

*dr inż. Andrzej Grzebielec*

*dr hab. inż. Artur Rusowicz, prof. Politechniki Warszawskiej*

*mgr inż. Adam Szelągowski*

Institut Techniki Ciepłej, Wydział Mechaniczny Energetyki i Lotnictwa,  
Politechnika Warszawska

## **Zastosowanie czynnika chłodniczego R290 (propan) w instalacjach klimatyzacyjnych typu split w aspekcie bezpieczeństwa przeciwwybuchowego**

### **Streszczenie:**

W związku z wejściem w życie Rozporządzenia Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) nr 517/2014 z 16 kwietnia 2014 r. w sprawie fluorowanych gazów cieplarnianych i uchylenia rozporządzenia (WE) nr 842/2006, zakres czynników chłodniczych, które do tej pory były powszechnie stosowane, został mocno ograniczony. Wszystkie preferowane czynniki chłodnicze są w większości palne i wybuchowe, a zaliczają się do nich R32, R1234yf, R1234ze, R290 (propan), R600a (izobutan), R717 (amoniak). Jednak należy zwrócić uwagę, że czynniki, takie jak R32, R1234yf oraz R1234ze zaliczane są do związków umiarkowanie palnych i została dla nich stworzona, zgodnie z normą ISO 817, specjalna grupa o nazwie A2L. Warto także dodać, że dzięki nowemu podziałowi amoniak trafił do grupy B2L, czyli związków toksycznych, ale umiarkowanie palnych. W artykule skupiono się na określeniu, w jakich warunkach można bezpiecznie budować instalacje typu split, w których czynnikiem chłodniczym jest propan. Okazuje się, że w przypadku małych urządzeń, jakimi są splity, można bezpiecznie stosować czynnik R290 w większości przypadków.

**Słowa kluczowe:** chłodnictwo, czynnik chłodniczy, propan, R290.

## **The Use of the R290 Refrigerant (Propane) in Air Conditioning Split Units in Terms of Explosion Safety**

### **Abstract:**

According to the Regulation (EU) no 517/2014 of the European Parliament and the Council, which came into force on 16 April 2014 concerning the fluorinated

greenhouse gasses as well as the repealing regulation (EC) no 842/2006, the scope of the refrigerants, which have so far been commonly used is very limited. All preferred refrigerants are mostly flammable and explosive, and they include R32, R1234yf, R1234ze, R290 (propane), R600a (isobutane), R717 (ammonia). However, it should be noted that refrigerants such as R32, R1234yf, R1234ze are classified as mildly flammable and a special group called the A2L, has been created for them, which is in accordance with the 817 ISO standard. It is also worth noting that the new classification has moved the ammonia to the group B2L – which means toxic and mildly flammable compounds. The article focuses on defining the conditions in which it is possible to build the split installations, in which the refrigerant is propane, safely. It turns out that the small splits are the devices where in most cases the R290 agent can be used safely.

**Keywords:** refrigeration, refrigerant, propane, R290

## 1. WSTĘP

W 2014 r. weszło w życie nowe rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady dotyczące czynników chłodniczych z grupy nazwanej f-gazy – niektóre fluorowane gazy cieplarniane [20]. Po raz kolejny ograniczono wykorzystywanie obecnie stosowanych czynników chłodniczych [13]. Rozporządzenie to związane jest z kierunkiem rozwoju działań klimatycznych Unii Europejskiej, który zmierza do ciągłego zmniejszania emisji CO<sub>2</sub> oraz innych gazów cieplarnianych [1]. Jako parametr określający potencjał tworzenia efektu cieplarnianego przyjęto współczynnik GWP (ang. *Global Warming Potential*)<sup>1</sup>. W tabeli 1 zostały wymienione współczynniki GWP dla obecnie stosowanych i perspektywicznych czynników chłodniczych.

