

INNOWACYJNE ODSZRANIANIE ZA POMOCĄ CIEPŁEGO GLIKOLU PRZEMYSŁOWYCH CHŁODNIC POWIETRZA SERII CHS I LHS

inż. Umberto MERLO
Laboratorium Badań & Rozwoju
LU-VE S.p.A

WPROWADZENIE

W 2005 roku firma LU-VE S.p.A – europejski lider w dziedzinie produkcji wymienników ciepła dla chłodnictwa, klimatyzacji oraz zastosowań przemysłowych – wprowadziła na rynek przemysłowe chłodnice powietrza serii CHS i LHS, charakteryzujące się żebrowanymi lamelami. Nowa seria posiada dużą gamę modeli i wariantów konstrukcyjnych, dzięki czemu jest w stanie zaspokoić wszelkie wymagania projektantów przemysłowych instalacji chłodniczych. W 2006 roku firma wprowadziła i rozwinęła innowacyjny system odszraniania wykorzystujący ciepły glikol dla chłodnic powietrza oraz dla cieczowych chłodnic powietrza serii LHS (matryca kwadratowa). Ciepły glikol rozprowadzany jest w wydzielonym pomocniczym obiegu w układzie lamel i w tacy ociekowej, w taki sposób, aby odszranianie charakteryzowało się wysoką wydajnością, zmniejszonymi kosztami eksploatacyjnymi, a także redukcją zastosowanej do tego celu mocy elektrycznej.

OPIS NOWEGO SYSTEMU ODSZRANIANIA

System rozmrażania ciepłym glikolem polega na wykorzystaniu ciepła zgromadzonego w zbiorniku glikolu ogrzanego za pomocą części ciepła skraplania (zazwyczaj wystarcza tylko ciepło przegrzania sprężonych par czynnika na tłoczeniu sprężarki). Podczas realizacji typowego obiegu chłodniczego, ciepło to jest oddawane w skraplaczu. W tym przypadku za pośrednictwem dodatkowego wymiennika jest ono gromadzone w zbiorniku glikolu i stopniowo wykorzystywane do odszraniania chłodnic. W ten sposób nie następuje marnowanie energii, natomiast dodatkowo wykorzystujemy niewielką ilość energii elektrycznej do pracy pomp obiegowych glikolu.

Odszranianie chłodnic powietrza lub cieczowych chłodnic powietrza odbywa się w całości poprzez użycie ciepłego glikolu, zarówno jeśli chodzi o blok lamel, tacę ociekową, jak i kolektory zasilające dla obiegów chłodniczych. Wówczas zasilanie elektryczne konieczne jest tylko dla silników wentylatorów. Jak to zostanie opisane później,



ten rodzaj odszraniania wymaga instalacji nieco bardziej złożonej, tak więc o wyższym koszcie w porównaniu do klasycznego odszraniania elektrycznego, ale okres zwrotu poniesionych kosztów, jak zobaczymy w dalszej części artykułu, jest krótki.

Ogólnie rzecz biorąc, z typowego projektowo-termodynamicznego punktu widzenia, możemy wskazać niektóre parametry charakterystyczne dla tego systemu odszraniania.

Temperatura roztworu wodnego glikolu etylenowego (stężenie dostosowane do zimowej temperatury obliczeniowej w miejscu instalacji), może zmieniać się od około 30°C do 50°C, przy wykorzystaniu tylko ciepła przegrzania sprężonych par (zazwyczaj 20 % całkowitego ciepła skraplania). Przepływ glikolu w obiegu określa się w oparciu o różnicę temperatur pomiędzy wejściem a wyjściem (ok. 5÷20 K) oraz stratę ciśnienia ok. 50 kPa.

Zakładając 25% zasrzenie bloku lamel, można określić czas rozmrażania i w konsekwencji wydajność termiczną konieczną do przeprowadzenia odszraniania ciepłym glikolem, co pozwala na określenie minimalnej ilości glikolu zgromadzonej w zbiorniku.

Istotne sprawdzenie, które należy wykonać polega na tym, aby minimalny czas działania urządzenia chłodniczego był krótszy niż przerwa w czasie pomiędzy jednym odszranianiem, a kolejnym (aby możliwe było przywrócenie do stanu pierwotnego warunków temperaturowych

glikolu w zbiorniku). Ta procedura została zautomatyzowana w chłodnicach firmy LU-VE w taki sposób, aby podczas ich doboru mieć również możliwość rozbudowania systemu odszraniania ciepłym glikolem.

