystywanych aktualnie w instalacjach chłodniczych klimatyzacyjnych i pompach ciepła.

Tabela 2 Najczęściej stosowane syntetyczne czynniki chłodnicze

Czynnik chłodniczy	GWP
R134a	1430
R404A	3922
R407C	1774
R410A	2088
R507A	3985

Tabela 1 Daty obowiązywania zakazu wprowadzania na rynek poszczególnych produktów i urządzeń (tabela opisuje jedynie urządzenia i produkty związane z chłodnictwem i klimatyzacją, natomiast w rozporządzeniu znajdują się także zakazy dotyczące innych branż)

Data wprowadzenia zakazu	Typ produktu i urządzenia
4 lipca 2007 r.	Otwarte systemy wykorzystujące bezpośrednie odparowywanie, zawierające HFC i PFC jako czynniki chłodnicze
1 stycznia 2015 r.	Domowe chłodziarki i zamrażarki zawierające HFC o GWP równym 150 lub większym
1 stycznia 2020 r.	Chłodziarki i zamrażarki do zastosowań komercyjnych (hermetycznie zamknięte urządzenia) zawierające HFC o GWP równym 2500 lub większym
1 stycznia 2022 r.	Chłodziarki i zamrażarki do zastosowań komercyjnych (hermetycznie zamknięte urządzenia) zawierające HFC o GWP równym 150 lub większym
1 stycznia 2020 r.	Stacjonarne urządzenia chłodnicze, które zawierają HFC o GWP równym 2500 lub większym lub których działanie jest od nich uzależnione, z wyjątkiem urządzeń przeznaczonych do zastosowań służących schładzaniu produktów do temperatur poniżej -50°C
1 stycznia 2022 r.	Wieloagregatowe scentralizowane układy chłodnicze do zastosowań komercyjnych o mocy znamionowej 40 kW lub większej, które zawierają fluorowane gazy cieplarniane o GWP równym 150 lub większym lub których działanie jest od nich zależne, z wyjątkiem obiegów chłodniczych pierwszego stopnia w układach kaskadowych, w których można stosować fluorowane gazy cieplarniane o GWP równym 1500 lub większym
1 stycznia 2020 r.	Przenośne pokojowe urządzenia klimatyzacyjne (hermetycznie zamknięte urządzenia, które użytkownik końcowy może przemieszczać między pomieszczeniami) zawierające HFC o GWP równym 150 lub większym
1 stycznia 2025 r.	Pojedyncze dzielone układy klimatyzacyjne zawierające mniej niż 3 kg fluorowanych gazów cieplarnianych, które zawierają fluorowane gazy cieplarniane o GWP równym 750 lub większym lub których działanie jest od nich zależne

Z Tabeli 2 wynika, że w perspektywie kilkunastu lat wszystkie będą musiały zniknąć z rynku, gdyż ich współczynnik GWP jest stosunkowo wysoki. W Tabeli 3 zaprezentowano czynniki chłodnicze o GWP niższym niż 150 – tylko takie są traktowane jako zamienniki długoterminowe.

Tabela 3 Alternatywne czynniki chłodnicze zgodnie z rozporządzeniem UE [13]