**Tabela 1.** Współczynnik GWP dla wybranych czynników chłodniczych

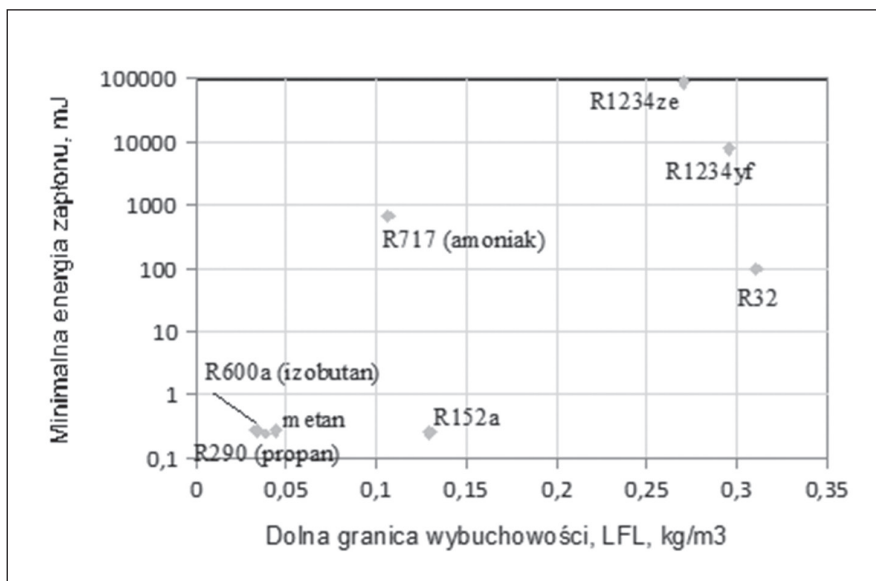
Czynnik chłodniczy	GWP
R1234ze	7
R1234yf	4

<sup>1</sup> GWP – wypuszczenie do atmosfery 1 kg czynnika o GWP = 1430 znaczy tyle samo co wypuszczenie 1430 kg dwutlenku węgla.

cd. Tabeli 1.

Czynnik chłodniczy	GWP
R134a	1430
R22	1810
R290 (propan)	3
R32	675
R404A	3922
R407C	1770
R410A	2018
R600a (izobutan)	3,3
R717 (amoniak)	0
R744 (dwutlenek węgla)	1

Z danych zawartych w tabeli 1 wyraźnie wynika, że obecnie stosowane czynniki chłodnicze charakteryzują się wysokim współczynnikiem GWP. Prowadzi to do sytuacji, w której w najbliższych latach zostaną wycofane kolejne czynniki chłodnicze powszechnie stosowane w instalacjach klimatyzacyjnych, pompach ciepła i urządzeniach chłodniczych. Komisja Europejska zmierza w kierunku wykorzystywania czynników naturalnych [7]. W najbliższych latach dopuszczone do użytku będą jedynie czynniki, takie jak: amoniak, dwutlenek węgla, propan, izobutan, z syntetycznych pozostaną jedynie czynniki z grupy hydrofluoroolefin R1234ze, R1234yf [12]. Wszystkie wymienione czynniki naturalne znane są w chłodnictwie od ponad 100 lat, jednak ze względu na palność i wybuchowość przegrały konkurencję z czynnikami syntetycznymi, takimi jak R12 czy R22, które nie są ani palne, ani toksyczne [2,3] oraz nie powodują korozji instalacji [18]. Czynniki chłodnicze R32, R1234ze, R1234yf znalazły się w nowo utworzonej grupie A2L, czyli nietoksycznych i umiarkowanie palnych substancjach [15, 17, 25]. Na rys. 1 zaprezentowano minimalną energię zapłonu oraz dolną granicę wybuchowości w powietrzu dla perspektywicznych czynników chłodniczych.

