

# Obniżona charakterystyka pracy chłodziń i skraplaczy

Analiza konsekwencji techniczno-ekonomicznych wynikających z obniżenia charakterystyki w stosunku do warunków nominalnych

Umberto MERLO<sup>\*)</sup>

Zainstalowanie w systemie chłodniczym urządzenia, zarówno chłodziń powietrza jak i skraplacza, o niższej wydajności niż wskazana w katalogu (nominalna), zmienia warunki działania urządzenia na dużo gorsze. W takim przypadku, układ chłodniczy osiąga inne niż założone warunki równowagi odnośnie wartości temperatury parowania i skraplania. Parowanie jest w niższej, a skraplanie w wyższej temperaturze. W tych niekorzystnych warunkach, w celu zagwarantowania temperatury ustalonej w projekcie komory chłodniczej, dodatkowo wydłuży się czas pracy sprężarki przy jednoczesnym obniżeniu COP.

W artykule zostaną przeanalizowane 2 przypadki działania instalacji. Pierwszy odnoszący się do komory z niską temperaturą, drugi z wysoką. W obydwu przypadkach zostaną obliczone koszty pracy z wykorzystaniem urządzeń z certyfikowanymi wydajnościami i urządzeń „niecertyfikowanych”, posiadających niższe charakterystyki pracy od nominalnych.

## Proces logiczny

W laboratorium badawczo-rozwojowym LU-VE S.p.A (Uboldo) został opracowany i rozwinięty specjalny model obliczeniowy – owoc wielu prób eksperymentalnych – w oparciu o który zostały przeprowadzone badania i testy porównawcze pracy chłodziń i skraplaczy w warunkach normalnych i o obniżonej charakterystyce.

Dla warunków działania cyklu chłodniczego podczas przebiegów przejściowych pracy, oblicza się parametry termodynamiczne parownika, takie jak: wydajność, przepływ powietrza, grubość szronu, energia chłodnicza, COP, czas i sprawność rozmrażania itp., ale również koszt pracy dla trzech głównych elementów: sprężarki, wentylatorów (skraplacze i chłodzińce powietrza) i ewentualnie rozmrażania.

Podstawowe założenia zastosowane w modelu obliczeniowym są następujące:

- stała temperatura środowiska chłodzonego (komora mroźnicza);
- stała temperatura środowiska do którego ciepło jest oddawane (środowisko zewnętrzne komory);

■ 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:  $\pm 6,1\%$ .

Postępowanie logiczne, w którym zostaną przeanalizowane zmiany warunków działania systemu, bazuje na działaniu



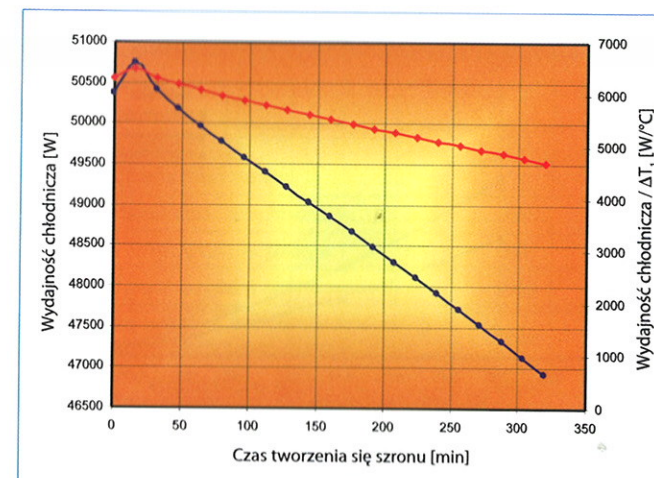
hipotetycznego urządzenia chłodniczego i bada następujące elementy:

- zmiany temperatury parowania i skraplania;
- redukcję wydajności chłodniczej dostarczonej realnie przez sprężarkę;
- wzrost czynnika użytkowania (liczba realnych godzin pracy dzień/24 h), tzn. liczba godzin działania sprężarki;
- wzrost zużycia energii:
  - wentylatory: parownik i skraplacz;
  - sprężarka;
  - braki wydajności wynikające z ewentualnego tworzenia się szronu;

