

**Kasper GÓRNY\***, **Przemysław TYCZEWSKI\***,  
**Wiesław ZWIERZYCKI\***

## **PROBLEM POWSTAWANIA MIESZANINY OLEJU SMAROWEGO I CZYNNIKA CHŁODNICZEGO W WĘZŁACH TARCIA SPRĘŻAREK CHŁODNICZYCH**

**THE PROBLEM OF MIXING THE LUBRICATING OIL  
AND REFRIGERANT IN FRICTION NODES  
OF REFRIGERATION COMPRESSORS**

### **Słowa kluczowe:**

węzły tarcia, sprężarki chłodnicze, mieszanina oleju smarowego z czynnikiem chłodniczym

### **Key words:**

nodes of friction, cooling compressors, mixture of lubricant oil with refrigerant

### **Streszczenie**

Olej chłodniczy mający za zadanie smarowanie sprężarek oprócz podstawowych funkcji, czyli odprowadzania ciepła powstającego w szczelinach

---

\* Politechnika Poznańska, Instytut Maszyn Roboczych i Pojazdów Samochodowych,  
ul. Piotrowo 3, 60-965 Poznań, tel. (61)665 22 37.

smarowniczych, przeciwdziałania zużyciu się współpracujących elementów i uszczelniania przestrzeni roboczej sprężarki, powinien w odpowiedni sposób zachowywać się w kontakcie z czynnikiem chłodniczym. W węzłach tarcia sprężarek chłodniczych najczęściej znajduje się mieszanina oleju smarowego i czynnika chłodniczego, która w zależności od zmiennych parametrów roboczych (ciśnienie, temperatura i skład mieszaniny) może przyjmować postać: dwóch cieczy wzajemnie mieszalnych, dwóch cieczy stanowiących niemieszalne fazy (rozwarstwionych) oraz oleju w fazie ciekłej i czynnika chłodniczego w postaci pary nasyconej.

Zużywanie elementów sprężarek zależy od rodzaju mieszaniny smarującej węzły tarcia. W artykule przedstawiono problematykę wpływu zmienności parametrów roboczych w węzłach tarcia na rodzaj mieszaniny smarującej oraz przegląd sporządzanych charakterystyk stanowiących podstawę do określania jakości mieszaniny smarującej.

## WPROWADZENIE

Specyficzne warunki pracy układów chłodniczych oraz dostępne konstrukcje sprężarek chłodniczych powodują, iż powstawanie mieszanin olejów sprężarkowych i czynników chłodniczych jest nieuniknione. Obecnie, gdy wycofano z użytkowania w roku 1987, zgodnie z Protokołem Montrealskim, substancje zawierające chlor i niszczące ozon (CFC i HCFC) również poddano krytyce czynniki fluorowe (takie jak R134a, R404A i in.) w związku z ich oddziaływaniem na efekt cieplarniany, kluczowym problemem stało się powstawanie mieszaniny oleju smarowego i czynnika chłodniczego w węzłach tarcia sprężarek chłodniczych. Zastosowanie alternatywnych czynników chłodniczych, jak amoniak ( $\text{NH}_3$ , R717), izobutan (R600a) i dwutlenek węgla ( $\text{CO}_2$ , R744) przybiera na znaczeniu. Ponadto do dyspozycji w chłodnictwie pozostają takie węglowodory, jak np. propan (R290), propylen (R1270) oraz mieszanina amoniaku z eterem dwumetylowym (R723). Te czynniki pokrywają szeroki zakres zastosowań w chłodnictwie.

Zasadniczo zaleca się stosowanie rozpuszczalnych mieszanin olej/czynnik chłodniczy, aby dzięki rozpuszczalności oleju w czynniku (przy odpowiednio dobrej mieszalności oleju i ciekłego czynnika chłodniczego) zapewnić powrót do sprężarki oleju zawieszzonego w czynniku chłodniczym. Z drugiej jednak strony nawet niewielkie zawartości czynnika w oleju smarowym są zanieczyszczeniem, które powoduje zmniejszenie lepkości tych substancji, a w konsekwencji przekroczenie mini-

malnej grubości warstwy smaru zapewniającej odpowiednią nośność. Graniczna wartość niezbędnej lepkości roboczej w większości sprężarek chłodniczych wynosi od 8 do 10 mm<sup>2</sup>/s. Wartość ta może bardzo szybko spaść na skutek rozpuszczenia czynnika chłodniczego w oleju [L. 1].