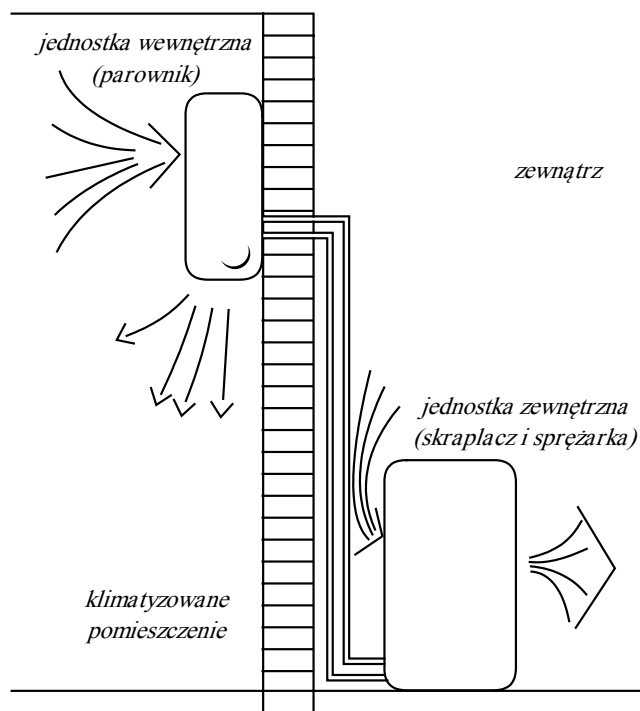
Czynnik chłodniczy	GWP	Główne negatywne właściwości
R717 – amoniak	0	Wybuchowy i toksyczny
R744 – CO ₂	1	Pracuje przy wysokich ciśnieniach
R290 – propan	3	Wybuchowy
R600a – izobutan	3	Wybuchowy
R1270 – propylen	2	Wybuchowy
R32	675	Lekko palny
R1234ze	6	Lekko palny
R1234yf	4	Lekko palny

Opisane ograniczenia powodują, że od roku 2020 nie będzie można wprowadzać na rynek urządzeń i produktów z obecnie stosowanymi czynnikami chłodniczymi, a kilka lat później tych, które będą nadal pracować, nie będzie można także serwisować. Dlatego warto się zastanowić, czy w istniejących instalacjach istnieje możliwość bezpiecznej zamiany jednego czynnika o wysokim GWP na czynniki z Tabeli 3. Czynniki palne czy wybuchowe nie są niczym nowym w instalacjach chłodniczych. Izobutan od lat 90. jest jedynym czynnikiem roboczym w europejskich lodówkach [7]. W sprężarkowych instalacjach do skraplania gazu ziemnego wykorzystuje się metan, etan i propan [6]. Na całym świecie prowadzone są intensywne badania nad wykorzystaniem czystych węglodorów w urządzeniach chłodniczych [10] i pompach ciepła [11]. Zagrożenie związane z gazami palnymi zostało także zminimalizowane w pompach ciepła napędzanych silnikami gazowymi [9]. Instalacje amoniakalne są rozpowszechnione w branży spożywczej [2]. Kolejnym kierunkiem rozwoju urządzeń chłodniczych jest intensyfikacja wymiany ciepła w wymiennikach [1, 5] oraz miniaturyzacja samych wymienników [4], co w efekcie pozwala zmniejszyć napełnienie instalacji

gazami palnymi. Innym wariantem jest przechodzenie na układy z czynnikiem pośredniczącym [8], gdzie palny czynnik chłodniczy występuje jedynie w zablokowanym chillerze wody lodowej.

