

Niniejszy artykuł stanowi część trzecią - ostatnią opracowania poświęconego sprężarkom semihermetycznym DWM Copeland. W artykule omówiono zagadnienia sezonowej efektywności energetycznej, wpływ parametrów pracy sprężarek chłodniczych na zużycie energii elektrycznej oraz przedstawiono korzyści z zastosowania sprężarek DWM Copeland w odniesieniu do rozwiązań konkurencyjnych.

Obecnie, użytkownicy systemów chłodniczych zobowiązani są wykazać dbałość o środowisko naturalne. Globalne ocieplenie klimatu stało się zagadnieniem szczególnie istotnym. Największy wpływ na redukcję emisji pośredniej CO₂ wynikającej ze zużycia energii elektrycznej mają właściwe podejście projektowe oraz zastosowanie wysokowydajnych urządzeń w instalacji.

Ogólnie przyjętym aktualnie parametrem określającym efekt globalnego ocieplenia jest TEWI (*Total Equivalent Warming Impact*). TEWI to ogólny wskaźnik okresu życia urządzenia uwzględniający nie tylko emisję bezpośrednią (czynników chłodniczych do atmosfery), lecz także emisję pośrednią (pochodzącą od zakładów energetycznych wytwarzających energię elektryczną z paliw kopalnych) [1].

Zmniejszenie konsumpcji energii elektrycznej znacząco pozwala ograniczyć emisję dwutlenku węgla. Według danych umieszczonych na stronie internetowej organizacji ASERCOM wynika, że około 14% całkowitego zużycia energii elektrycznej w Niemczech przypada na systemy chłodnicze i klimatyzacyjne. Podobne proporcje obserwuje się w pozostałych krajach europejskich [2].

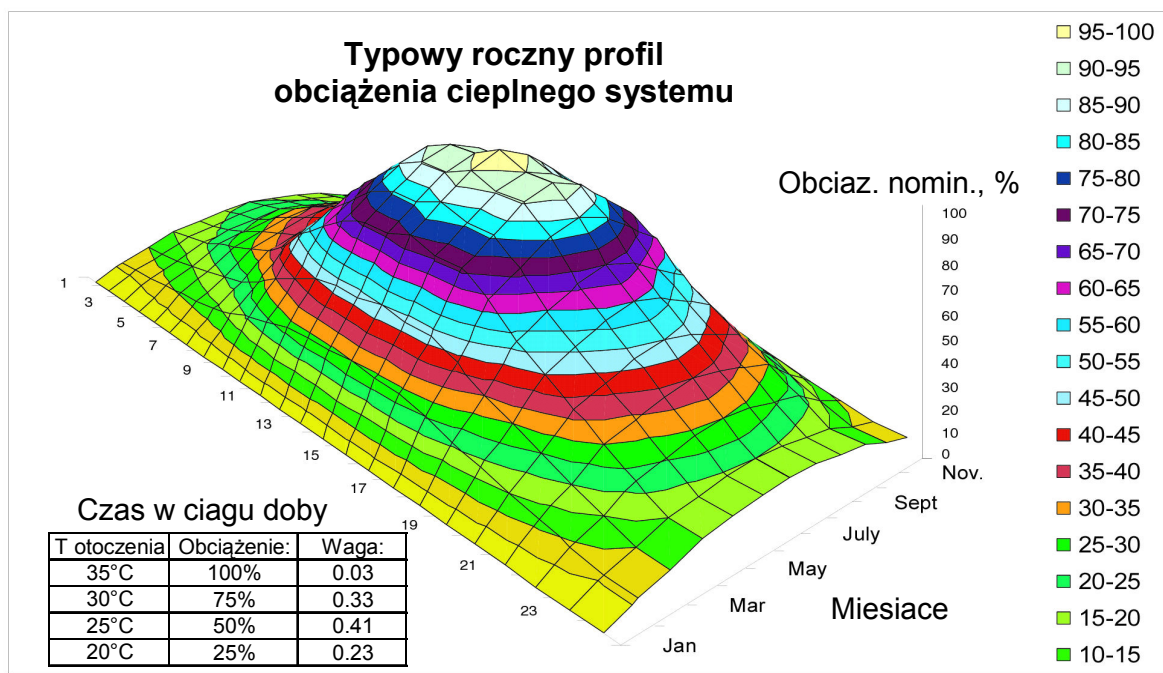
Kluczowym zagadnieniem ograniczania zużycia energii elektrycznej i minimalizacji negatywnego oddziaływania na środowisko naturalne, na które coraz więcej osób zwraca uwagę, jest efektywność energetyczna urządzeń chłodniczych i klimatyzacyjnych.

