

---

## **4. Sprężarka tłokowa czy śrubowa? Dobór urządzenia instalacji chłodniczej**

Częstym problemem, przed którym stoją zakłady mleczarskie jest wybór agregatu chłodniczego. O ile poruszyliśmy już to zagadnienie z punktu widzenia poszczególnych producentów, o tyle nadal pojawiają się pytania dotyczące zasadniczych różnic między sprężarkami tłokowymi a śrubowymi. Są to bowiem najczęściej stosowane urządzenia w przemysłowym chłodnictwie amoniakalnym. Wiele osób z działów technicznych pyta o to, które urządzenie wybrać. Sprężarkę tłokową, znaną i stosowaną w mleczarstwie od prawie stu lat czy nowoczesną sprężarkę śrubową. Spróbujemy wskazać podstawowe cechy obu. Różnice pomiędzy sprężarkami śrubowymi a tłokowymi ukażemy w aspekcie eksploatacyjnym. Porównamy sposób pracy, koszty eksploatacyjne, niezawodność oraz sprawność urządzeń. Dla projektanta maszynowni chłodniczej są to zagadnienia podstawowe. Obecnie bowiem rynek sprężarek amoniakalnych został zdominowany przez sprężarki tłokowe i dwuwirnikowe sprężarki śrubowe.

Głównym kryterium doboru urządzenia są temperatury odparowania i skraplania, a więc parametry pracy układu, wymagana wydajność chłodnicza oraz charakter pracy maszynowni<sup>17</sup>.

### **Prawidłowy dobór urządzenia – charakterystyka sprężarek**

Dla większości maszynowni chłodniczych polskich zakładów mleczarskich, optymalnym rozwiązaniem są sprężarki tłokowe. Pozwalają one uzyskać wodę lodową dzięki odparowaniu około  $-15^{\circ}\text{C}$ , zapewniając wydajność objętościową do

---

<sup>17</sup> W oparciu o: K. Kalinowski, A. Paliwoda, Z. Bonca, D. Butrymowicz, W. Targański, Amoniakalne urządzenia chłodnicze. Tom 1., Gdańsk 2000, s. 179.

ponad 1000 m<sup>3</sup>/h. Sprężarki śrubowe powinny z kolei pracować w układach o większych wydajności.

Podczas wyboru urządzenia należy również pamiętać o zawodności agregatów oraz koniecznych przeglądach serwisowych. Nie wystarczy jedna sprężarka śrubowa lub tłokowa o wymaganej wydajności. Niezbędne jest zapewnienie pracy instalacji w czasie jej przestoju poprzez zapasowy agregat chłodniczy.

Interesującym współczynnikiem jest COP (coefficient of performans – współczynnik sprawności). Rozumiany jako iloraz wydajności chłodniczej urządzenia oraz mocy elektrycznej niezbędnej do jej osiągnięcia, współczynnik wydajności, pozwala precyzyjnie określić koszt osiągnięcia efektu końcowego. Jeśli dodatkowo rozciągniemy go na moc wszystkich silników elektrycznych niezbędnych do osiągnięcia skutku chłodniczego, otrzymamy narzędzie oceny układu.

Wspomniany wyżej współczynnik w znacznym stopniu zależy od zastosowanego agregatu chłodniczego. Istotnymi składowymi są: stopień dostarczania sprężarek oraz sprawność energetyczna. Przyjmuje się, iż stopień dostarczania dla sprężarek tłokowych składa się ze strat związanych z występowaniem przestrzeni szkodliwej – niewykorzystanej części cylindra. Z kolei w sprężarkach śrubowych, gdzie przestrzeń szkodliwa jest niewielka, można pominąć jej znaczenie. Podobnie straty ciśnienia w zaworach ssawnych i tłocznych są charakterystyczne dla urządzeń tłokowych. W sprężarkach śrubowych straty te są minimalne i występują jedynie w wewnętrznych połączeniach sprężarki. Podobnie straty związane z wymianą ciepła, pomiędzy rozgrzаныmi ściankami cylindrów i czynnikiem chłodniczym są większe dla sprężarek tłokowych niż śrubowych. W rezultacie zwiększa się objętość pary właściwej czynnika i zmniejsza przetłoczona masa. Jednak do podgrzania czynnika dochodzi także podczas mieszania zassanej pary z pozostającą w przestrzeni szkodliwej sprężarki. Sposobem zmniejszenia strat jest chłodzenie ścianek cylindrów oraz doprowadzanie pary przegrzanej (około 5 – 8 K).