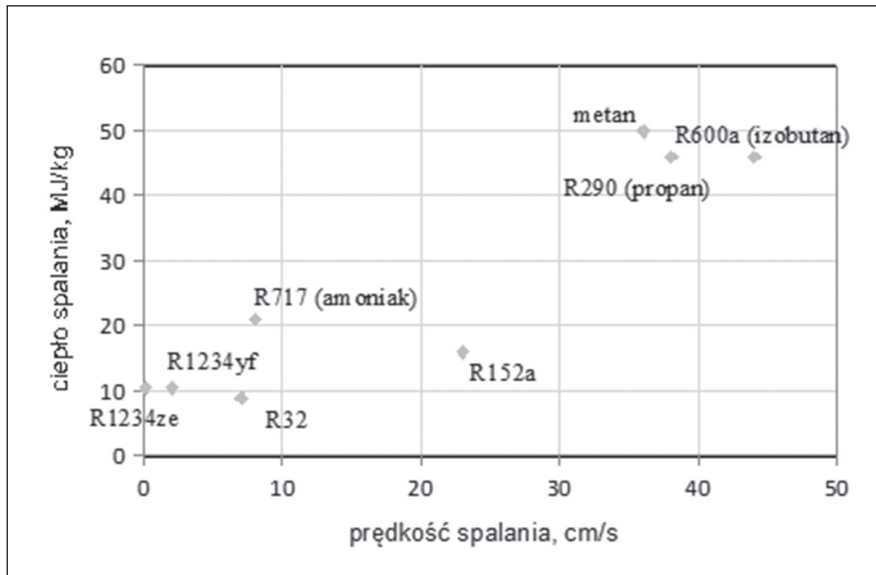


Rys. 1. Minimalna energia zapłonu w funkcji dolnej granicy wybuchowości (LFL) dla palnych czynników chłodniczych

Na rys. 1 pokazano, że czynniki z grupy A2L stwarzają zagrożenie wybuchem, gdy ich stężenie jest kilkukrotnie większe niż w przypadku propanu, metanu czy izobutanu, a w większości wypadków wymagają także o wiele większej energii do zapłonu. Należy także dodać, że czynnik R1234ze jest niepalny w temperaturze poniżej 30°C [24]. Kolejnymi parametrami istotnymi z punktu widzenia zagrożenia wybuchem są prędkość spalania i ciepło spalania – określają one, jakie potencjalne zniszczenia może nieść za sobą zapłon gazu po wycieku z instalacji. Wartości te, dla czynników chłodniczych zostały zaprezentowane na rys. 2. W tym wypadku także zdecydowanie lepiej wypadają czynniki z grupy A2L. Potencjalny wyciek oraz zapłon nie spowoduje tak dużych szkód jak wyciek i zapłon propanu czy izobutanu

Jedynym bezpiecznym czynnikiem chłodniczym pod względem zagrożenia wybuchowego jest R744 – dwutlenek węgla CO<sub>2</sub>, jednak posiada on inne ograniczenia:

- niska temperatura punktu krytycznego (30,4°C) – ogranicza znacznie stosowanie dwutlenku węgla w typowych instalacjach chłodniczych i klimatyzacyjnych,
- wysokie ciśnienia pracy (po stronie skraplacza ponad 100 bar).



Rys. 2. Ciepło spalania w funkcji prędkości spalania czynników chłodniczych.

Czynniki chłodnicze z grupy węglowodorów nie są rozwiązaniem niespotykanym obecnie w technice. Izobutan od lat 90. jest głównym czynnikiem wykorzystywanym w lodówkach na terenie Unii Europejskiej (ponad 90% rynku) [7,8]. Propan jest często spotykany w dużych instalacjach przemysłowych. Amoniak natomiast często można spotkać w dużych instalacjach przemysłu spożywczego.

Nowe regulacje sprzyjają rozwojowi innych technologii związanych ze zmniejszeniem zużycia energii [6, 9, 11], mniejszą emisją pyłów [10, 19] czy budową urządzeń chłodniczych innych niż sprężarkowe. W ostatnich latach powstaje wiele instalacji chłodzenia absorpcyjnego, adsorpcyjnego [5] czy z wykorzystaniem strumienic [16].

## 2. AKTY PRAWNE ORAZ NORMY REGULUJĄCE WYKORZYSTANIE PROPANU W INSTALACJACH KLIMATYZACYJNYCH TYPU SPLIT

Wymienia się dziewięć dokumentów (aktów prawnych i norm), które należy brać pod uwagę w aspekcie budowy i eksploatacji urządzeń i instalacji zawierających propan [22,23]. Dokumenty te zostały wymienione w tabeli 2. Po dokładnej analizie dokumentów okazuje się, że w większości przypadków,

ze względu na niewielką ilość czynnika chłodniczego, jakim jest propan, w urządzeniach typu split, ograniczenia ich nie dotyczą. Najważniejszym okazuje się norma PN-EN 378.

