

# OCENA TECHNICZNO-EKONOMICZNA SKUTKÓW MONTAŻU CHŁODNIC I SKRAPLACZY O OBNIŻONYCH CHARAKTERYSTYKACH PRACY W PORÓWNANIU DO URZĄDZEŃ CERTYFIKOWANYCH

**inż. Umberto MERLO**

Laboratorium Badań i Rozwoju, LU-VE

## 1. WPROWADZENIE

Zainstalowanie w urządzeniu chłodniczym, wentylatorowej chłodnicy powietrza, czy skraplacza o mniejszej wydajności niż wydajność certyfikowanych wymienników, zmienia warunki ich działania na gorsze. W takim przypadku urządzenie chłodnicze osiąga inne niż założone warunki równowagi w odniesieniu do wartości temperatury parowania i skraplania (parowanie jest niższe, a skraplanie wyższe). W takich warunkach dla zagwarantowania temperatury ustalonej w projekcie komory, dodatkowo wydłuży się czas pracy sprężarki przy jednoczesnym niższym osiąganym współczynniku COP.

W artykule przeanalizowano dwa przypadki działania urządzenia, jeden odnoszący się do komory z niską temperaturą, drugi z temperaturą wysoką. W obydwu przypadkach obliczono koszty pracy wykorzystując urządzenia z certyfikowanymi wydajnościami i urządzenia posiadające obniżone charakterystyki pracy.

## 2. PROCES LOGICZNY

W laboratorium badawczo-rozwojowym firmy LU-VE (Uboldo) opracowano model obliczeniowy będący efektem wielu badań eksperymentalnych. Dla działania systemu chłodzenia podczas przejściowych warunków pracy, obliczono wielkości charakterystyczne dla parownika, takie jak wydajność chłodnicza, przepływ powietrza, grubość szronu, zapotrzebowanie energii, współczynnik COP, czas i sprawność odszraniania, a także koszt pracy dla trzech głównych elementów układu: sprężarki, wentylatorów (skraplaczy i chłodnic powietrza) oraz procesu odszraniania.

Podstawowe założenia przyjęte w modelu obliczeniowym:

- o stała temperatura środowiska chłodzonego (komora chłodnicza),
  - o stała temperatura środowiska zewnętrznego do którego ciepło jest oddawane,
  - o energia pobrana przez wentylatory rozłożona w czasie.
- Średnie odchyłki pomiędzy wartościami eksperymentalnymi

i symulowanymi są następujące:

- wydajność chłodnicza pod koniec cyklu tworzenia się szronu:  $\pm 3,3\%$ ,
- przepływ powietrza pod koniec okresu tworzenia się szronu:  $\pm 6,1\%$ .

Rysunek 1 obrazuje zmiany wydajności chłodniczej i jej zestawienie z DT1 (różnica pomiędzy temperaturą w komorze i temperaturą parowania), w czasie tworzenia się szronu. Z kolei rysunek 2 przedstawia zmianę grubości warstwy szronu tworzącego się na lamelach i opory przepływu powietrza przez blok lamelowy.

Postępowanie, w którym przeanalizowane zostaną zmiany warunków działania systemu, opierają się na działaniu modelowego urządzenia chłodniczego i będą to:

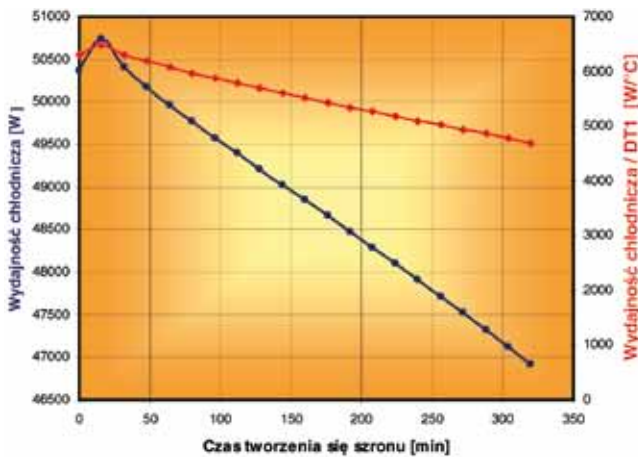
- A. zmiany temperatury parowania i skraplania,
- B. zmniejszenie wydajności chłodniczej zapewnionej realnie przez sprężarkę,
- C. zmiany czasu pracy sprężarki,
- D. wzrost zużycia energii przez:
  - wentylatory parownika i skraplacza,
  - sprężarkę,
  - obniżenie wydajności chłodniczej wynikające z tworzenia się warstwy szronu,
- E. wzrost kosztów pracy:
  - wentylatorów,
  - sprężarki,
  - tworzenia się warstwy szronu.

Opracowania dla różnych modeli działania zostały wykonane biorąc pod uwagę stałą energię użytkową, tj. wartość netto odprowadzoną z przyjętej dla warunków symulacji komory chłodniczej, określoną poprzez odliczenie od wydajności chłodniczej, energii wprowadzonej przez wentylatory oraz energii wprowadzanej podczas odszraniania chłodnicy.

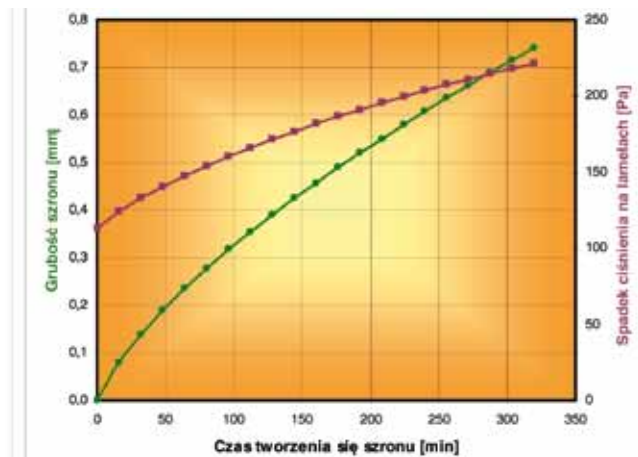
## 3. ANALIZA

### A. Zmiany temperatury parowania i skraplania

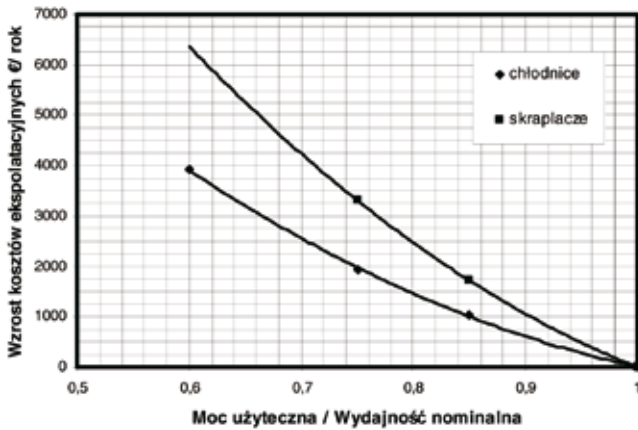
Można stwierdzić, że dla wymiennika ciepła stosunek po-