Wynika to z troski o środowisko naturalne, i jest także bezpośrednio związane z aspektem ekonomicznym a dokładniej z redukcją kosztów za zużytą energię elektryczną.

Aby móc określić efektywność urządzenia, należy wyznaczyć sezonową efektywność energetyczną ESEER (*European Seasonal Energy Efficiency Ratio*).

Sezonowa efektywność energetyczna ESEER jest wielkością podobną do współczynnika wydajności chłodniczej COP. W przeciwieństwie do współczynnika COP nie odnosi się jedynie do warunków projektowych, lecz do warunków rzeczywistych, uwzględniających zjawisko sezonowości i zmiennego obciążenia cieplnego.

Zjawisko sezonowości występuje wówczas, gdy w trakcie eksploatacji urządzenia przy zmiennej temperaturze otoczenia zmieniamy temperaturę skraplania, uwzględniając przy tym czas pracy urządzenia w warunkach obciążenia częściowego. Wyjaśnienie zjawiska sezonowości wraz z wytycznymi do obliczania wielkości ESEER przedstawia rysunek 1.



Rys. 1 Typowy roczny profil obciążenia cieplnego systemu wraz z danymi do obliczania ESEER

Z rysunku 1 wynika, że zmienne warunki pracy występują ciągle. Zarówno w okresie dobowym jak i rocznym. Dodatkowo, co jest typowe np. dla systemów klimatyzacyjnych, występuje zmienne obciążenie cieplne systemu.

Powyższy rysunek pokazuje, że praca przy pełnym obciążeniu zakładanym w procesie projektowania (100% wydajności systemu) trwa bardzo krótko, zaledwie 3% czasu. Najdłużej, bo aż 41% czasu, system pracuje przy obciążeniu 50%. 33% czasu pracy przypada na 75% wydajność, a 23% czasu pracy występuje przy obciążeniu równym 25% obciążenia pełnego.

Od czerwca 2006 roku ESEER obowiązuje wszystkich producentów Chillerów, którzy poddają swoje wyroby certyfikacji Eurovent. Urządzenia klimatyzacyjne, podobnie jak domowe urządzenia elektryczne, posiadają już klasy energetyczne. Istnieje 7 klas wydajności od A (najwyższa wartość ESEER) do G (najniższa wartość ESEER) [3].