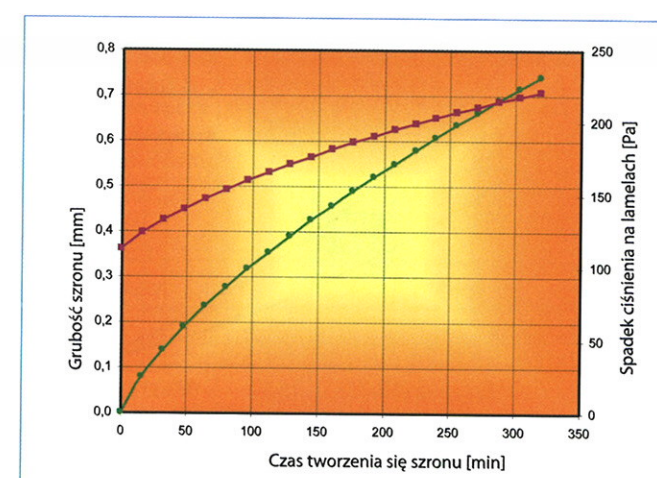


AUTOR

<sup>\*)</sup> inż. Umberto MERLO - Laboratorium Badań & Rozwoju, LU-VE S.p.A.



Wykres 1. Przebieg wydajności chłodniczej i jej zestawienie z  $\Delta T_1$  (tzn. różnica pomiędzy temperaturą komory a temperaturą parowania), w czasie tworzenia się szronu



Wykres 2. Zmiana grubości szronu tworzącego się na lamelach i związane z tym straty ciśnienia

- wzrost kosztów pracy:
  - wentylatory;
  - sprężarka;
  - ewentualne tworzenie się szronu.

Zestawienia w różnych modelach działania, są wykonane biorąc pod uwagę stałą energię użytkową tj. wartość netto usuniętą z hipotetycznej komory chłodniczej. Wartość ta jest wyznaczona poprzez odjęcie od energii wprowadzonej do układu, energii przeznaczonej na potrzeby pracy wentylatorów i odmrażania (równą energii zużytej podczas rozmrażania pomnożoną razy  $(1-\eta_{\text{rozmrażanie}})$ ).

## Analiza

### A. Zmiany temperatury parowania i skraplania

Można stwierdzić, iż dla wymiennika ciepła, stosunek pomiędzy wydajnością i  $\Delta T$  jest średnio niezmienny:

$$Q / \Delta T = \text{constans}$$

Powoduje to przykładowo w chłodnicy – w przypadku zbyt małej wydajności podczas działania – wzrost  $\Delta T_1$ , czyli zmniejszenie temperatury parowania. Wzrost  $\Delta T_1$  poprawia wymianę ciepła rekomendując w części niską wydajność działania,  $\Delta T$  w konsekwencji się zwiększa, podnosząc temperaturę skraplania.

### B. Zmniejszenie wydajności chłodniczej

Z powodu wzrostu  $\Delta T_1$ , sprężarka o stałej wydajności rejestruje zmniejszenie ciśnienia ssawnego i gęstości zassanego czynnika chłodniczego. W związku z tym, iż wydajność chłodnicza sprężarki jest bezpośrednio proporcjonalna do masowego przepływu czynnika, zmniejszenie gęstości przy stałym przepływie objętościowym prowadzi do redukcji wydajności chłodniczej sprężarki. Obniżenie wydajności chłodniczej wyznacza nowy punkt równowagi, z wydajnością całkowitą niższą od nominalnej.



### C. Wzrost liczby godzin działania sprężarki

Energia chłodnicza dostarczona przez sprężarkę o stałej wydajności jest bezpośrednio proporcjonalna do wydajności chłodniczej. Wraz ze zmniejszeniem temperatury parowania, w celu dostarczenia tej samej energii chłodniczej zużycie w komorze, sprężarka musi działać przez dłuższy czas.