**Tabela 2.** Akty prawne i normy dotyczące materiałów łatwopalnych

Dokument	Opis
ISO 817:2014	Czynniki chłodnicze – Oznaczenie i klasyfikacja bezpieczeństwa
PN-EN 378	Instalacje ziębnicze i pompy ciepła – Wymagania dotyczące bezpieczeństwa i ochrony środowiska
PN-EN 60079	Atmosfery wybuchowe
PN-EN 60335	Elektryczny sprzęt do użytku domowego i podobnego – – Bezpieczeństwo użytkowania
ADR	Międzynarodowa konwencja dotycząca drogowego przewozu towarów i ładunków niebezpiecznych
Dz.U. 2003 nr 86 poz. 789	Ustawa z dnia 28 marca 2003 r. o transporcie kolejowym
Dz.U. 2010 nr 138 poz. 931.	Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 8 lipca 2010 r. w sprawie minimalnych wymagań, dotyczących bezpieczeństwa i higieny pracy, związanych z możliwością wystąpienia w miejscu pracy atmosfery wybuchowej.
Dz.U. 2015 poz. 881	Ustawa z dnia 15 maja 2015 r. o substancjach zubożających warstwę ozonową oraz niektórych fluorowanych gazach cieplarnianych
Rozporządzenie 517/2014	Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) nr 517/2014 z dnia 16 kwietnia 2014 r. w sprawie fluorowanych gazów cieplarnianych i uchylenia rozporządzenia (WE) nr 842/2006.

Norma PN-EN 378, mówi, że urządzenia o napełnieniu poniżej 150 gram można użytkować gdziekolwiek. Natomiast w większych instalacjach norma określa pojęcie maksymalnego napełnienia czynnikiem roboczym, które oblicza się zgodnie ze wzorem (1):

$$M = 2,5 \cdot LFL^{1,25} \cdot h \cdot A^{0,5} \quad (1)$$

gdzie:

$M$  – maksymalne napełnienie instalacji czynnikiem roboczym, kg;

$LFL$  – dolna granica wybuchowości, kg/m<sup>3</sup>; dla propanu LFL wynosi 0,038 kg/m<sup>3</sup>;

$h$  – wysokość zamontowania jednostki, m (0,6-jednostka podłogowa, 1,0 – jednostka okienna; 1,8 – jednostka ścienna; 2,2 – jednostka sufitowa);

$A$  – powierzchnia podłogi, m<sup>2</sup>.

Ograniczenia te dotyczą jedynie urządzeń znajdujących się w strefie ciągłego przebywania ludzi. Jeśli chodzi o instalacje przemysłowe, stosuje się również pozostałe przepisy wymienione w tabeli 2.

### 3. PROPAN W INSTALACJACH KLIMATYZACYJNYCH

W technice spotyka się trzy rodzaje systemów klimatyzacyjnych:

- Systemy typu split – jeden parownik znajduje się wewnątrz pomieszczenia, jeden skraplacz wraz ze sprężarką znajduje się na zewnątrz budynku.
- Systemy typu multisplit, VRV<sup>2</sup>, VRF<sup>3</sup> – na zewnątrz budynku znajduje się jednostka centralna, gdzie znajduje się skraplacz/skraplacze oraz sprężarka/sprężarki, do budynku czynnik chłodniczy doprowadzony jest jedną parą rur, a następnie jest on rozprowadzany do poszczególnych parowników.
- Systemy z czynnikiem pośredniczącym – właściwy układ chłodniczy – tak zwana wytwornica wody lodowej (chiller wody lodowej) znajduje się na zewnątrz budynku – natomiast do chłodnic (klimakonwektorów) znajdujących się wewnątrz pomieszczeń doprowadzana jest jedynie woda lodowa.

W przypadku systemów typu VRV ilość czynnika chłodniczego jest na tyle duża, że nie ma praktycznej możliwości zachować bezpieczeństwo w klimatyzowanych pomieszczeniach – stąd też w przypadku tych rozwiązań nie ma możliwości zastosowania węglowodorów jako czynników chłodniczych.