2. ANALIZA PRACY UKŁADU CHŁODNICZEGO PODDANEGO WYMIANIE CZYNNIKA

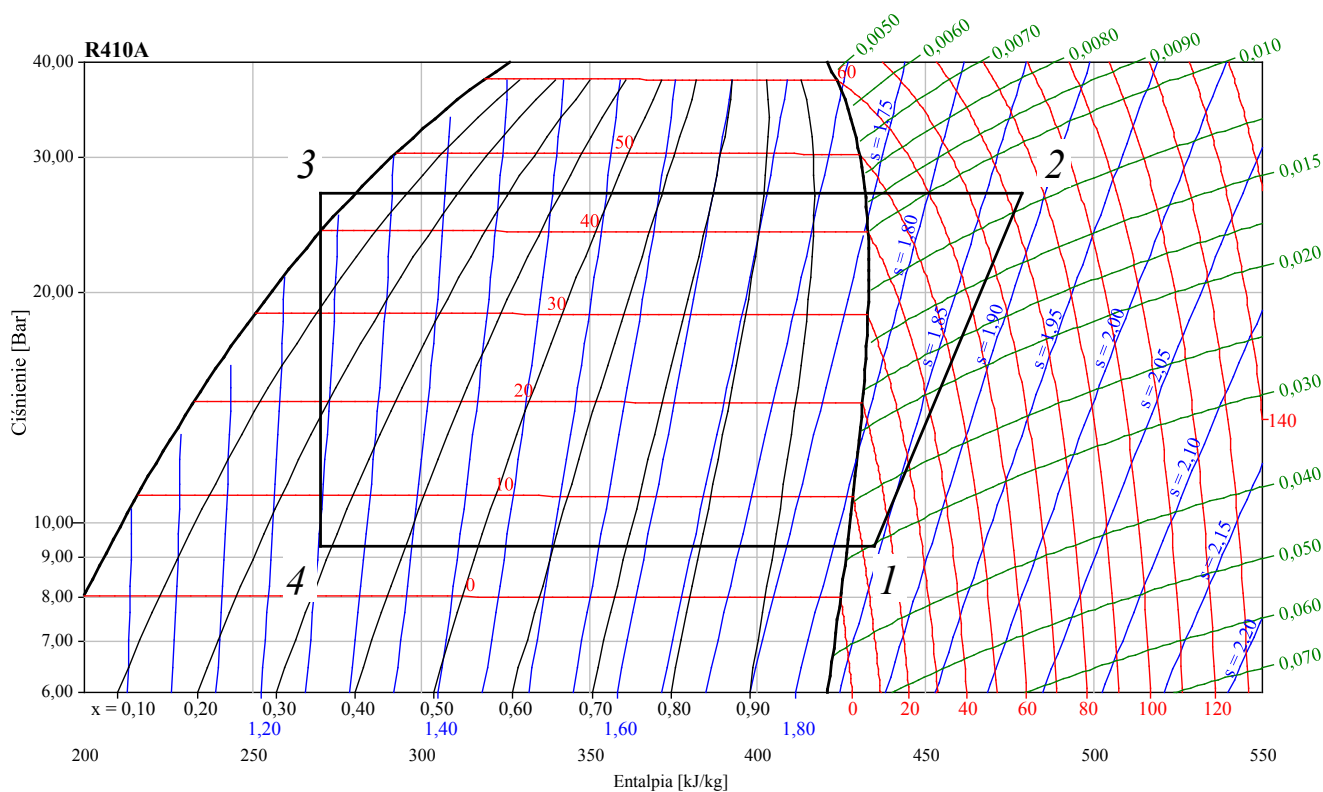
Do analizy został przyjęty układ chłodniczy typu split, najczęściej użytkowany w systemach klimatyzacji bytowej (Rys. 1). Aktualnie głównym czynnikiem roboczym w urządzeniach typu split jest czynnik R410A. Ze względu na wysokie GWP jego czas stosowania powoli dobiega końca. Instalacje z tym czynnikiem są natomiast w większości wypadków na tyle nowe, że mogą jeszcze pracować przez wiele lat. Zgodnie z normą PN-EN 378 napełnienie czynnikiem palnym instalacji nie może stanowić zagrożenia wybuchem [12]. W praktyce tłumaczy się to tak, że jeśli nawet cały czynnik z urządzenia wycieknie do zamkniętego pomieszczenia – to stężenie nie powinno przekraczać dolnej granicy wybuchowości.