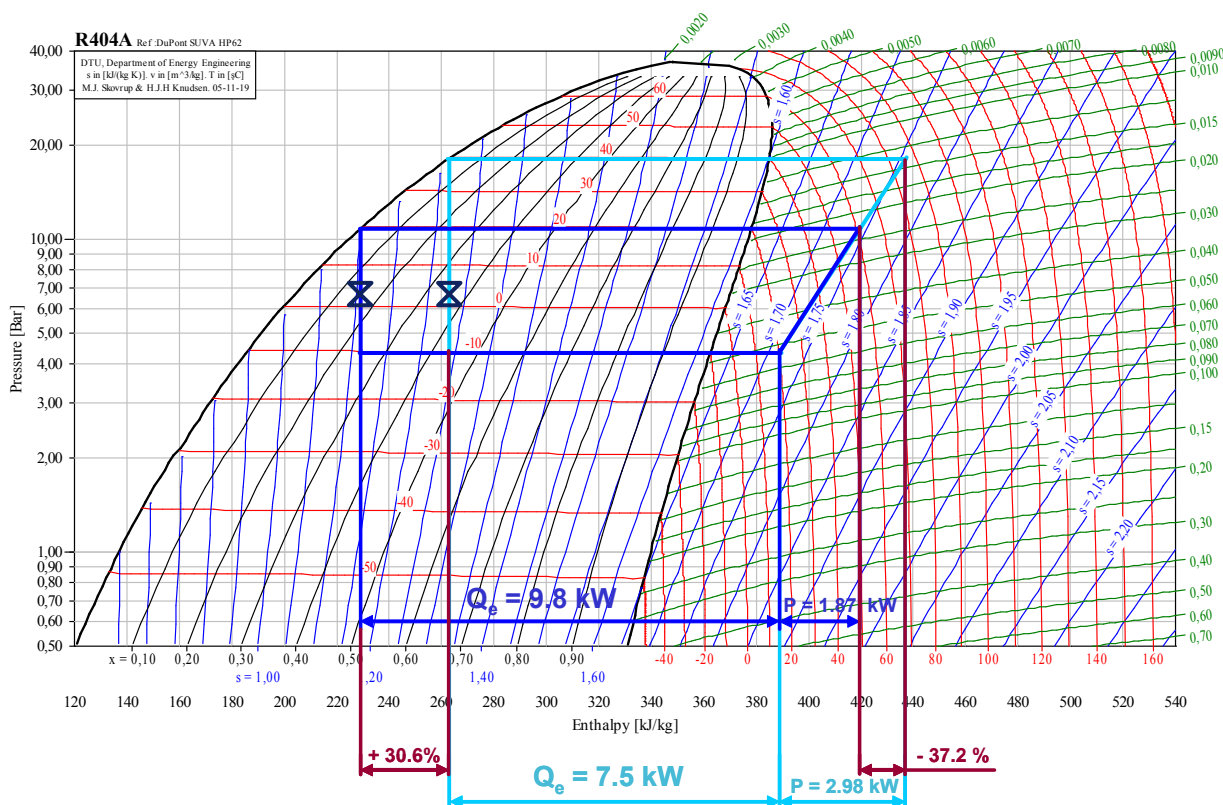
Oczywiście, im wyższa wartość ESEER tym urządzenie bardziej efektywne energetycznie.

Zgodnie z rysunkiem 1, podczas eksploatacji systemu, warunki otoczenia, na podstawie których w procesie projektowania przeprowadza się dobór poszczególnych jego elementów, występują rzadko. Decydującym parametrem jest temperatura otoczenia, mająca bezpośredni wpływ na temperaturę skraplania. Z definicji, temperatura otoczenia jest prawie zawsze niższa niż ta, brana pod uwagę przy warunkach projektowych.

Im wyższa temperatura otoczenia, tym naturalnie wyższa temperatura skraplania. Wyższa temperatura skraplania powoduje obniżenie wydajności chłodniczej sprężarki przy jednoczesnym wzroście jej zużycia energii elektrycznej.

Z charakterystyki pracy sprężarki wynika, że przy niezmienniej temperaturze parowania, zwiększenie temperatury skraplania o 1°C powoduje wzrost zużycia energii elektrycznej sprężarki średnio o około 2 ÷ 3%.

Wpływ temperatury skraplania na charakterystykę pracy sprężarki przedstawia rysunek 2.



Rys. 2 Wpływ temperatury skraplania na charakterystykę pracy sprężarki

Z rysunku 2 wynika, że w warunkach projektowych (temp. parowania -10°C / temp. skraplania $+40^{\circ}\text{C}$, czynnik R404A) wydajność sprężarki wynosi 7,5 kW a jej pobór mocy elektrycznej jest równy niespełna 3 kW. Jeżeli temperaturę skraplania obniży się do 20°C , wydajność chłodnicza tej samej sprężarki wyniesie 9,8 kW (wzrośnie o 30%) a pobór mocy elektrycznej 1,9 kW (obniży się o ponad 37%).