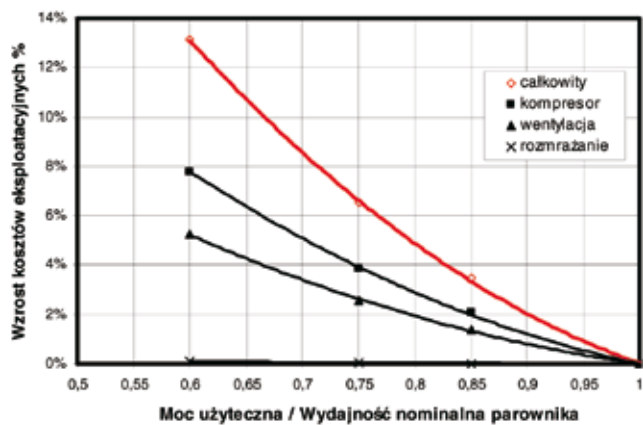
Rys. 1



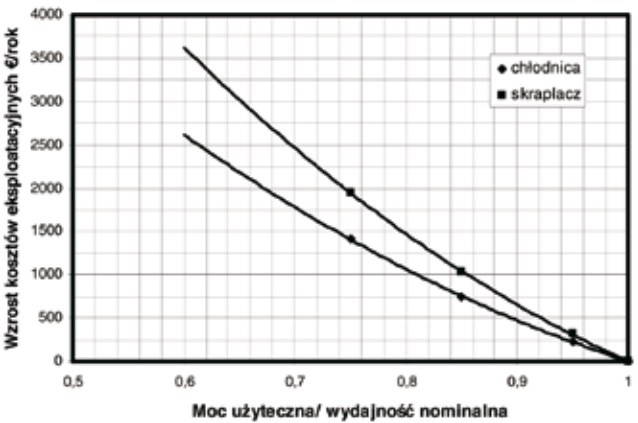
Rys. 2



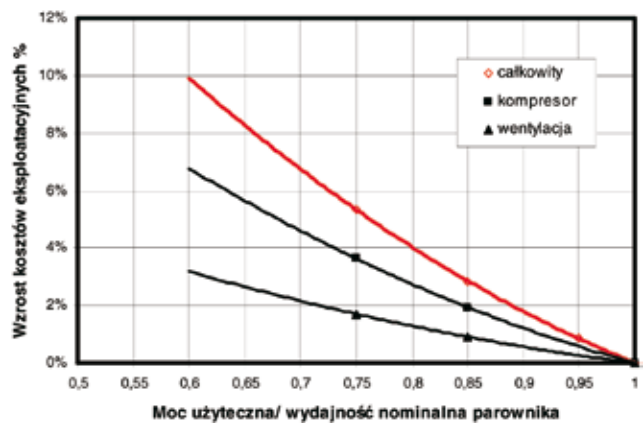
Rys. 3



Rys. 4



Rys. 5



Rys. 6

między wydajnością chłodniczą i DT jest niezmienny, czyli  $P/DT = \text{constans}$ . To powoduje, że np. w chłodnicy o mniejszej wydajności podczas jej działania, wzrasta DT1 i co za tym idzie, następuje obniżenie temperatury parowania. To samo ma miejsce w przypadku skraplacza, gdzie wzrost DT podnosi temperaturę skraplania.

**B. Zmniejszenie wydajności chłodniczej**

Z powodu wzrostu DT1, sprężarka o stałej wydajności objętościowej powoduje obniżenie ciśnienia ssania, a zatem i gęstości zassanego czynnika chłodniczego.

go. W związku z tym, że wydajność chłodnicza sprężarki jest proporcjonalna do masowego przepływu czynnika, zmniejszenie gęstości przy stałym przepływie objętościowym prowadzi do zmniejszenia jej wydajności chłodniczej. To obniżenie wydajności chłodniczej wyznacza nowy punkt równowagi, o wydajności niższej od nominalnej.