### D. Wzrost zużycia energii

Wzrost zużycia energii wynika z 2 elementów:

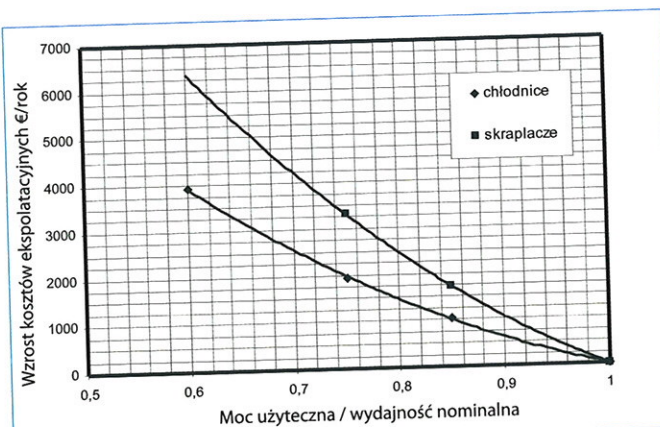
- większego zużycia energii przez wentylatory (chłodzińce powietrza i skraplacze) wynikające z dłuższego czasu działania;
- większego zużycia energii przez sprężarkę dla dłuższego czasu działania; taki efekt jest przeważający w stosunku do niewielkiego zmniejszenia się pochłoniętej energii elektrycznej, wynikającego z nowego punktu pracy.

### E. Wzrost kosztów dodatkowych w ciągu roku

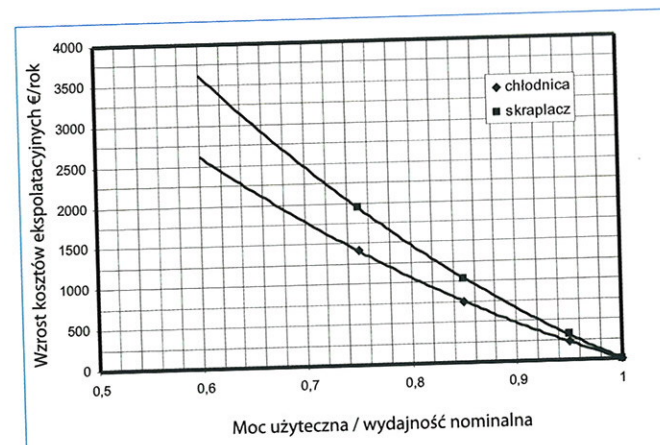
Wartościując wzrosty zużycia energii i porównując je z wartością rynkową chłodzińcy powietrza, rejestruje się różny przebieg w stosunku moc użyteczna/wydajność nominalna. Im wydajność chłodnicza jest większa, tym bardziej zwiększa się istota wzrostu rocznych kosztów eksploatacji tak







Wykres 3



Wykres 5

w wartości absolutnej, jak i w porównaniu z wartością rynkową urządzenia.

### Wyniki badań

Wykresy na rysunkach 3 i 5 wskazują wzrost kosztów działania – oddzielnie dla chłodnicy powietrza i dla skraplacza, zależnie od zmian ich mocy użytecznej w stosunku do nominalnej (danych katalogowych). W przypadku, w którym brakuje wydajności w obydwu wymiennikach, mamy do czynienia z sumą dwóch różnic w kosztach w stosunku do wydajności nominalnej. Wykresy na rysunkach 4 i 6 pokazują natomiast wzrost procentowy kosztów działania dla pojedynczych elementów w zależności od zmiany mocy użytecznej pojedynczej chłodnicy powietrza.