Z powyższej charakterystyki pracy sprężarki widać, że każdy, kto jest zainteresowany chłodzeniem efektywnym, przy niskich temperaturach otoczenia będzie starał się obniżyć temperaturę skraplania.

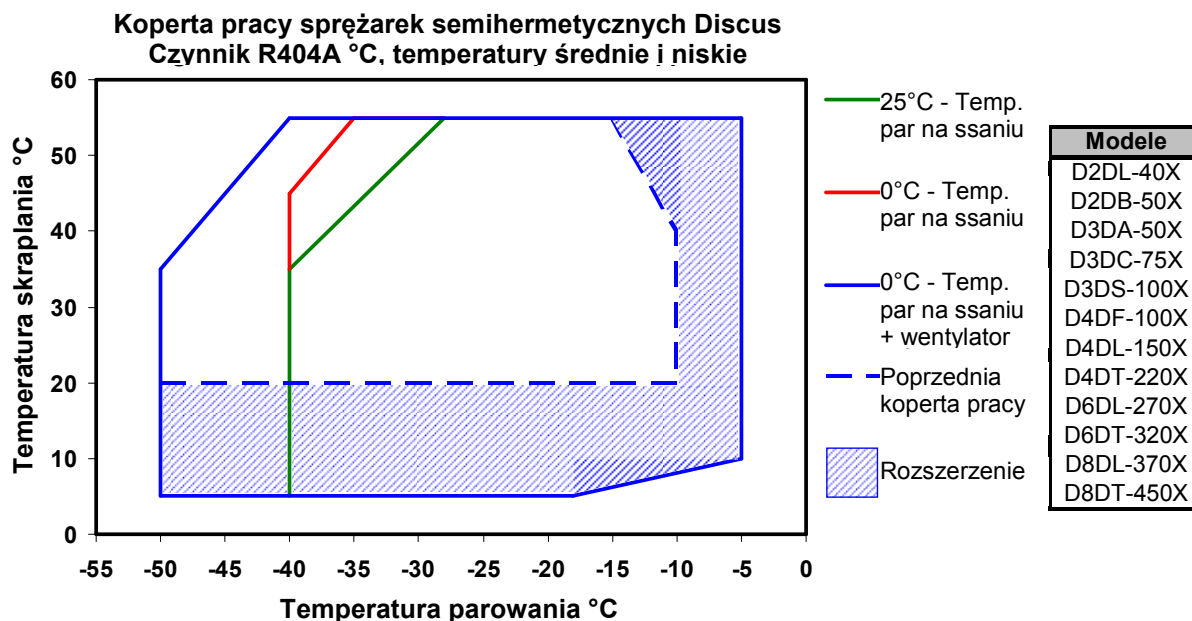
Sytuacja jest szczególnie sprzyjająca w naszej strefie klimatycznej, gdzie wysokie temperatury otoczenia występują stosunkowo rzadko, jedynie w okresie letnim.

Zgodnie z rysunkiem 1, zarówno przez znaczną część dnia (zmienna temperatura otoczenia w ciągu doby) jak i przez większą część roku (zmienna średnia temperatura miesięczna), praca sprężarek może odbywać się przy temperaturach skraplania o wiele niższych od projektowej.

Należy pamiętać, że temperatury skraplania nie można obniżyć w sposób dowolny. Jest ona ściśle ograniczona przez kopertę pracy sprężarki. Minimalna wartość temperatury skraplania to wartość graniczna, przy której eksploatacja sprężarki jest bezpieczna i nie ma negatywnego wpływu na jej żywotność. Wyjście z punktem pracy sprężarki poza zatwierdzony obszar stosowania wiąże się z ryzykiem jej uszkodzenia. Minimalna temperatura skraplania dla każdej sprężarki jest określana przez producenta a jej wartość może być odczytana z obszaru stosowania (koperty pracy).