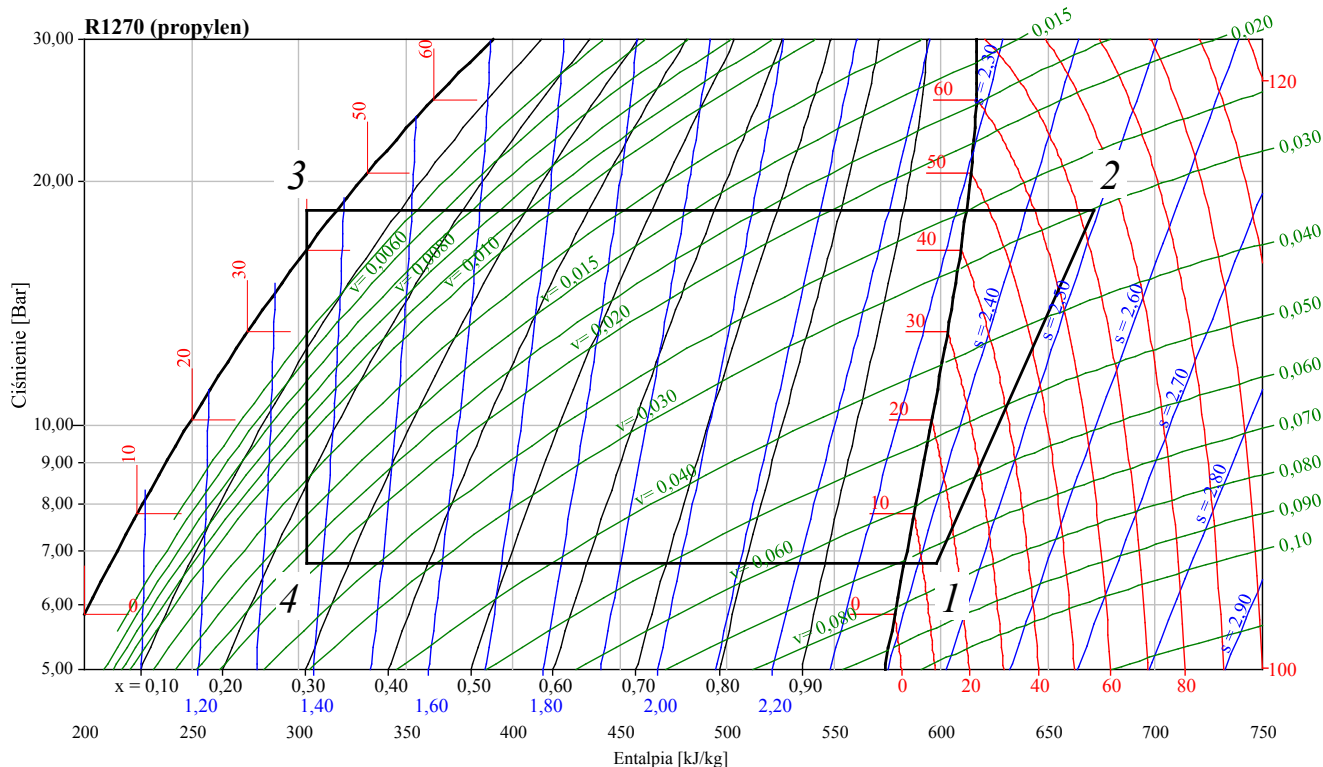
Rysunek 1 Klimatyzator typu split [3]

Na Rysunkach 2 oraz 3 zostały zaprezentowane obiegi czynnika chłodniczego R410A i R1270 (propylen) dla nominalnych warunków pracy instalacji, czyli ciśnienia parowania odpowiadającego temperaturze 5°C, a ciśnienia skraplania odpowiadającego temperaturze przemiany fazowej równej 45°C. Przegrzew przyjęto na poziomie 9K, a dochłodzenie na poziomie 4K. Charakterystyczne punkty pracy zostały umieszczone w Tabeli 4.

wiadającego temperaturze przemiany fazowej równej 45°C. Przegrzew przyjęto na poziomie 9K, a dochłodzenie na poziomie 4K. Charakterystyczne punkty pracy zostały umieszczone w Tabeli 4.



Rysunek 2 Obieg czynnika R410A dla zadanych parametrów



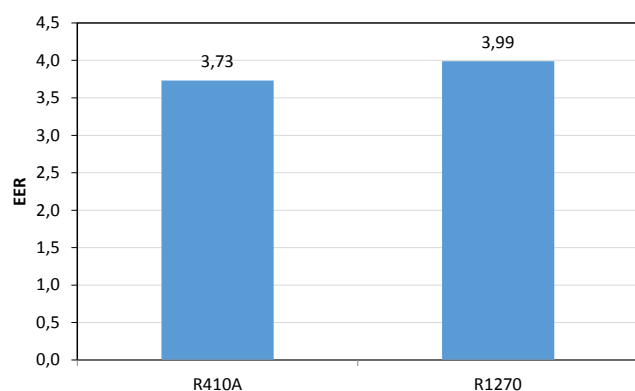
Rysunek 3 Obieg czynnika R1270 dla zadanych parametrów