Przypadek A wskazany na wykresach numer 3 i 4 odnosi się do pracy jednego obiegu chłodniczego w warunkach oszronienia:

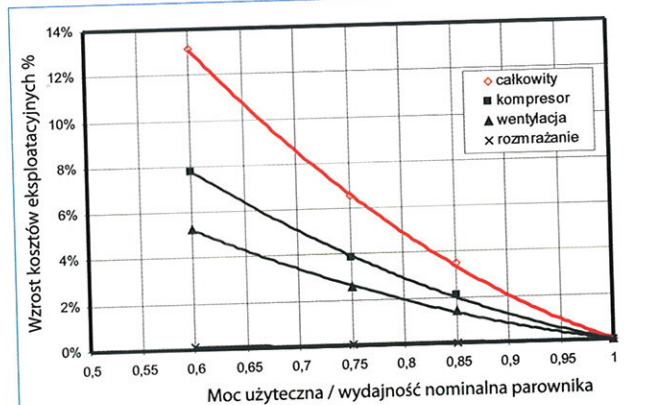
- temperatura komory: -18°C,
- temp. nominalna parowania: -25°C,
- temp. otoczenia zewnętrznego: 25°C,
- temp. nominalna skraplania: 40°C,
- nominalna wydajność chłodnicza: 50 kW.

- liczba cykli rozmrażania w ciągu dnia: 3,
- koszt energii elektrycznej: 0,12 €/kWh.

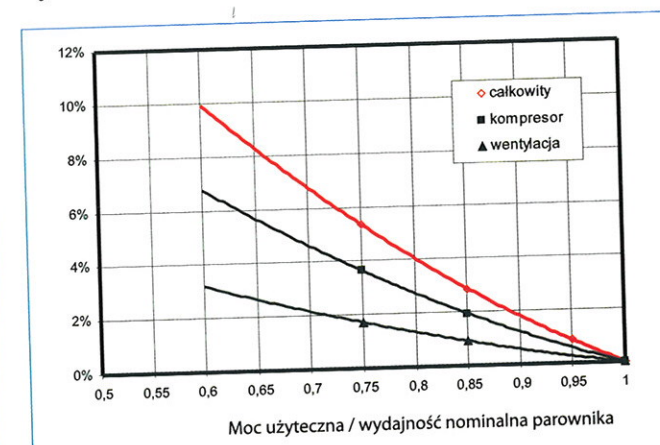
Przykładowo, biorąc pod uwagę wykres numer 3, można określić zwiększenie kosztu pracy w ciągu roku, w przypadku skraplacza z mocą użyteczną niższą o 25% w stosunku do wartości nominalnej. Aby tego dokonać należy wejść w wykres zaczynając od wartości odczytanej 0,75 i odczytać rzędną odpowiadającą kosztowi równemu 3300 €/rok. Dla chłodnicy z deficytem wydajności 25%, wzrost kosztu pracy wyniósłby około 1950 €/rok.

Zatem w kategoriach wzrostu kosztów utrzymania, przy jednakowym braku wydajności, skraplacz ma mniejszy wpływ na koszty eksploatacyjne niż chłodnica.

Analizując natomiast wykres numer 4, w przypadku samej chłodnicy powietrza o deficycie wydajności 25%, wchodząc na odczyt z wartością 0,75, otrzymuje się na rzędnej wzrost procentowy kosztu pracy równy 6,5% w porównaniu z przypadkiem chłodnicy powietrza, która dostarcza moc nominalną.



Wykres 4



Wykres 6

Wartość całkowita 6,5% jest sumą trzech elementów: wzrostu z tytułu sprężarki 3,9%, wentylatorów 2,5% i rozmrażania 0,1% (ta ostatnia wartość jest mało znacząca, ponieważ została przeanalizowana w porównaniu z użyteczną energią chłodniczą usuniętą z komory, czyli równą obciążeniu szronem na powierzchni chłodnicy powietrza).

Przypadek B przedstawiony na wykresie numer 5 i 6 odnosi się do pracy jednego obiegu chłodniczego w warunkach suchych:

- temperatura komory: 10°C,
- temp. nominalna parowania: 0°C,
- temp. otoczenia zewnętrznego: 30°C,
- temp. nominalna skraplania: 42°C,
- nominalna wydajność chłodnicza: 92 kW,
- koszt energii elektrycznej: 0,12 €/kWh.