W porównaniu z większością konkurencyjnych sprężarek, dla których minimalna temperatura skraplania wynosi 30°C , sprężarki DWM Copeland wypadają doskonale. Minimalna wartość temperatury skraplania dla większości standardowych sprężarek DWM Copeland wynosi $+20^{\circ}\text{C}$.

Jeszcze bardziej korzystnie wypadają pod tym względem sprężarki Copeland Scroll oraz semihermetyczne sprężarki Copeland Discus. Niewątpliwą zaletą sprężarek DWM Copeland Discus jest ich rozszerzona koperta pracy, umożliwiającą osiąganie temperatury skraplania nawet $+5^{\circ}\text{C}$, co ilustruje rysunek 3.



Rys. 3 Koperta pracy wybranych modeli sprężarek semihermetycznych DWM Copeland Discus (możliwość uzyskania temperatury skraplania nawet do +5°C)

W chwili obecnej, wykorzystując dostępną automatykę chłodniczą np. elektryczne zawory regulacyjne Alco Controls z silnikiem krokowym, uzyskanie temperatury skraplania równej +5°C nawet w średniotemperaturowym układzie chłodniczym (temperatura parowania -10°C) nie stanowi problemu. Zawory te, w porównaniu z termostatycznymi zaworami rozprężnymi, do poprawnej pracy potrzebują znacznie mniejszej różnicy ciśnień.

Coraz częściej zdarza się, że podejmując świadomą decyzję o wyborze urządzenia sprężarkowego inwestorzy zwracają uwagę nie tylko na koszt zakupu, lecz także na koszty zużycia energii elektrycznej. Koszty zużycia energii elektrycznej są tym niższe im niższa jest średnia temperatura skraplania w okresie eksploatacji urządzenia.

Dzięki znajomości zagadnienia sezonowej efektywności energetycznej oszacowanie kosztów zużycia energii elektrycznej jest możliwe. Oszacowanie kosztów zużycia energii elektrycznej stwarza przede wszystkim możliwość rzetelnego porównania kilku konkurencyjnych rozwiązań i dokonania wyboru rozwiązania najbardziej korzystnego, które oprócz wysokiej jakości i niezawodności charakteryzować się będzie najniższymi kosztami zużycia energii elektrycznej.

Poniżej porównano koszty zużycia energii elektrycznej 3 sprężarek semihermetycznych różnych producentów, pracujących w niskotemperaturowej instalacji chłodniczej marketu (wydajność 27 kW) zlokalizowanej w Warszawie. Założenia projektowe niezbędne do doboru sprężarek i dalszych porównań przedstawia tabela 1.

Tabela 1 Założenia projektowe

Wydajność chłodnicza	27 kW
Czynnik chłodniczy	R404A
Temperatura parowania	-35°C
Temperatura skraplania	+40°C
Przegrzanie / Dochłodzenie / Temp. powrotu par na ssaniu	zgodnie z EN-12900 dla niskich temp.
Nadwyżka temp. skraplania nad temp. otoczenia	12K
Lokalizacja	Warszawa

Koszt 1kWh	0,35 PLN
------------	----------

Należy przy tym zaznaczyć, że na koszty zużycia energii elektrycznej mają istotny wpływ takie parametry jak lokalizacja oraz nadwyżka temperatury skraplania nad temperaturą otoczenia. Parametr lokalizacja określa średnie temperatury otoczenia w miejscu pracy instalacji. Ten sam układ oparty na identycznych sprężarkach będzie pracował na zupełnie innych parametrach w Warszawie niż przykładowo w Madrycie, gdzie średnioroczne temperatury otoczenia są wyższe zatem i wyższe temperatury skraplania. Nadwyżka temperatury skraplania nad temperaturą otoczenia warunkuje rzeczywistą temperaturę skraplania i wynika bezpośrednio z charakterystyki skraplacza. Im mniejsza delta na skraplaczu, tym niższe rzeczywiste temperatury skraplania.