WYNIKI EKSPERYMENTALNE

System odszraniania ciepłym glikolem został przetestowany w laboratoriach firmy LU-VE, w szerokim zakresie warunków eksploatacyjnych i w różnych konfiguracjach systemu (pozycje przyłączy, obiegi, wejścia, zawory itp.). Badania te pozwoliły wskazać rozwiązanie optymalne.

Głównym parametrem, który pozwala zrozumieć o ile korzystniejszy jest jeden system odszraniania od drugiego jest sprawność procesu określona jako proporcja między ciepłem niezbędnym do stopienia szronu z powierzchni chłodnicy, a ciepłem rzeczywiście wydzielonym (z grzałek elektrycznych lub ciepłego glikolu).

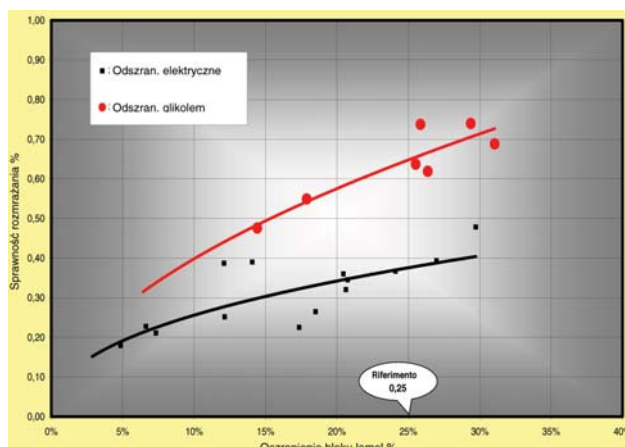
Rysunek 1 przedstawia charakterystykę sprawności odszraniania, zarówno z grzałkami elektrycznymi jak i ciepłym glikolem, w zależności od grubości warstwy szronu na powierzchni chłodnicy (dla warunków: $T_{pomieszczenia} = -20^{\circ}\text{C}$, $T_{parowania} = -30^{\circ}\text{C}$, Wilgotność względna = 85%). Obciążenie szronem zostało określone jako współczynnik pomiędzy średnią grubością jego warstwy na powierzchni zewnętrznej, a rozstawem lamel (np. stopień zaszczenia 25%, oznacza średnią grubość 1,25 mm dla rozstawu lamel 10 mm). Jak można zauważyć, dla obciążenia szronem, np. 25 %, sprawność odszraniania ciepłym glikolem wynosi ok. 65%, podczas gdy w przypadku systemu tradycyjnego z grzałkami elektrycznymi, tylko 38%.

System odszraniania ciepłym glikolem poza tym, że wykorzystuje darmowe ciepło skraplania, posiada także zdecydowanie wyższą sprawność w porównaniu do wersji elektrycznej, co oczywiście znacznie skraca czas operacji.

Jeżeli stosunek pomiędzy sprawnościami odszraniania wynosi $65/38 = 1,7$, to czas tej operacji prowadzonej za pomocą grzałek elektrycznych sięga 30 minut, natomiast za pomocą ciepłego glikolu jedynie 18 minut! W konsekwencji, sprężarka będzie mogła działać przez dłuższy czas i chłodnica powietrza pobierze z komory chłodniczej mniejszą ilość ciepła utraconego podczas operacji odszraniania. Zgodnie z warunkami działania urządzenia, dzięki temu będzie można uzyskać redukcję kosztów pracy urządzenia na poziomie 15÷25% (Rys. 3 – roczny koszt pracy).

ANALIZA TECHNICZNO-EKONOMICZNA INSTALACJI

Poniższa analiza ma na celu ocenić korzyści wynikające z zastosowania odszraniania ciepłym glikolem w instalacji chłodniczej wyposażonej w chłodnice powietrza z bezpośrednim odparowaniem czynnika w niskich temperaturach



Rys. 1



Rys. 2

NT i cieczowe chłodnice powietrza w temperaturze normalnej NoT (obecnie instalacja działa już 2 lata).