Z kolei współczynnik związany z przepływem czynnika chłodniczego ze strony wysokiego ciśnienia na stronę niskiego ciśnienia jest wyższy dla sprężarek śrubowych niż tłokowych. Mamy tu bowiem do czynienia z luzami pomiędzy wirnikami oraz ściankami przestrzeni wirnikowej<sup>18</sup>. Sposobem ich zmniejszenia jest odpowiedni wtrysk oleju i precyzyjna budowa wirników.

Sprawność energetyczna zależy głównie od strat wewnątrz sprężarki, strat w silniku napędowym oraz energii niezbędnej do napędu dodatkowych elementów jak na przykład pompy oleju<sup>19</sup>.

<sup>18</sup> Szersza analiza wskazanych współczynników znajduje się w cytowanej wyżej poz. ss. 227 – 229.

<sup>19</sup> Por. Tamże s. 230.

Niewątpliwie sprężarki śrubowe mają przewagę nad tłokowymi jeżeli chodzi o zakres termiczny ich stosowania. Przy wzrastającym sprężu spada znacznie wartość stopnia dostarczenia. Z kolei maksymalnej sprawności efektywnej sprężarek tłokowych odpowiada znacznie niższa wartość osiągnięta przez sprężarki śrubowe<sup>20</sup>.

Porównanie dwóch agregatów chłodniczych o mocy około 528kW pozwoliło stwierdzić, iż zużycie energii elektrycznej w przypadku sprężarki śrubowej było średnio wyższe o 18 kW. W czasie rocznej pracy oznacza to znaczne straty sięgające nawet 100 000 kWh<sup>21</sup>. Można więc stwierdzić, iż koszty eksploatacyjne związane ze zużyciem energii elektrycznej są wyższe dla sprężarek śrubowych niż dla sprężarek tłokowych.

## Problemy eksploatacyjne

Dla użytkownika eksploatującego instalację chłodniczą, ważne są koszty ponoszone podczas eksploatacji urządzenia oraz dostępność i szybkość serwisu. Niewątpliwie w tym polu przewagę posiadają sprężarki tłokowe. Ich podstawowy remont przeprowadzano często w ramach obsługi. Maszyniści potrafili zarówno wymienić pierścienie, zawory a także zdemontować wał, jeśli wymagał remontu. Zdecydowanie bardziej złożona jest eksploatacja sprężarki śrubowej. Wymiana łożysk czy remont wirnika jest pracą wymagającą znacznej precyzji. Z drugiej strony, w przypadku sprężarek tłokowych występuje znacznie więcej ruchomych elementów narażonych na przeciążenia oraz szybkie zużycie. Sprężarka śrubowa nie posiada ruchomych zaworów uszczelniających. W rezultacie serwisanci określają, iż koszty związane z wymianą zaworów przy sprężarce o wydajności około 528kW są w ciągu 20 lat eksploatacji wyższe o 16 000 dolarów niż koszty obsługi sprężarki śrubowej<sup>22</sup>.

Mówiąc o problemach eksploatacyjnych, warto zauważyć istotną różnicę w charakterystyce pracy sprężarek. W przypadku sprężarki tłokowej, po zamknięciu zaworów ssawnych, para czynnika chłodniczego jest sprężana do momentu otwarcia zaworów tłocznych. Otwarcie to następuje w chwili przekroczenia ciśnienia występującego po stronie skraplacza. Ponieważ jest ono uzależnione między innymi od temperatury (wydajność skraplacza), moment otwarcia – a więc

<sup>20</sup> Szersza analiza problemu znajduje się w: W. Warczak, Sprężarki i agregaty ziębnicze, Warszawa 1978, ss. 413-419.