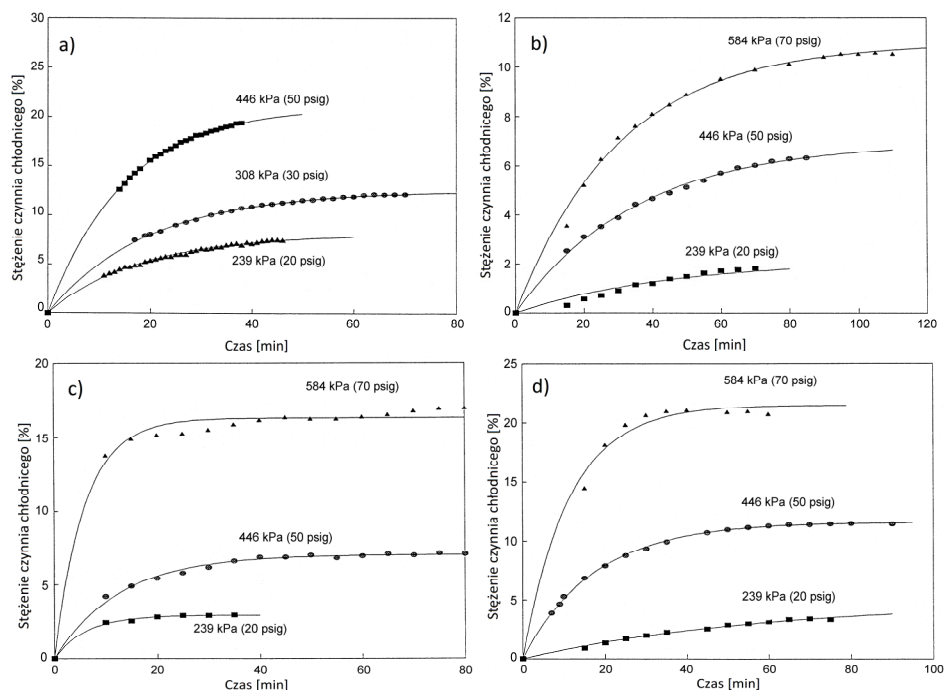
### **MIESZANINA OLEJ SMAROWY– CZYNNIK CHŁODNICZY W WĘZŁACH TARCIA SPRĘŻAREK CHŁODNICZYCH**

W tej części przedstawiono problematykę wpływu zmienności parametrów roboczych w węzłach tarcia na rodzaj mieszaniny oleju smarowego i czynnika chłodniczego smarującej węzły tarcia w sprężarkach chłodniczych. W przypadku krytycznych parametrów obie substancje mogą występować w homogenicznej fazie gazowej, jednak w przypadku parametrów roboczych sprężarek chłodniczych taki stan nie występuje. Możliwe jest natomiast, iż w sprężarkach chłodniczych będą współistnieć dwie niemieszalne fazy. Dla parametrów pracy sprężarek chłodniczych można wyeliminować występowanie fazy gazowej oleju sprężarkowego, natomiast czynnik chłodniczy bardzo często przyjmuje taką postać. W związku z tym, iż faza gazowa w układzie olej–czynnik to czysty czynnik chłodniczy, istnieje charakterystyczna zależność pomiędzy ciśnieniem, temperaturą a składem mieszaniny.

W przypadku obecnie stosowanych płynów eksploatacyjnych mieszanina oleju smarowego i czynnika chłodniczego może być uznana za mieszaninę zeotropową. Jak już wspomniano, fazę gazową stanowi czysty czynnik chłodniczy, natomiast ciekły składnik mieszaniny stanowi olej smarowy, który pomimo charakteru wieloskładnikowego będzie traktowany w tym przypadku jako jeden składnik. Takie założenie jest słuszne dla parametrów roboczych sprężarek chłodniczych.

Cechą indywidualną mieszaniny oleju sprężarkowego i czynnika chłodniczego jest zdolność oleju do absorbowania czynnika chłodniczego. Praca w cyklu automatycznym start/stop sprężarek chłodniczych powoduje, iż w węzłach tarcia mających bezpośredni kontakt ze sprężonym czynnikiem chłodniczym może dochodzić do absorbowania czynnika przez olej podczas postoju sprężarki. Koncentracja czynnika w oleju ściśle zależy od ciśnienia czynnika oraz od czasu postoju sprężarki (**Rys. 1**).