Instalacja chłodnicza o wydajności chłodniczej ok. 600 kW zbudowana jest z 23 chłodnic nowej serii przemysłowej LHS posiadających obiegi dla chłodzenia i obiegi do odszraniania ciepłym glikolem, z których 6 pracuje w niskiej temperaturze (temp. komory -25°C) i 17 w temp. normalnej (temperatura komory $+2^{\circ}\text{C}$).

Urządzenia w niskiej temperaturze działają w systemie z bezpośrednim odparowaniem przy $DT1 = 6\text{ K}$, tak więc temperatura ssania sprężarek wynosi -31°C , podczas gdy cieczowe chłodnice powietrza działają przy $DT1=5\text{ K}$ (chiller ma temperaturę parowania -8°C). Dla takich warunków wyznaczono współczynnik COP dla dwóch obiegów chłodniczych. Dla obiegu niskotemperaturowego $COP=1,04$, podczas gdy w temperaturze normalnej (chiller) $COP=2,4$ (z temp. skraplania 40°C).

Obieg podgrzewania glikolu składa się z wymiennika ciepła S1 odbierającego ciepło od gorących par na tłoczeniu sprężarki, zbiornika z glikolem oraz z pompy obiegowej P1 pracującej w trybie ciągłym (rys. 3).

Obiegi odszraniania podzielone są na dwa podsystemy:

- jeden tylko dla urządzeń NT, gdzie zostaje pobrany ciepły glikol ze zbiornika i przetłaczany przez pompę P2 podczas operacji odszraniania;
- drugi dla urządzeń NoT, gdzie występuje dodatkowy wymiennik ciepła S2 pomiędzy ciepłym glikolem ze zbiornika i glikolem w obiegu chłodnic powietrza z wyższym stężeniem. Jego przepływ wymuszają 2 pompy (P2 i P3).

artykuły sponsorowane

artykuły sponsorowane

artykuły sponsorowane

artykuły sponsorowane

Tabela 1

Confronto tecnico-economico tra sbrinamento elettrico e glicole caldo												
Confronto energetico	LU-VE	LU-VE	LU-VE	LU-VE	LU-VE	LU-VE	LU-VE	LU-VE	LU-VE	LU-VE	LU-VE	LU-VE
Modelli	Electric defrost	Glycol defrost	Electric defrost	Glycol defrost	Electric defrost	Glycol defrost	Electric defrost	Glycol defrost	Electric defrost	Glycol defrost	Electric defrost	Glycol defrost
potenza frigo R507A	LS4H17510E12	LS4H17404GC10	LS50H596E10	LS50H596GC10	LS50H592E10	LS50H592GC10	LS4H1524E7	LS4H1524GC10	LS4H1524E7	LS4H1524GC10	Delta	LS4H1524GC7
DT1	W	35380	6	32900	5	8980	5	28840	5	19175	5	11775
tempo funzionamento	h	12.0	12.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0
Fattore utilizzo	---	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6
energia frigo	Wh	390612	0.93	363232	53290	49031	174148	160563	108188	99545	66450	61128
pot. vent.	W	5200	5200	5200	1560	1560	3120	2650	2550	2550	1530	1530
energia vent.	Wh	62539	1.00	62539	9360	9360	18658	18658	15173	15173	9104	9104
potenza resist.	W	52610	52610	52610	14110	14110	48120	48120	26090	26090	16010	16010
energia resist.	Wh	21946	0.60	13168	6053	6053	12424	12424	7624	7624	444	444
tempo sbrin.	h	0.42	0.25	0.19	0.43	0.43	0.47	0.47	0.48	0.48	0.21	0.21
rendim. sbrin.	%	0.30	0.48	0.48	0.31	0.31	0.27	0.27	0.37	0.37	0.48	0.48
energia utile a ciclo	Wh	312618	293854	38349	39752	38349	141601	137216	85173	82181	52534	50681
ciclo giorno	1.2	1.2	1.2	2.4	2.3	2.4	2.3	2.4	2.3	2.4	2.3	2.4
energia utile giornaliera	Wh	366679	347503	91481	91481	90332	327946	324742	196689	194777	121315	120118
energia utile annuale	kWh	133838	0.95	126839	33391	32971	119700	118531	71791	71094	44280	43643
Temperatura evaporazione iniziale	°C	-35.0	-35.0	-35.0	-8.0	-8.0	-8.0	-8.0	-8.0	-8.0	-8.0	-8.0
Temperatura evaporazione finale	°C	-36.0	-36.0	-36.0	-8.7	-8.7	-8.7	-8.7	-8.3	-8.3	-9.3	-9.3
Temperatura evaporazione media	°C	-35.5	-35.5	-35.5	-8.5	-8.5	-8.3	-8.3	-8.6	-8.6	-8.6	-8.6
Temperatura condensazione	°C	40.0	40.0	40.0	40.0	40.0	40.0	40.0	40.0	40.0	40.0	40.0
Confronto economico												
COP		1.05	1.05	1.05	2.42	2.42	2.42	2.43	2.41	2.41	2.41	2.41
Consumo elettrico a ciclo	kWh	469.5	0.88	413.5	39.1	30.1	115.1	86.6	75.8	76.6	46.3	35.1
costo energia	€/kWh	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
costo esercizio a ciclo	€/ciclo	47.0	47.0	41.3	3.9	3.0	11.5	8.7	7.6	7.6	4.6	3.5
tempo ciclo	h	20.5	20.3	10.4	10.4	10.4	10.4	10.1	10.4	10.4	10.4	10.1
costo esercizio annuale	€/anno	20102	0.89	17847	3267	2592	9726	777	6389	6389	3905	3033
costo esercizio/energia utile	€/kWh	0.150	0.937	0.141	0.088	0.799	0.081	0.777	0.089	0.785	0.088	0.069
Risparmio	€/kWh		0.009			0.020		0.018		0.019		0.019
Risparmio annuo	€/anno		1204			654		2148		1358		834
Potenza elettrica pompa 1	W	---	---	2100								
Potenza elettrica pompa 2	W	---	---	2100								
Potenza elettrica pompa 3	W	---	---	1600								
energia pompa P1	kWh/anno			18396								
costo sbrinamento anno P1	€/anno			1840								
energia pompe P2-P3 sbrin BT	kWh/anno			400								
energia pompe P2 sbrin NT	kWh/anno			341								
costo sbrinamento anno P2-P3	€/anno			40								
tonn. CO2/anno		236	45516	4120			162406	8557			15764	
Investimento	€											491000
Pay Back Time	anni											1.4
Spesa defrosting	€/anno											2061
Risparmio	€/anno											37518