Tabela 4 Porównanie parametrów pracy w charakterystycznych punktach

Punkty	R410			R1270		
	T [°C]	p [bar]	v [m ³ /kg]	T [°C]	p [bar]	v [m ³ /kg]
1	14,01	9,32	0,0302	14,00	6,77	0,0739
2	84,49	27,01	0,0119	73,49	18,43	0,0302
3	39,83	27,01	0,0011	40,00	18,43	0,0023
4	4,92	9,32	0,0087	5,00	6,77	0,0188

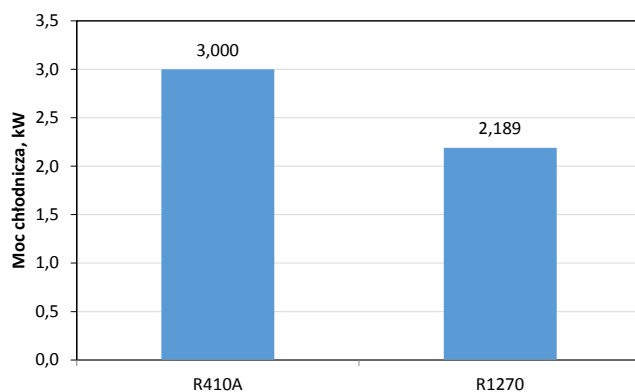
Na podstawie wykresów oraz parametrów pracy zauważono, że propylen pracuje przy znacznie niższych ciśnieniach. Współczynnik efektywności EER dla urządzenia pracującego z czynnikiem R410A wyniósł 3,73, a dla urządzenia pracującego z propylenem 3,99 (Rys. 4). Współczynnik EER został wyznaczony zgodnie z zależnością 1:

$$EER = \frac{h_1 - h_4}{h_2 - h_1} \quad (1)$$



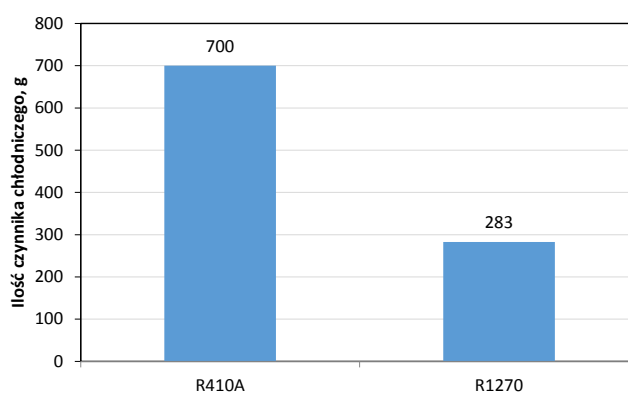
Rysunek 4 Współczynnik efektywności energetycznej EER

Zamiana czynnika chłodniczego dla tego samego układu (wydajność objętościowa sprężarki pozostaje bez zmian) powoduje, że moc chłodnicza zmniejszy się z 3,000 kW dla czynnika R410A do 2,189 kW dla propylenu (Rys. 5).



Rysunek 5 Moc chłodnicza

Natomiast napełnienie, w wyniku zmiany gęstości czynnika roboczego, zmniejszy się z 700 g dla układu z R410A do 283 g dla układu z propylenem.



Rysunek 6 Ilość czynnika chłodniczego

3. PODSUMOWANIE

W ramach pracy wykazano, że zamiana czynnika chłodniczego R410A na palny czynnik R1270 powoduje, że współczynnik efektywności chłodniczej klimatyzatora typu split wzrasta o 7%. Niestety moc chłodnicza maleje o 27%. Napełnienie czynnikiem chłodniczym zmniejsza się z 700 do 283 g (60%). Nowa ilość czynnika chłodniczego pozwala na użytkowanie urządzenia do chłodzenia pomieszczeń o minimalnej kubaturze 35,35 m³ – stosując zalecaną praktyczną granicę wybuchowości na poziomie 8 g/m³.