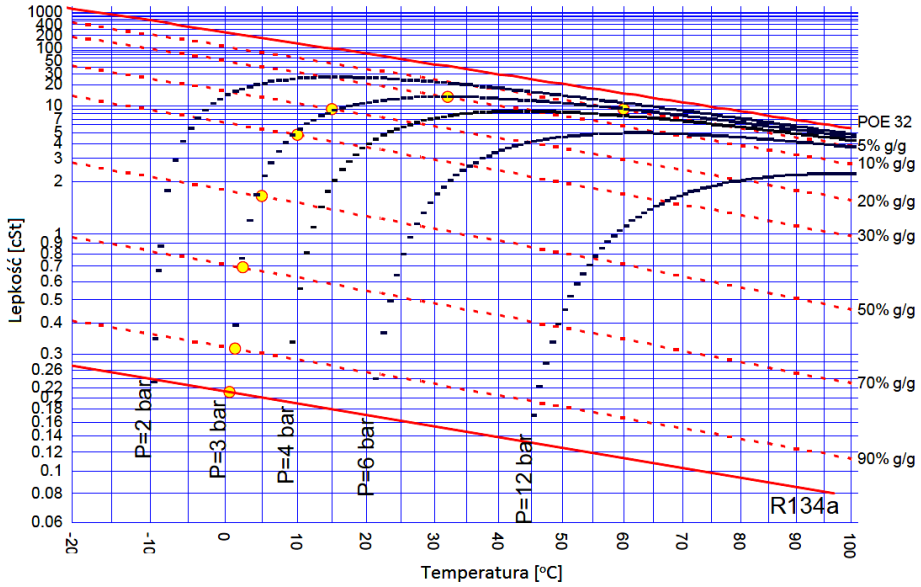
Zachowanie różnych czynników chłodniczych w kontakcie z tym samym olejem smarowym (**Rys. 1**) wskazuje na konieczność ciągłego monitorowania jakości mieszaniny oleju smarowego z czynnikiem chłodniczym w węzłach tarcia sprężarek chłodniczych.



**Rys. 1. Absorpcja czynnika chłodniczego w oleju smarowym POE ISO 68 w temperaturze pokojowej dla: a) R134a, b) R404A, c) R410A, d) R407C [L. 2]**

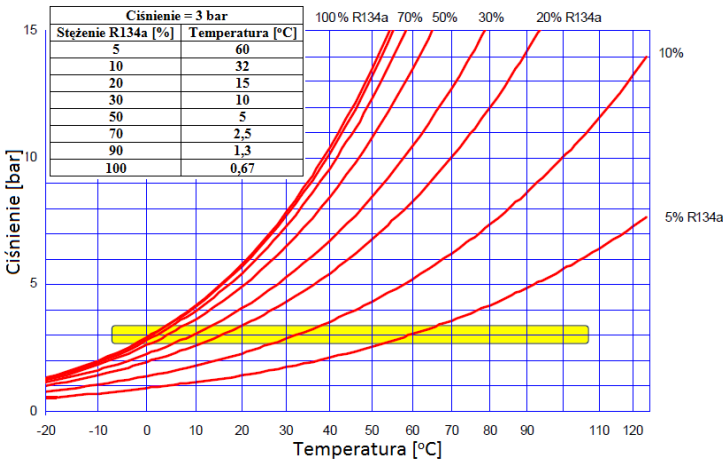
Fig. 1. Absorption of different refrigerants in POE ISO 68 oil at room temperature: a) R134a, b) R404A, c) R410A, d) R407C [L. 2]

Niezwykle istotną właściwością, w miejscach gdzie olej smarowy tworzy film olejowy, jest jego lepkość kinematyczna. W sprężarkach chłodniczych mieszaniną smarującą węzły tarcia jest najczęściej olej zanieczyszczony czynnikiem chłodniczym. Czynnik chłodniczy jest substancją, która zmniejsza lepkość smaru, co w konsekwencji stwarza ryzyko przerwania filmu olejowego i bezpośredniego kontaktu współpracujących elementów, co powoduje przyspieszone zużywanie ich powierzchni. Konstruktorzy sprężarek chłodniczych oraz ich użytkownicy powinni być świadomi zachowania mieszaniny smarowej w warunkach pracy sprężarek chłodniczych. W tym celu zaleca się opracowywanie tzw. wykresów Daniela, które stanowią zależność lepkości w funkcji temperatury, ciśnienia i koncentracji czynnika chłodniczego w oleju smarowym (**Rys. 2**). Organizacja ASHRAE opracowuje aktualnie wspomniane wykresy Daniela dla czynników z grupy hydrofluoro-olefin (HFO).