NOTA: alla voce consumo elettrico a ciclo è stato tolto il contributo delle resistenze, mentre la quota immessa in cella è stata conteggiata.

Odszranianie realizowane jest co 12 godzin w 3 chłodnicach jednocześnie w Niskiej Temperaturze i co 6 godzin w 4 chłodnicach jednocześnie w Normalnej Temperaturze.

Tak, jak to stwierdzono wcześniej, porównanie energetyczne i ekonomiczne zostało wykonane dla urządzeń posiadających system odszraniania ciepłym glikolem i identycznych urządzeń z tradycyjnym systemem odszraniania elektrycznego; to porównanie przeprowadzono dla 5 modeli chłodziw (Tabela 1).

Dokonując oceny energetycznej, przeprowadzono kalkulację energii użytecznej pobranej, z komory chłodniczej, tzn. od wydajności chłodniczej odjęto energię pobraną przez wentylatory i energię pobraną podczas procesu odszraniania.

Ocenę ekonomiczną oparto na doświadczalnie wyznaczonym współczynniku COP (wartość średnia) i na rocznym koszcie pracy, biorąc pod uwagę koszt energii elektrycznej, równy 0,10 €/kWh. Różnica kosztu wytworzenia energii użytecznej dla dwóch analizowanych rozwiązań pozwala obliczyć roczne oszczędności dla każdego z nich, a te pomnożone przez ilość urządzeń tego samego typu pozwalają określić całkowite oszczędności w skali roku. Wartość ta równa jest **ok. 37 500 €/rok**.