Aby porównanie było rzetelne, musi być przeprowadzone według identycznych założeń.

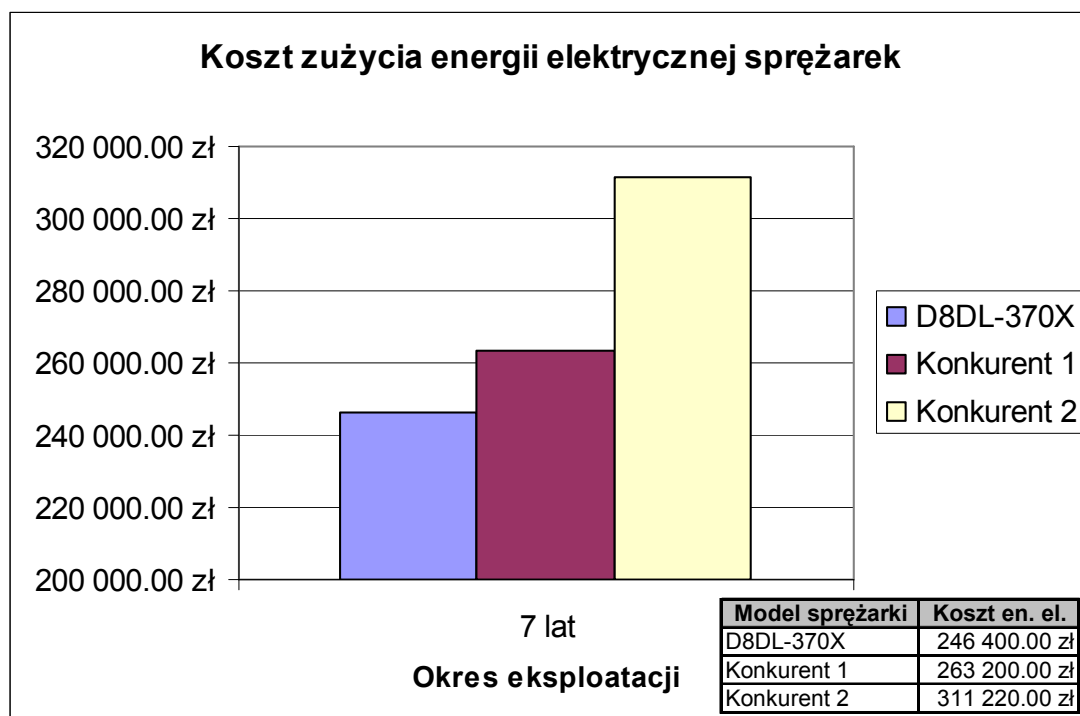
Dobre na podstawie powyższych wytycznych sprężarki są porównywalnej jakości, odpowiednie do zastosowania w niskim zakresie temperatur. Każda ze sprężarek posiada osiem cylindrów, sprężarki mają zbliżoną efektywność dla warunków projektowych i dostarczają około 27 kW mocy chłodniczej. Współczynniki wydajności chłodniczej COP dla warunków projektowych przedstawia tabela 2.