### Wnioski

Wydajność podczas właściwego przechowywania produktów i ekonomia pracy instalacji chłodniczej są owocem odpowiedniego projektu instalacji, a w szczególności

Tabela 1. Koszty pracy urządzeń dla przypadku A i B			
		Przypadek A Oszronianie	Przypadek B Praca na sucho
Temp. komory / otoczenie zewnętrzne	°C	-18/+25	+10/+30
Temp. parowania / skraplania nominalne	°C	-25/+40	0/+42
Nominalna moc chłodnicza	kW	50	92
Wydajność skraplacza	kW	81	123
Koszt pracy urządzeń certyfikowanych	€/rok	29 818	26 417
Koszt pracy urządzeń "nie certyfikowanych" (z wydajnością termiczną mniejszą o 25 %)	€/rok	34 882	29 739
Wzrost kosztu pracy	€/rok	5064 (+17,0%)	3322 (+12,6%)

Tabela 2. Zestawienie kosztów zakupu i kosztów pracy w okresie 10 lat		
	Przypadek A	Przypadek B
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”)	3000	2800
Wzrost kosztu pracy po 10 latach użytkowania	50 640	33 220
Dodatkowe opłaty z tytułu większego zużycia energii elektrycznej w stosunku do pozornej oszczędności początkowej	17 razy (50 640/3000)	12 razy (33 220/2800)

gólności właściwego doboru komponentów na bazie danych katalogowych od dostawców.

Praktyka branży, przyjęta na całym świecie dla dostawców urządzeń typu chłodnice powietrza i skraplacze, charakteryzowała się dostarczaniem „bardzo optymistycznych” danych dotyczących charakterystyk pracy z odchyleniem od 20 aż do 40% nadwyżki w porównaniu z rzeczywistymi parametrami. Uczciwość dostawców bardzo się poprawiła wraz z wprowadzeniem certyfikatów. Producenti poprzez wykonywanie prób i analiz charakterystyk pracy w różnych wyspecjalizowanych i niezależnych laboratoriach (takich jak np. TÜV), mogą certyfikować produkt i mają obowiązek podać odchyłkę pomiędzy danymi katalogowymi a rzeczywistymi, z tolerancją aż do 8% dla projektu, produkcji i próby.

Niniejszy artykuł podkreśla, że sprawdzi się wybór podyktowany uzupełnionym katalogiem.

Porównanie kosztów przy założeniu zakupu urządzenia „niecertyfikowanego” o koszcie inwestycyjnym o 20% niższym w stosunku do urządzeń certyfikowanych, po 10 latach pracy zawarto w tabeli 2.

Jak można zauważyć dla przypadku A pozorna oszczędność przy zakupie równa 3000 €, to koszt 50 640 € dodatkowo w trakcie użytkowania instalacji (odpowiada to 17-krotnej wielkości pozornej oszczędności inwestycyjnej).

W przypadku B pozorna oszczędność przy zakupie równa 2800 € to 33 220 € dodatkowo 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 50 640 €, równy 4,2 krotności kosztu zakupu produktów.

W przypadku B, działanie produktów „niecertyfikowanych” generuje większy koszt eksploatacyjny o wartości 33 220 € równy 2,9-krotności kosztu zakupu produktów.

Zastosowanie produktów posiadających gorsze charakterystyki pracy od nominalnych, nie tylko powoduje dużo większe opłaty podczas cyklu pracy produktu, ale również jest szkodliwe z punktu widzenia ochrony środowiska (większe zużycie energii i większa emisja CO<sub>2</sub> w powietrzu: 15,2 ton CO<sub>2</sub>/rok (przypadek A) i 10,0 ton CO<sub>2</sub>/rok (przypadek B)).

Reasumując, rozróżnienie i zoptymalizowany zakup jest korzystny, gdy bierze się pod uwagę nie tylko koszty zakupu urządzeń, ale również złożone koszty ich cyklu pracy. Ponadto, zastosowanie produktów certyfikowanych zapewni projektantom, instalatorom i użytkownikom finalnym gwarancję właściwej realizacji założeń projektowych instalacji oraz optymalnych warunków przechowywania zamrożonych produktów spożywczych.