---

2 VRV – ang. *Variable Refrigerant Volume* – zmienna objętość czynnika chłodniczego.

3 VRF – ang. *Variable Refrigerant Flow* – zmienny przepływ czynnika chłodniczego.

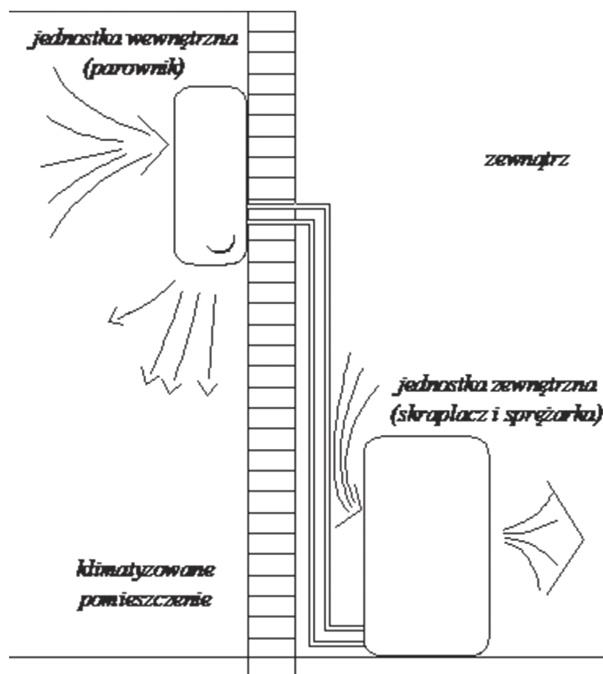
W przypadku systemów z wytwornicami wody lodowej, pomimo tego, że właściwy system chłodniczy nie ma połączenia z klimatyzowaną przestrzenią norma PN EN 378 [21], w przypadku klimatyzacji komfortu ludzi nakazuje stosować takie same limity, jak w przypadku instalacji tak zwanego bezpośredniego odparowania. Instalacje z wytwornicami wody lodowej zazwyczaj są dużymi systemami – powoduje to, że w tych instalacjach także nie da się zgodnie z obowiązującymi przepisami zastosować czynnika chłodniczych w postaci węglowodorów.

Z tego też powodu, w dalszej części pracy zostanie przeanalizowany układ typu split, wykorzystywany do klimatyzowania pomieszczenia. Urządzenie tego typu zostało przedstawione na rys. 3. Do analizy posłuży typowe urządzenie typu split służące do chłodzenia mieszkań czy powierzchni biurowych. Analizie zostanie poddana wymiana czynnika roboczego na propan [14]. W typowej instalacji typu split o mocy 2,7 kW znajduje się około 700 gram czynnika R410A. Moc chłodnicza na poziomie 2,7 kW wystarcza do klimatyzowania pomieszczeń o powierzchni około 20 m<sup>2</sup>, gdy okna są skierowane na południe lub zachód, a gdy okna są skierowane na wschód czy północ – powierzchnia pomieszczeń może sięgać nawet 40 m<sup>2</sup>. Obliczenia zostaną przeprowadzone dla pomieszczeń o mniejszej powierzchni – 20 m<sup>2</sup>. Urządzenia typu split są najczęściej montowane w trybie ściennym, bądź sufitowym – wynika to z korzystnej cyrkulacji powietrza. Zatem zakładając umiejscowienie ścienne, uzyskuje się maksymalne napełnienie na poziomie:

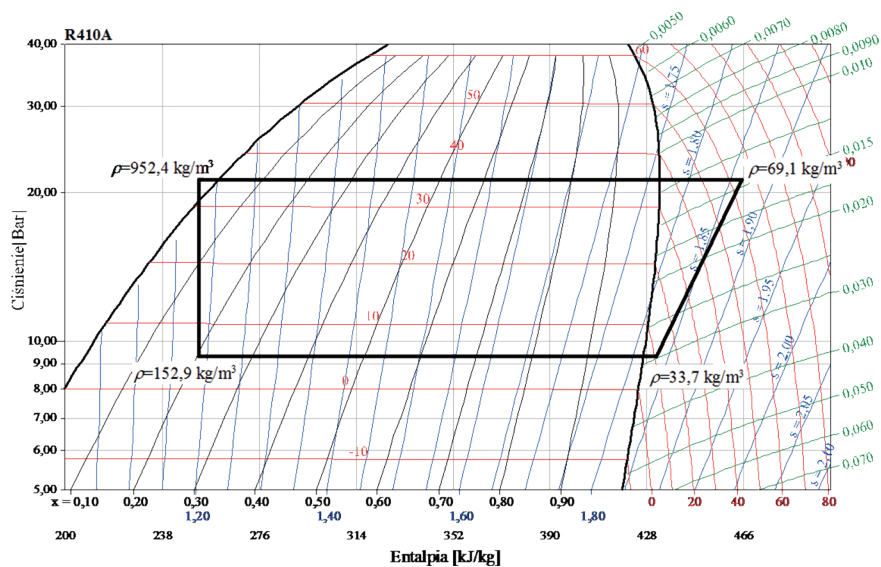
$$M = 2,5 \cdot 0,038^{1,25} \cdot 1,8 \cdot 20^{0,5} = 0,338 \text{ kg}$$

W celu porównania, jaka będzie różnica w napełnieniu tego samego układu czynnikiem R410A, a czynnikiem R290, sporządzono wykresy ln p-h dla obu tych czynników (rys. 4 i 5). W punktach charakterystycznych propan, w porównaniu z R410A posiada gęstość średnio mniejszą 2,59 razy, co powoduje, że można oszacować, że w urządzeniu, w którym było 700 gram R410A, będzie 271 gram propanu. Przedstawiony szacunek jest orientacyjny, gdyż dla każdego układu należałoby określić tę ilość eksperymentalnie, gdyż zależy ona od wielkości wymienników, wielkości płaszcza sprężarki oraz długości rurociągów pomiędzy parownikiem a jednostką zewnętrzną.

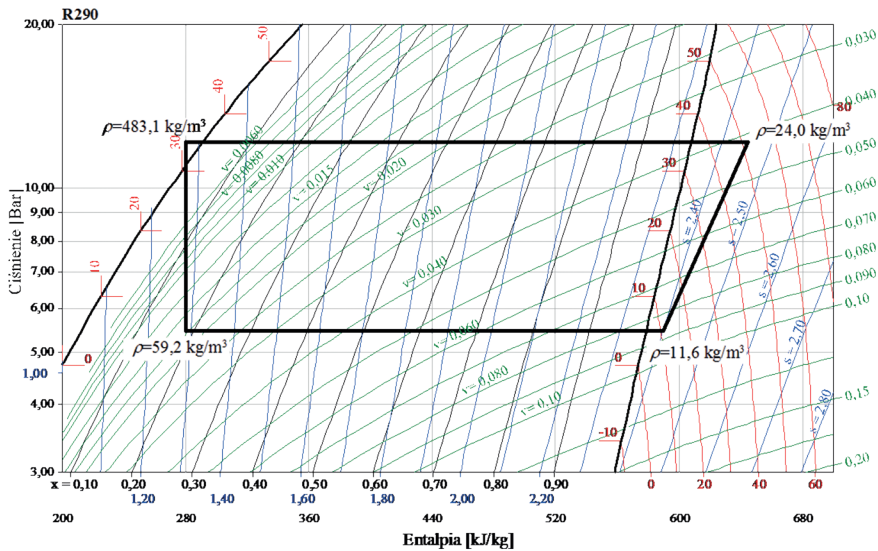




Rys. 3. Urządzenie klimatyzacyjne typu split ze ścienną jednostką wewnętrzną



Rys. 4. Obieg  $\ln p$ - $h$  czynnika R410A dla rozpatrywanego przypadku



Rys. 5. Obieg lnp-h czynnika R290 (propan) dla rozpatrywanego przypadku

Eksperymentalne badania dla takich czynników, jak R22, R404A, R407C pokazują, że ilość propanu w porównaniu z oryginalnym czynnikiem zmniejsza się od 4 do 5 razy [4]. Pozwala to przypuszczać, że w układzie, w którym zamieniono czynnik R410A na propan, jego ilość będzie jeszcze mniejsza niż oszacowane 271 gram.