Rys. 2. Wykres Daniela dla mieszaniny oleju POE ISO 32 z czynnikiem chłodniczym R134a [L. 3]

Fig. 2. Daniel chart for mixture of POE ISO 32 oil and R134a [L. 3]



Rys. 3. Charakterystyka ciśnienia w funkcji temperatury dla określonych stężeń czynnika R 134a w oleju POE ISO 32 [L. 3]

Fig. 3. Characteristics of pressure versus temperature for certain concentrations of R 134a in POE ISO 32 [L. 3]

W celu określenia stężenia czynnika chłodniczego w oleju sprężarkowym można posłużyć się również charakterystykami ciśnienia w funkcji temperatury dla określonych stężeń czynnika w mieszaninie (**Rys. 3**).

Korzystając z tego typu wykresów można określić (z pewną dokładnością) zawartość czynnika chłodniczego w oleju, znając jedynie temperaturę i ciśnienie mieszaniny. Istotnym problemem jest jednak brak bazy tego typu wykresów dla stosowanych w chłodnictwie płynów eksploatacyjnych, co powoduje konieczność systematycznego ich opracowywania.

### **BADANIE SKŁADU MIESZANINY SMARUJĄCEJ WĘZŁY TARCIA W SPRĘŻARKACH CHŁODNICZYCH**

Skład mieszaniny smarowej węzłów tarcia sprężarek chłodniczych w sposób dokładny można sprawdzać w warunkach laboratoryjnych. Implementacja oprzyrządowania pomiarowego do rzeczywistych obiegów chłodniczych może stanowić zbyt dużą ingerencję w konstrukcje takich układów. Istotne jest więc sporządzanie charakterystyk, z których poprzez łatwo „mieralne” parametry (ciśnienie i temperaturę) mieszaniny smarowej będzie można odczytać jej skład (stężenie czynnika chłodniczego) i lepkość.

Wykorzystując stanowisko do badania absorpcji czynnika chłodniczego przez olej smarowy (**Rys. 4a**) można wyznaczyć ilość czynnika chłodniczego, która zostanie zaabsorbowana przez olej w wyniku oddziaływania ciśnieniem w stałej temperaturze. Autorzy pracy [**L. 2**] wykorzystali naczynie aluminiowe z pomiarem siły, do którego wlewali olej smarowy w ilości 2 g ( $\pm 10$  mg). Następnie do komory dostarczano czynnik chłodniczy do momentu, aż osiągnięto zadaną wartość ciśnienia (239, 446 lub 584 kPa), poniżej temperatury nasycenia czynnika chłodniczego. Badanie przeprowadzano w temperaturze pokojowej ( $24 \pm 1^\circ\text{C}$ ). W takich warunkach czekali, aż masa mieszaniny ustabilizuje się i skończy się proces absorpcji.

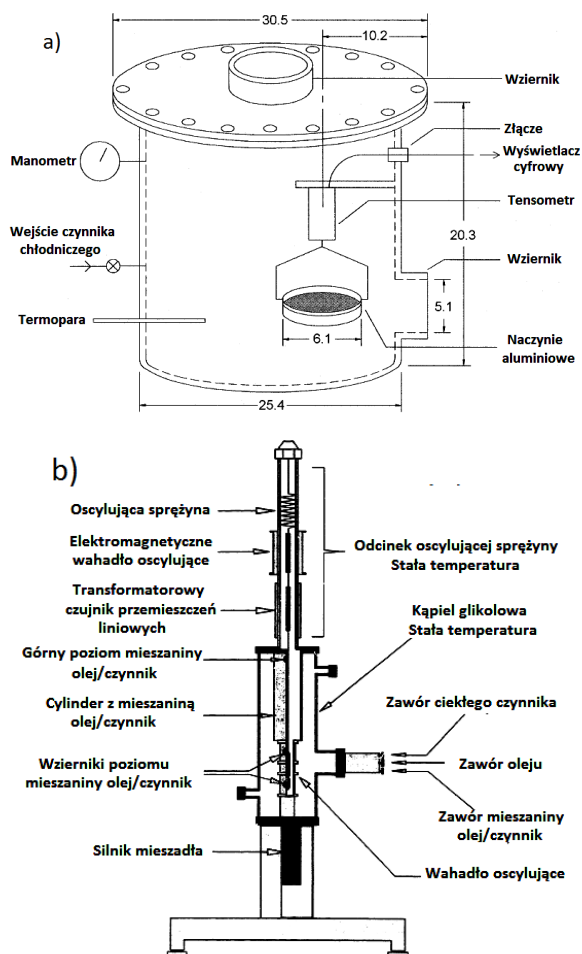
Wyznaczenie stężenia zaabsorbowanego czynnika chłodniczego wyznaczano z zależności [**L. 2**]:

$$x = \frac{m_r}{m_r + m_l} \times 100\% \quad (1)$$

gdzie:  $x$  – stężenie czynnika w mieszaninie [%],

$m_r$  – masa zaabsorbowanego czynnika chłodniczego [g],

$m_l$  – masa oleju [g].



Rys. 4. Stanowisko do badania: a) absorpcji czynnika chłodniczego przez olej smarowy [L. 2], b) lepkości mieszaniny pod ciśnieniem [L. 4]

Fig. 4. Apparatus to measurement: a) absorption of refrigerant in lubricant oil [L. 2], b) viscosity of pressured mixture [L. 4]

Błąd pomiaru obliczano według wzoru [L. 4]:

$$w_x = \sqrt{\left(\frac{\partial x}{\partial m_r} w_r\right)^2 + \left(\frac{\partial x}{\partial m_l} w_l\right)^2} \quad (2)$$

gdzie:  $w_r$  – niepewność pomiaru przyrostu masy, ( $\pm 45$  mg),  
 $w_l$  – niepewność pomiaru masy oleju, ( $\pm 10$  mg).

Ostatecznie obliczano stężenie z dokładnością  $w_x = \pm 2\%$ .

Inną aparaturę badawczą zaproponowali autorzy pracy [L. 4]. Zmodernizowany lepkościomierz (**Rys. 4b**) składa się z urządzenia właściwego (z wahadłem wprawianym w ruch oscylujący poprzez zewnętrzny elektromagnes) umieszczonego w cylindrze napełnionym mieszaniną oleju smarowego i czynnika chłodniczego. W celu uzyskania stałej wartości temperatury cylinder z mieszaniną jest umieszczony w kąpeli glikolowej. Spadek amplitudy wprawionego w ruch wahadła, którego pomiar jest realizowany poprzez transformatorowy czujnik przemieszczeń liniowych, jest miarą lepkości mieszaniny oleju smarowego i czynnika chłodniczego. Im szybszy spadek amplitudy, tym wyższa lepkość badanej mieszaniny. Za pomocą przyrządu pomiarowego badany jest zakres lepkości dynamicznej w zakresie 0, 1 do 1800 cP.

Po pomiarze lepkości następuje pomiar stężenia czynnika w mieszaninie. Pomiar następuje, dla zadanych parametrów ciśnienia i temperatury, po ustaleniu stanu równowagi (monitorowanie ciśnienia mieszaniny) i realizowany jest metodą wagową. Procedura pomiarowa składa się z 7 następujących po sobie kroków:

1. Przygotowanie i zważenie dwóch pustych ampulek o objętości z korkami gumowymi.
2. Czyszczenie przez przedmuchiwanie czynnikiem kapilary do napełniania ampulek mieszaniną z lepkościomierza.
3. Odessanie powietrza z ampulek, napełnianie ich mieszaniną z lepkościomierza i ich zważenie wraz z jednakowymi korkami gumowymi.
4. Usunięcie z mieszaniny czynnika chłodniczego poprzez umieszczenie ampulek z mieszaniną w kolektorze próżniowym i podgrzewanie.
5. Ważenie ampulek (wraz z korkami gumowymi) zawierających olej po usunięciu czynnika chłodniczego.
6. Obliczenie stężenia czynnika w mieszaninie z obu ampulek ze wzoru:

$$x = \frac{m_r}{m_m} \times 100\% = \frac{m_{am} - m_{ao}}{m_{am} - m_a} \times 100\% \quad (3)$$

gdzie:  $x$  – stężenie czynnika w mieszaninie [%],

$m_r$  – masa czynnika chłodniczego [g],

$m_m$  – masa mieszaniny [g],

$m_{ao}$  – masa ampulki z korkiem wypełnionej olejem [g],

$m_{am}$  – masa ampulki z korkiem wypełnionej mieszaniną [g],

$m_a$  – masa pustej ampulki z korkiem [g].