### SKORZYSTAJ ZE SZKOLEŃ...

#### Centralny Ośrodek Chłodnictwa COCH w Krakowie Sp. z o.o.

- F-gazy urządzenia stacjonarne
- Klimatyzacja samochodowa
- Certyfikacja kompetencji B
- Budowa, obsługa i eksploatacja klimatyzatorów typu „split”
- Kurs początkowy dla ubiegających się o świadectwo kwalifikacji w zakresie postępowania z substancjami kontrolowanymi
- Szkolenie w zakresie budowy, obsługi i eksploatacji mebli i małych instalacji chłodniczych

tel.: (012) 637 09 33  
e-mail: sekretariat@coch.pl  
www.coch.pl

#### Krajowe Forum Chłodnictwa regionalne Centra Szkoleń i Certyfikacji Gdańsk: Gdańskie Centrum Szkoleń i Certyfikacji Krajowego Forum Chłodnictwa

- Modułowy system szkoleń – Świadectwo Kwalifikacji: szkolenie dla osób dokonujących naprawy i obsługi technicznej urządzeń i instalacji chłodniczych zawierających substancje kontrolowane oraz obrotu tymi substancjami.
- Szkolenie w ramach modułowego systemu – moduł CH-3: SPRĘŻARKI CHŁODNICZE: budowa + działanie + użytkowanie.
- Szkolenie w ramach modułowego systemu – moduł PC: Budowa i działanie sprężarkowych pomp ciepła.
- Szkolenie w ramach modułowego systemu – moduł CH-d: AMONIAKALNE URZĄDZENIA CHŁODNICZE – bezpieczeństwo dla obsługi, otoczenia oraz środowiska naturalnego

MASTA tel.: (058) 522 64 70  
masta@masta.com.pl, www.tchik.com.pl

#### Poznań: Poznańskie Centrum Szkoleń i Certyfikacji Krajowego Forum Chłodnictwa

- KLIMATYZACJA (MSSz) – Montaż i eksploatacja urządzeń klimatyzacyjnych. Montaż, obsługa, konserwacja, naprawy i pomiary kontrolne urządzeń klimatyzacyjnych
- CHŁODNICTWO (MSSz) – Montaż i eksploatacja urządzeń chłodniczych. Montaż, obsługa, konserwacja, naprawy i pomiary kontrolne urządzeń chłodniczych
- POMPY CIEPŁA (MSSz) – Budowa i zastosowanie, sprężarkowych pomp ciepła. W systemach grzewczych i klimatyzacyjnych.
- OZONOWE – KURS POCZĄTKOWY dla osób dokonujących napraw i obsługi technicznej urządzeń i instalacji chłodniczych zawierających substancje kontrolowane oraz obrotu tymi substancjami

SYSTHERM tel.: (061) 850 75 50  
e-mail: monika.biskup@syssherm.pl  
www.syssherm.pl

#### Katowice: Śląskie Centrum Szkoleń i Certyfikacji Krajowego Forum Chłodnictwa

- Kurs na Świadectwo Kwalifikacji w zakresie substancji kontrolowanych

Śląskie Centrum Chłodnictwa i Klimatyzacji  
tel.: (032) 348 13 44, 249 64 36  
e-mail: centrum@chlodnictwo.com.pl  
www.chlodnictwo.com.pl

#### Instytut Europeistyki w Warszawie

- Kurs na Audytora i Doradcę Energetycznego.
- Kurs odbywa się w czasie 2 kolejnych weekendów od piątku (godziny popołudniowe) do niedzieli.

tel/fax: (022) 457 23 58, (022) 457 23 40  
e-mail: biuro@instytut-europeistyki.eu  
www.instytut-europeistyki.eu

#### Polsko-Japońskie Centrum Efektywności Energetycznej (PJCEE)

- Energoszczędna eksploatacja gazowych i olejowych kotłów przemysłowych
- Odwadnianie systemów parowych
- Efektywne układy wentylacji i klimatyzacji

Warszawa tel.: (022) 825 86 92, 234 52 42  
e-mail: pjcee\_szkolenia@kape.gov.pl  
www.pjcee.pl