Tabela 2 Wartości współczynników COP porównywanych sprężarek dla warunków projektowych

Sprężarka	COP	Uwagi:
D8DL-370X	1.44	Sprężarka DWM Copeland Discus
Konkurent 1	1.30	Sprężarka konkurencyjna nr 1
Konkurent 2	1.39	Sprężarka konkurencyjna nr 2

Przedstawione poniżej koszty zużycia energii elektrycznej są wartościami szacowanymi i dotyczą 7 lat eksploatacji urządzeń. Z uwagi na dane dotyczące okresu eksploatacji po którym następuje wymiana urządzeń zasilających wybrane obiekty w różnych krajach europejskich, okres 7-mio letni to wartość uśredniona i wydaje się dobrze odzwierciedlać rzeczywistość. Ze względu na rzeczywiste temperatury otoczenia, rzeczywiste koszty zużycia energii elektrycznej mogą się różnić od przedstawionych poniżej. Koszt 1 kWh przyjęto na poziomie 0,35 PLN i założono że jest stały w całym okresie eksploatacji. Wiadomym jest fakt, że cena energii elektrycznej wzrasta, zatem proporcjonalnie wzrasta różnica w kosztach zużycia energii elektrycznej na korzyść rozwiązania bardziej efektywnego.

Rysunek 4 przedstawia koszty zużycia energii elektrycznej porównywanych sprężarek przy ich minimalnych temperaturach skraplania, równych odpowiednio +30°C (sprężarka konkurencyjna nr 2), +20°C (sprężarka konkurencyjna nr 1) i +10°C (sprężarka DWM Copeland Discus model D8DL-370X). Są to wartości minimalnej temperatury skraplania sprężarek wynikające z kopert pracy określonych i zatwierdzonych przez producentów. Nie oznacza to jednak, że sprężarka przez cały czas będzie pracowała przy swojej minimalnej temperaturze skraplania. Uwarunkowane to jest średnią temperaturą otoczenia wynikającą z lokalizacji oraz nadwyżką temperatury skraplania nad temperaturą otoczenia, która zależy od zastosowanego skraplacza. Porównanie przeprowadzono według identycznych założeń.



Rys. 4 Koszt zużycia energii elektrycznej porównywanych sprężarek

Różnica w porównywanych modelach jest widoczna nie tylko na podstawie tabeli 2 (wartości współczynników COP dla parametrów projektowych) lecz przede wszystkim w kopercie pracy sprężarek. Najszerzy obszar pracy ma sprężarka DWM Copeland Discus, która posiada możliwość pracy przy temperaturze skraplania niższej niż pozostałe sprężarki. Wpływa to dodatkowo na redukcję zużycia energii elektrycznej.

Z rysunku 4 wynika, że najwyższe koszty zużycia energii elektrycznej są generowane przez sprężarkę konkurencyjną nr 2 charakteryzującą się najwyższą minimalną temperaturą skraplania. Najniższe koszty zużycia energii elektrycznej generuje sprężarka DWM Copeland Discus, która charakteryzuje się najniższą minimalną temperaturą skraplania.

Różnica w kosztach zużycia energii elektrycznej pomiędzy sprężarką Copeland D8DL-370X a sprężarką konkurencyjną nr 1 wynosi 16.800,- PLN, co stanowi około 7%.

Różnica w kosztach zużycia energii elektrycznej pomiędzy sprężarką Copeland D8DL-370X a sprężarką konkurencyjną nr 2 jest kolosalna, wynosi 64.820,- PLN i stanowi około 21%.

Szereg przeprowadzonych badań i analiz wykazuje, że z ekonomicznego punktu widzenia istotny jest nie koszt zakupu lecz koszt eksploatacji urządzeń. Biorąc pod uwagę 7-mio letni okres użytkowania sprzętu, koszt zakupu to jedynie około 6% kosztów wynikających ze zużycia energii elektrycznej. Nawet duże na pierwszy rzut oka różnice w koszcie zakupu (około 20 ÷ 30%) w okresie eksploatacji urządzeń zanikają, natomiast widoczne stają się różnice wynikające ze zużycia energii elektrycznej.

W zależności od jakości i zaawansowania technologicznego porównywanych urządzeń, okres zwrotu "nadpłaty" pojawiającej się w momencie wyboru urządzenia o większej efektywności energetycznej może wynosić maksymalnie około 2 lat. Zwykle 20 ± 2 m-ce. Jeżeli porównanie dotyczy urządzeń, których różnice w efektywności energetycznej są znaczne, okres zwrotu może wynosić zaledwie kilka miesięcy.