Urządzenie z czynnikiem chłodniczym R410A o mocy chłodniczej na poziomie 2,7 kW charakteryzuje się objętościową wydajnością sprężarki na poziomie 1,6066 m<sup>3</sup>/h. Jeśli planowana jest wymiana czynnika chłodniczego w działającej instalacji na R290, wydajność objętościowa sprężarki pozostanie taka sama – wynika to z konstrukcji sprężarki. Jednak dla takiej samej wydajności objętościowej sprężarki, w układzie z R290, uda się uzyskać jedynie 1,601 kW mocy chłodniczej. W przypadku układu z propanem należy wymienić sprężarkę na taką, która będzie się charakteryzować większą wydajnością objętościową, aby uzyskać tę samą moc chłodniczą. Rozmiary wymienników mogą pozostać niezmienione. Wynika to z faktu, że współczynnik przewodzenia ciepła dla propanu jest większy niż dla R410A. Fakt ten spowoduje, że także ilość czynnika po wymianie sprężarki może pozostać na niezmiennym poziomie 271 gram.

#### 4. WNIOSKI

Przeprowadzona analiza pokazuje, że w małych instalacjach klimatyzacyjnych typu split, można bezpiecznie stosować czynnik chłodniczy, jakim jest propan, gdyż nawet wyciek całej ilości gazu nie stwarza zagrożenia wybuchowego. Istnieje zawsze jednak ryzyko, że w czasie prac serwisowych lub podczas utylizacji urządzenia dojdzie do miejscowego zapłonu gazu, więc należy te czynności wykonywać jedynie wykwalifikowany personel. Ilość czynnika chłodniczego w instalacji, w porównaniu z czynnikami obecnie stosowanymi, zmniejsza się od 2 do 5 razy. W przypadku analizowanej instalacji 700 gram R410A z powodzeniem może zastąpić 271 gram propanu. Prosta wymiana czynnika jeden na drugi w działającej instalacji powoduje jednak, że uzyskiwana moc chłodnicza spada o 41%. Zjawisko to sprawia, że moc chłodnicza może nie być wystarczająca do utrzymania komfortu cieplnego w pomieszczeniu. Ze względu na duże współczynniki przewodzenia ciepła propanu, wymienniki ciepła są wystarczającej wielkości. Wymiany wymaga jedynie sprężarka na jednostkę o większej wydajności objętościowej. Kolejnym istotnym zjawiskiem, na jakie należy zwrócić uwagę po wymianie czynnika chłodniczego na propan, jest fakt, że propan posiada gęstość niższą od gęstości oleju. Powoduje to, że transport oleju będzie przebiegał inaczej niż w standardowych układach z czynnikami syntetycznymi. W dużych instalacjach wymagałoby to przebudowy rurociągów i wymienników, w przypadku urządzeń typu split nie ma takiej potrzeby.

#### LITERATURA

- [1] Bartela L., Skorek-Osikowska A., Kotowicz J., An analysis of the investment risk related to the integration of a supercritical coal-fired combined heat and power plant with an absorption installation for CO<sub>2</sub> separation. *Applied Energy* 2015, 156, s. 423–435.
- [2] Bohdal T., Charun H., Sikora M., Empirical study of heterogeneous refrigerant condensation in pipe minichannels. *International Journal of Refrigeration* 2015, nr 59, s. 210–223.
- [4] Bohdal T., Widomska K., Sikora M., The analysis of thermal and flow characteristics of the condensation of refrigerant zeotropic mixtures in minichannels. *Archives of Thermodynamics* 2016, 37(2), s. 41–69.