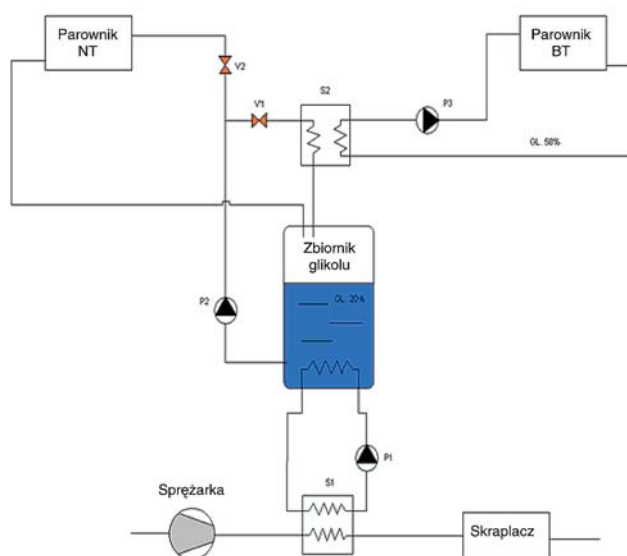
Dla systemu z odszranianiem ciepłym glikolem należy odjąć od całkowitego kosztu rocznego wydatki na działanie pomp cyrkulacyjnych (P1, P2 i P3), które wynoszą ok. **2 080 €/rok**. Dodatkowe inwestycje poniesione dla instalacji z odszranianiem ciepłym glikolem (zbiornik glikolu, pompy obiegowe, linie, zawory itd.) oraz większy koszt chłodziw powietrza / cieczowych chłodziw powietrza, zamykają się kwotą ok. **49 000 €**. W końcowej części analizy obliczono czas zwrotu dodatkowej inwestycji, który wynosi ok. 1,4 roku !

WNIOSKI

Instalacja poddana analizie wykazała, że stosunkowo szybko można odzyskać dodatkowe koszty dla urządzenia z odszranianiem ciepłym glikolem, dostosowując odpowiednio zastosowaną technologię i utrzymując początkowe koszty na odpowiednio niskim poziomie. Z pewnością bardziej złożone instalacje, to mniejsza ich niezawodność w porównaniu do rozwiązań prostszych, jakim jest odszranianie elektryczne, ale biorąc pod uwagę oszczędności, jakie można uzyskać, wtedy dodatkowa konserwacja i utrzymanie zostają zdecydowanie zrekomensowane.

Oceniając wpływ środowiskowy, można obliczyć ilość dwutlenku węgla, którego emisji do otoczenia unikniemy wykorzystując zaproponowane rozwiązanie. Z wykonanych wcześniej obliczeń dotyczących oszczędności rocznych (ok. 37.500 €/rok), można zamienić tę wartość na oszczędności energii elektrycznej (ok. **375 000 kWh/rok**) w odniesieniu do kosztu energii (0,10 €/kWh).

Zakładając hipotetycznie, że energia elektryczna jest produkowana przez elektrownię, która spala gaz naturalny,



Rys. 3

można oszacować średnią ilość dwutlenku węgla wyemitowanego do atmosfery dla każdej wyprodukowanej kWh (ok. $630 \text{g}_{\text{CO}_2}/\text{kWh}$), a w konsekwencji można określić jaka ilość „gazu cieplarnianego” nie zostanie wyprodukowana ($375\,000 \times 630 \approx$ **236 ton /rok**).

Podsumowując, ta ciekawa propozycja pozwala uzyskać zaskakujące efekty, a są to:

- odzyskanie dodatkowych nakładów inwestycyjnych związanych z odszranianiem ciepłym glikolem w ciągu 1,4 lat;
- odzyskanie całkowitego kosztu urządzenia (wraz z systemem odszraniania glikolem) w ciągu 8,6 lat.

Użytkownik zakupujący urządzenie za minimalną cenę, zamiast minimalnego kosztu odpowiadającego cyklowi jego technicznego „życia”, płaci duże koszty eksploatacyjne w czasie działania urządzenia. W związku z powyższym ważne jest, aby użytkownik nabywając urządzenie mógł skorzystać z rozwiązań alternatywnych i jednocześnie rozumiał, iż kompleksowe oszczędności otrzymuje się minimalizując całkowity koszt cyklu „życia” urządzeń, a nie minimalny koszt jego zakupu.

UWAGA: Obliczenia przeprowadzono dla komory o kubaturze ok. 11 000 m³, wykonanej przez firmę AIR CONTROL S.r.l Besnate, z zastosowaniem sprężarki firmy Bitzer, oraz skraplaczy, chłodziw powietrza i cieczowych chłodziw powietrza z systemem odszraniania ciepłym glikolem firmy L U-VE.