O ile ograniczenia co do wielkości pomieszczenia nie wydają się problemem przy ewentualnej zamianie czynnika chłodniczego, o tyle spadek dostępnej mocy chłodniczej może się stać takim problemem. W wyniku wymiany czynnika użytkownicy są w stanie zaakceptować zmniejszenie się współczynnika EER (większe koszty produkcji chłodu), ale utrata komfortu cieplnego będzie przez nich nieakceptowana. Dlatego zaleca się,

aby analiza wymiany czynnika chłodniczego na nowy pokazywała, o ile zmieni się temperatura w pomieszczeniu w przeciągu całego sezonu. W wielu wypadkach może się okazać, że zmniejszenie mocy na przestrzeni roku nie jest uciążli-

we, gdyż urządzenia do klimatyzacji dobierane są dla powietrza zewnętrznego na poziomie 35°C, a nie jest to temperatura często spotykana w polskim klimacie.

LITERATURA

- [1] Cyklis P., Industrial scale engineering estimation of the heat transfer in falling film juice evaporators, *Applied Thermal Engineering* 123 (2017) 1365-1373, DOI: 10.1016/j.applthermaleng.2017.05.194.
- [2] Grzebielec A., Ociepa M., Pompy ciepła a prawo w wybranych krajach Unii Europejskiej, *Chłodnictwo LI* (6) (2016) 10-14, DOI: 10.15199/8.2016.6.1.
- [3] Grzebielec A., Rusowicz A., Szelaǳowski A., Zastosowanie czynnika chłodniczego R290 (propan) w instalacjach klimatyzacyjnych typu split w aspekcie bezpieczeństwa przeciwwybuchowego, *Zeszyty Naukowe Szkoły Głównej Służby Pożarniczej* 61(1) (2017) 107-119.
- [4] Kuczyński W., Charun H., Bohdal T., Modeling of temperature instabilities during condensation of R134a refrigerant in pipe minichannels, *International Journal of Heat and Mass Transfer* 111 (2017) 83-93, DOI: 10.1016/j.ijheatmasstransfer.2017.03.001.
- [5] Laskowski R., Relations for steam power plant condenser performance in off-design conditions in the function of inlet parameters and those relevant in reference conditions, *Applied Thermal Engineering* 103 (2016) 528-536, DOI: 10.1016/j.applthermaleng.2016.04.127.
- [6] Mehpooya M., Vatani A., Sadeghian F., Ahmadi M. H., A novel process configuration for hydrocarbon recovery process with auto-refrigeration system, *Journal of Natural Gas Science and Engineering* 42 (2017) 262-270, DOI: 10.1016/j.jngse.2015.01.015.
- [7] Palm B., Hydrocarbons as refrigerants in small heat pump and refrigeration systems – A review, *International Journal of Refrigeration* 31 (2008) 552-563, DOI: 10.1016/j.ijrefrig.2007.11.016.
- [8] Peczkis G., Modification of cooling impeller pump in combustion engines driven by electricity, *Journal of Power Technologies* 97(2) (2017) 85-88.
- [9] Ruciński A., Lipiński D., Urządzenia chłodnicze i pompy ciepła napędzane silnikiem gazowym, *Chłodnictwo LI*(6) (2016) 18-23, DOI: 10.15199/8.2016.6.3.
- [10] Śmierciew K., Butrymowicz D., Kwidzyński R., Przybiliński T., Analysis of application of two-phase injector in ejector refrigeration systems for isobutane, *Applied Thermal Engineering* 78 (2015) 630-639, DOI: 10.1016/j.applthermaleng.2014.11.064.
- [11] Venzik V., Roskosch D., Atakan B., Propene/isobutane mixtures in heat pumps: An experimental investigation, *International Journal of Refrigeration* 76 (2017) 84-96, DOI: 10.1016/j.ijrefrig.2017.01.027.
- [12] Norma PN-EN 378 Instalacje ziębnicze i pompy ciepła. Wymagania dotyczące bezpieczeństwa i ochrony środowiska.
- [13] Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) nr 517/2014 z dnia 16 kwietnia 2014 r. w sprawie fluorowanych gazów cieplarnianych i uchylecia rozporządzenia (WE) nr 842/2006.