**C. Wzrost liczby godzin pracy sprężarki**

Wydajność chłodnicza sprężarki o stałej wydajności objętościowej jest proporcjonalna do czasu jej działania. Wraz

		Przypadek A	Przypadek B
		Odszranianie	Praca na sucho
Temp. komory / otoczenie zewnętrzne	°C	-18/+25	+10/+30
Temp. parowania / skraplania nominalne	°C	-25/+40	0/+42
Nominalna wydajność chłodnicza	kW	50	92
Wydajność cieplna skraplacza	kW	81	123
Koszt pracy urządzeń certyfikowanych	€/rok	29.818	26.417
Koszt pracy urządzeń "nie certyfikowanych" (z wydajnością cieplną mniejszą o 25 %)	€/rok	34.882	29.739
Wzrost kosztu pracy	€/rok	<b>5.064 (+17,0%)</b>	<b>3.322 (+12,6%)</b>

Tabela 2

Hipotetyczny koszt zakupu urządzenia certyfikowanego	€	15.000	14.300
Hipotetyczny koszt zakupu urządzenia „niecertyfikowanego”	€	12.000	11.500
Hipotetyczna oszczędność (pomiędzy urządzeniami certyfikowanymi i "niecertyfikowanymi")	€	3.000	2.800
Wzrost kosztu pracy po 10 latach użytkowania	€	<b>50.640</b>	<b>33.220</b>
Dodatkowe opłaty z tytułu większego zużycia energii elektrycznej w porównaniu do pozornej oszczędności początkowej		<b>17razy (50.640/3.000)</b>	<b>12razy (33.220/2.800)</b>

z obniżeniem temperatury parowania, w celu zapewnienia tej samej wydajności chłodniczej niezbędnej w komorze chłodniczej, sprężarka musi pracować dłużej.

#### D. Wzrost zużycia energii

Wynika on z dwóch elementów, a mianowicie większego jej zużycia przez wentylatory chłodnic powietrza i skraplaczy, co jest wynikiem dłuższego czasu ich działania oraz większego zużycia energii przez sprężarkę również jako efektu jej dłuższego czasu pracy.

#### 4. WYNIKI BADAŃ

Rysunki 3 i 5 obrazują wzrost kosztów działania dla chłodnicy powietrza i dla skraplacza w zależności od zmian ich wydajności rzeczywistej w odniesieniu do wydajności certyfikowanej. W sytuacji, gdy brakuje wydajności w obydwu wymiennikach, mamy do czynienia z nakładaniem się efektów, tzn. z sumą dwóch różnic w kosztach. Rysunki 4 i 6 przedstawiają wzrost procentowy kosztów działania dla pojedynczych elementów, w zależności od zmiany użytecznej wydajności chłodniczej pojedynczej chłodnicy powietrza.

Przypadek A pokazany na rysunkach 3 i 4 odnosi się do pracy urządzenia chłodniczego w warunkach szronienia powierzchni chłodnicy:

- temperatura w komorze: -18°C,
- nominalna temperatura parowania: -25°C,
- temperatura zewnętrzna: 25°C,
- nominalna temperatura skraplania: 40°C,
- nominalna wydajność chłodnicza: 50 kW,
- liczba cykli odszraniania chłodnicy w ciągu dnia: 3,
- koszt energii elektrycznej: 0,12 €/kWh.

Na podstawie rysunku 3 można określić zwiększenie kosztu eksploatacji w ciągu roku skraplacza o wydajności rzeczywistej niższej o 25% w porównaniu do wartości

nominalnej. Na wykresie należy odnaleźć wartość odciętej 0,75 i odczytać rzędną odpowiadającą kosztowi równemu 3300 €/rok. Podobnie dla chłodnicy także z niższą wydajnością na poziomie 25%, wzrost kosztu jej użytkowania wyniesie 1950 €/rok. Natomiast analizując rysunek 4, w przypadku samej chłodnicy powietrza o „deficycie” wydajności na poziomie 25%, na odciętej z wartości 0,75 otrzymuje się na rzędnej wzrost procentowy kosztu pracy na poziomie 6,5% w porównaniu z chłodnicą powietrza o wydajności nominalnej. Wartość 6,5% jest sumą trzech elementów: wzrostu kosztów z tytułu pracy sprężarki 3,9%, wentylatorów 2,5% i operacji odszraniania 0,1% (ta ostatnia wartość jest mało znacząca, ponieważ została określona przez porównanie z użyteczną wydajnością chłodniczą w komorze, czyli równą obciążeniu cieplnemu związanemu z obecnością szronu na powierzchni chłodnicy powietrza.