7. Porównanie wyników z dwóch ampułek. W przypadku różnicy, przekraczającej 1% w stężeniu z dwóch ampułek, powraca się do kroku 4.

Obie przedstawione metody pomiaru stężenia czynnika chłodniczego w mieszaniu z olejem smarowym mogą zostać wykorzystane do opracowania bazy danych w postaci wykresów składu mieszaniny w funkcji temperatury i ciśnienia. Zebrane dane pozwolą na określenie jakości mieszaniny w węzłach tarcia poprzez pomiar podstawowych parametrów pracy sprężarek chłodniczych.

## PODSUMOWANIE

Konstrukcja powszechnie stosowanych sprężarek chłodniczych sprawia, iż nieuniknione jest powstawanie mieszaniny olejów sprężarkowych z czynnikami chłodniczymi w węzłach tarcia. Obecność czynnika chłodniczego w oleju sprężarkowym powoduje pogorszenie jego własności smarnych, a w konsekwencji przyspieszenie zużycia sprężarek chłodniczych. Przedstawione w artykule sposoby ustalania stężenia czynnika chłodniczego w oleju smarowym oraz pomiar lepkości mieszaniny tych substancji stanowią podstawę metodyki przygotowywania mieszanin do badań tribologicznych. Układ przygotowywania mieszaniny oleju i czynnika chłodniczego będzie częścią opracowywanego stanowiska do badań tribologicznych elementów sprężarek chłodniczych.

Problematyka wpływu zmienności parametrów roboczych w węzłach tarcia na rodzaj mieszaniny oleju smarowego i czynnika chłodniczego smarującej węzły tarcia w sprężarkach chłodniczych stanowi jeden z głównych problemów eksploatacyjnych instalacji chłodniczych.

Planowane badania tribologiczne mogą wypełnić istniejącą lukę w wiedzy o eksploatacji sprężarek chłodniczych oraz pozwolą poznać właściwości niezbadanych dotychczas mieszanin płynów eksploatacyjnych tworzących się w rzeczywistych urządzeniach. Efektem użytkowym tych badań będzie zwiększenie trwałości sprężarek chłodniczych poprzez odpowiedni dobór płynów eksploatacyjnych do warunków panujących w rzeczywistych urządzeniach chłodniczych.

## LITERATURA

1. Puhl Ch., Bock W.: Oleje dla naturalnych czynników chłodniczych, „Chłodnictwo i Klimatyzacja”, nr 3/2007.
2. Leung M., Jotshi C.K., Goswami D.Y., Shah D.O. and Gregory A.: Measurements of absorption rates of hfc single and blended refrigerants in POE oils, “HVAC&R Research”, 4: 2/1998, p. 141–151.
3. Seeton Ch.: Estimation of refrigerant-oil mixture viscosities for alternative refrigerants using solubility data, ASHRAE Winter Meeting, Chicago 2006.
4. Cavestri R.C.: Measurement of viscosity, density, and gas solubility of refrigerant blends in selected synthetic lubricants, Quarterly Report Prepared for The Air-Conditioning and Refrigeration Technology Institute in Dublin, Ohio, July 1 to September 30, 1993.
5. Yamamoto Yuji, Gondo Seigo and Kim Joonghyum: Solubility of HFC134a in Lubricants and Its Influence on Tribological Performance, „Tribology Transactions”, 44: 2/2001, p. 209–214.
6. Moise’s A., Marcelino Neto, Jader R. Barbosa Jr: Absorption of isobutene (R-600a) in lubricant oil, Chemical Engineering Science 66/2011, p. 1906–1915.

**Recenzent:**  
**Elżbieta ROGOŚ**

## Summary

**Lubricant oil in refrigeration installation should fulfil some basic requirements (lubrication, sealing, cooling parts). Moreover, lubricant oil should behave in an appropriate way to in contact with the refrigerant. In friction nodes of refrigeration compressors is almost always the mixture of lubricant oil with refrigerant. The form of this mixture depends on a few parameters like temperature pressure and mixture composition. The mixture can consist of two miscible liquid phases, two immiscible liquid phases, or gas refrigerant dissolved in liquid lubricant oil.**

**The wear value of moving parts in refrigeration compressors depends on the type of mixture that lubricates friction nodes. This paper presents the influence of changing parameters on the type of refrigerant with lubricant oil mixture as well as different charts to define the quality of this mixture.**