Dodatkowy wkład w redukcję zużycia energii elektrycznej ma także sprężarka semihermetyczna Copeland Digital Discus, z płynną regulacją wydajności. Precyzyjnie dopasowując wydajność do zapotrzebowań systemu, jeszcze bardziej ogranicza zużycie energii elektrycznej i podwyższa niezawodność systemu. Nawet przy wydajności minimalnej, koperta pracy sprężarki Digital nie zawęży się. Regulacja Digital pozwala podwyższyć wartość średniego ciśnienia ssania, co zmniejsza zużycie energii elektrycznej.

Przeprowadzone testy udowodniły, że podwyższenie średniego ciśnienia ssania o 0,2 bar z poziomu 4,3 bar do 4,5 bar pozwala na dodatkową redukcję rocznego zużycia energii elektrycznej o 4,6%. Uzyskane w ten sposób oszczędności sieci 100 sklepów we Francji wyniosły 22.000,- Euro.

W przypadku, gdy wartość średniego ciśnienia ssania zwiększy się o 0,5 bar z poziomu 4,3 bar do 4,8 bar, roczne zużycie energii elektrycznej można zredukować nawet o 10,7%. Uzyskane w ten sposób oszczędności sieci 100 sklepów handlu detalicznego we Włoszech wyniosły 86.000,- Euro.

Podsumowanie

Zagadnienie sezonowej efektywności energetycznej staje się zagadnieniem istotnym ze względów zarówno ekologicznych (emisja pośrednia dwutlenku węgla do atmosfery), jak i ekonomicznych (rachunki za energię elektryczną).

Im wyższa wartość sezonowej efektywności energetycznej, tym urządzenie sprężarkowe zużywa mniejszą ilość energii elektrycznej.

Ważnym parametrem z punktu widzenia konsumpcji energii elektrycznej przez sprężarki jest temperatura skraplania. Im niższa temperatura skraplania tym mniejsze zużycie energii elektrycznej. Minimalna temperatura skraplania określana jest przez producenta i można ją odczytać z koperty pracy sprężarki. Sprężarki semihermetyczne DWM Copeland charakteryzują się niskimi wartościami minimalnych temperatur skraplania, przy czym szczególnie dobrze wypadają pod tym względem sprężarki Copeland Discus, których minimalna temperatura skraplania wynosi +5°C.

Obecnie, wykorzystując elektryczne zawory regulacyjne Alco Controls z silnikiem krokowym, uzyskanie temperatury skraplania równej +5°C w układzie chłodniczym o temperaturze parowania równej -10°C nie stanowi problemu.

W ostatecznym rozrachunku, najlepszy efekt uzyskuje się poprzez odpowiednie zaprojektowanie instalacji/systemu, zastosowanie wysokowydajnych, efektywnych energetycznie urządzeń sprężarkowych wraz z odpowiednią automatyką chłodniczą, która umożliwia uzyskanie optymalnych wartości, rejestrację, zdalną kontrolę, zmianę i optymalizację parametrów nastaw.

Najbardziej zaawansowane technologicznie rozwiązania, przynoszące korzyści użytkownikom występują w ofercie firmy Emerson Climate Technologies w postaci produktów Copeland i Alco.

Bibliografia:

- [1] Dlaczego warto stosować sprężarki spiralne w chłodnictwie komercyjnym?; Guy Hundy; Chłodnictwo; 1-2/2008
- [2] Dane organizacji ASERCOM,
- [3] Nowy sposób określania wydajności wytwornic wody lodowej; Andrea VOIGT, Pascal POGGI; Chłodnictwo i Klimatyzacja; 10/2007,

oraz:

Dane wewnętrzne Emerson Climate Technologies