- [5] Colbourne D., Huhren R.: Operation of split air conditioning systems with hydrocarbon refrigerant. A conversion guide for technicians, trainers and engineers. Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH – German International Cooperation – Programme Proklima, Eschborn, Germany, 2011.
- [6] Cyklis P., Two stage ecological hybrid sorption-compression refrigeration cycle. *International Journal of Refrigeration* 2014, 48, s. 121–131.
- [7] Gourbi A., Bousmaha I., Brahami M., Tilmatine A., Numerical Study of a Hybrid Photovoltaic Power Supply System. *Journal of Power Technologies* 2016, 96 (2), s. 137–144.
- [8] Grzebielec A.: Europa zmierza w kierunku naturalnych czynników chłodniczych. *Chłodnictwo* 2010, 9, s. 42–46.
- [9] Grzebielec A., Rusowicz A.: Kierunki rozwoju syntetycznych czynników chłodniczych w Europie. *Polska Energetyka Słoneczna* 2012, 1–4, s. 45–49.
- [10] Harmati N.L., Folić R.J., Magyar Z.F., Dražić J.J., Kurtović-Folić N.L., Buildingenvelope Influence on The Annual Energy Performance in Office Buildings. *Thermal Science* 2016, 20(2), s. 679–693.
- [11] Kukfiś B., Półka M., Salamonowicz Z., Woliński M.: Badania inertyzacji mieszanin pyłowo powietrznych. *Przemysł Chemiczny* 2014, 93(1), s. 103–106.
- [12] 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* 2016, 103, s. 528–536.
- [13] Ruciński A., Rusowicz A., Grzebielec A.: Czynniki chłodnicze w transporcie samochodowym – aspekty prawne i techniczne. *Logistyka* 5 (2014) 1303–1309.
- [14] Ruciński A., Rusowicz A., Grzebielec A., Jaworski M.: Wycofywanie czynników chłodniczych i ich bezpieczna utylizacja. *Logistyka* 2016, 1, s. 116–22.
- [15] Rusowicz A., Grzebielec A., Aspekty prawne i techniczne zmiany czynników chłodniczych w instalacjach chłodniczych i klimatyzacyjnych. *Czasopismo Inżynierii Lądowej, Środowiska i Architektury, JCEEA* 2015, vol. XXXII, nr 62 (1/15).
- [16] Rusowicz A., Grzebielec A., Ruciński A., Ocena zagrożeń związanych z wykorzystywaniem naturalnych czynników chłodniczych. *Logistyka* 2014, 5, s. 1310–1316.

- [17] Smierciew K., Butrymowicz D., Kwidziński R., Przybyliński T., Analysis of application of two-phase injector in ejector refrigeration systems for isobutane. *Applied Thermal Engineering* 2015, 78, s. 630–639.
- [18] Spatz M., Minor B.: HFO-1234yf A Low GWP Refrigerant For MAC. Honeywell / DuPont Joint Collaboration. SAE World Congress – Detroit, Michigan, April 14–17, 2008.
- [19] Szczucka-Lasota B.: Opracowanie stanowiska do przeprowadzenia testów korozyjnych. *Aparatura Badawcza i Dydaktyczna* 19 (2014) 303–308.
- [20] Szwałt M., Szwałt Z.: A Mathematical Model of Membrane Gas Separation with Energy Transfer by Molecules of Gas Flowing in a Channel to Molecules Penetrating this Channel from the Adjacent Channel. *Chemical and Process Engineering* 2015, 36(2), s. 151–169.
- [21] Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) nr 517/2014 z 16 kwietnia 2014 r. w sprawie fluorowanych gazów cieplarnianych i uchylenia rozporządzenia (WE) nr 842/2006.
- [22] PN-EN 378: Instalacje ziębnicze i pompy ciepła – Wymagania dotyczące bezpieczeństwa i ochrony środowiska.
- [23] Rozporządzenie Ministra Gospodarki z 8 lipca 2010 r. w sprawie minimalnych wymagań, dotyczących bezpieczeństwa i higieny pracy, związanych z możliwością wystąpienia w miejscu pracy atmosfery wybuchowej (DzU 2010 nr 138 poz. 931).
- [24] BRA: Guide to Flammable Refrigerants, 2012.
- [25] Honeywell, Solstice ze refrigerant (HFO-1234ze). The Environmental Alternative to traditional refrigerants. 2014.
- [26] The Japan Society of Refrigerating and Air Conditioning Engineers: Risk Assessment of Mildly Flammable Refrigerants, April 2014.