Przypadek B przedstawiony na rysunkach 5 i 6 odnosi się do pracy urządzenia chłodniczego pracującego bez szronienia, czyli realizującego chłodzenie suche:

- temperatura w komorze: 10°C,
- nominalna temperatura parowania: 0°C,
- temperatura wewnętrzna: 30°C,
- nominalna temperatura skraplania: 42°C,
- nominalna wydajność chłodnicza: 92 kW,
- koszt energii elektrycznej: 0,12 €/kWh.

#### 5. WNIOSKI

Wydajność chłodnicza podczas właściwego przechowywania produktów i ekonomiczne warunki pracy instalacji chłodniczej są konsekwencją odpowiedniego projektu instalacji, a w szczególności właściwego doboru jej podstawowych elementów w oparciu o dane katalogowe producentów. Niestety praktyka pokazuje, że charakterystyki urządzeń podawane w katalogach są „bardzo optymistyczne”, a to oznacza, iż są o 20, a nawet 40% lepsze

w porównaniu z osiąganymi w warunkach rzeczywistego ich działania. Rzetelność danych katalogowych producentów uległa znacznej poprawie wraz z wprowadzeniem odpowiednich dla tych aparatów certyfikatów.

Producenci poprzez wykonywanie prób i analiz charakterystyk pracy w różnych wyspecjalizowanych i niezależnych laboratoriach (takich jak np. TUV), mogą certyfikować produkt i mają obowiązek podać odchyłkę pomiędzy danymi katalogowymi, a wielkościami rzeczywistymi z tolerancją do 8 % dla projektu, produkcji i próby.

Przy założeniu zakupu urządzenia "niecertyfikowanego" o koszcie inwestycyjnym o 20 % niższym w porównaniu do urządzeń certyfikowanych, po 10 latach ich eksploatacji, porównanie kosztów przedstawia tabela 2.

Jak można zauważyć z powyższego zestawienia, dla przypadku A pozorna oszczędność przy zakupie równa **3000 €**, to **50640 €**, w trakcie użytkowania instalacji (odpowiada to 17-krotnej wielkości pozornej oszczędności inwestycyjnej). W przypadku B pozorna oszczędność przy zakupie równa **2800 €**, to **33220 €**, w trakcie użytkowania instalacji (co odpowiada 12-krotnej wielkości pozornej oszczędności inwestycyjnej). Ponadto w przypadku A, działanie produktów "niecertyfikowanych" powoduje większy koszt eksploatacyjny o wartości **50640 €**, równy 4,2 krotności kosztu zakupu tych urządzeń. Natomiast

w przypadku B eksploatacja produktów "nie certyfikowanych" powoduje większy koszt eksploatacyjny na poziomie **33220 €**, równy 2,9 krotności kosztu ich zakupu.

Zastosowanie produktów posiadających gorsze charakterystyki pracy od urządzeń certyfikowanych o potwierdzonych wydajnościach nie tylko powoduje dużo większe opłaty podczas ich pracy, ale również jest szkodliwe z punktu widzenia ochrony środowiska (większe zużycie energii i większa emisja dwutlenku węgla sięgająca 15,2 t CO<sub>2</sub>/rok (przypadek A) i 10,0 t CO<sub>2</sub>/rok (przypadek B)). Stąd też właściwy zakup podstawowych elementów urządzenia chłodniczego jest korzystny wówczas, gdy bierze się pod uwagę nie tylko koszty zakupu urządzeń, ale również złożone koszty ich cyklu pracy. Warto pamiętać, że zastosowanie produktów certyfikowanych daje projektantom, instalatorom i użytkownikom finalnym gwarancję właściwej realizacji założeń projektowych instalacji oraz optymalnych warunków przechowywania składowanych w komorach chłodniczych produktów.