<sup>21</sup> Porównanie przeprowadzone przez firmę YORK. Por. mgr inż. Bogumił GRĘDZIŃSKI, Sprawność agregatów wody lodowej, w: <http://wentylacja.com.pl/technologie/technologie.asp?ID=1029>.

<sup>22</sup> Tamże. Można mieć pewne zastrzeżenia do uogólnień. Zakłada się bowiem niezawodną pracę sprężarki śrubowej. W praktyce może się jednak okazać, iż remont śruby będzie w czasie eksploatacji konieczny i znacznie droższy.

ciśnienie tłoczenia sprężarki jest zmienne. W przypadku sprężarki śrubowej, samo ciśnienie tłoczenia jest określone w fazie projektowania przez producenta (geometria śruby i korpusu, prędkość obrotowa sprężarki). Przyrost ciśnienia w skraplaczu będzie powodował zmniejszenie przepływu czynnika chłodniczego przez sprężarkę.

Opisana zależność charakterystyki pracy sprężarki od warunków zewnętrznych wymaga starannego projektowania instalacji chłodniczej. Z drugiej strony, obsługa maszynowni znając się na urządzeniach tłokowych, może świadomie zmieniać parametry pracy – np. ciśnienie tłoczenia sprężarek tłokowych. Poprzez obniżenie ciśnienia w skraplaczu, osiągamy wcześniejsze otwarcie się zaworów tłocznych, a więc poprawę wydajności sprężarki. W przypadku sprężarki śrubowej, gdy ciśnienie tłoczenia będzie wyższe niż ciśnienie w skraplaczu, sprężarka będzie nadmiernie sprężała czynnik chłodniczy, powodując straty energii. Podobnie wraz ze wzrostem temperatury zewnętrznej, sprawność sprężarek śrubowych spada znacznie szybciej niż sprężarek tłokowych.

Ponieważ praca układu chłodniczego w mleczarniach podlega znacznym zmianom obciążenia przy prawie niezmiennej powierzchni i charakterze pracy skraplacza, lepiej sprawdzają się sprężarki tłokowe, pracujące ze zmiennym ciśnieniem tłoczenia.

## **Regulacja wydajności sprężarek**

W przypadku tłokówek, najczęściej stosuje się podwieszanie zaworów w poszczególnych cylindrach czy poprzez zmianę prędkości obrotowej silnika. Inne sposoby, takie jak upust czynnika z komory roboczej na stronę ssawną, czy wtrysk czynnika na stronę ssawną nie są stosowane ze względu na znaczne straty.

Regulacja wydajności sprężarek śrubowych polega na zmianie prędkości obrotowej lub też zastosowaniu suwaka upustowego. Pozwala on zmieniać zarówno wydajność jak i spręż wewnętrzny sprężarki. Pomimo płynnej regulacji, straty związane z pracą sprężarki śrubowej przy niepełnej wydajności są znacznie większe niż w przypadku regulacji sprężarek tłokowych. Straty te wynikają z bezowocnej pracy, którą należy wykonać by przepompować czynnik chłodniczy. Przyjmuje się, iż straty te można znacznie ograniczyć w zakresie wydajności 60% - 100%.

---

## Podsumowanie

Już pobieżna analiza porównawcza dwóch typów popularnych sprężarek wyporowych pozwala stwierdzić znaczne różnice w charakterystyce pracy. Nie można jednoznacznie stwierdzić, iż sprężarka śrubowa jest nowocześniejsza i lepsza od stosowanej od lat sprężarki tłokowej. Niewątpliwie, lepiej sprawdzają się agregaty śrubowe w instalacjach o bardzo niskich temperaturach odparowania oraz znacznych wydajnościach. Jednak koszty związane z większym zużyciem energii elektrycznej w przypadku sprężarek śrubowych, pozwalają na znaczne oszczędności związane z zastosowaniem sprężarek tłokowych. Co do kosztów remontów i napraw, są one w miarę proste do określenia dla urządzeń tłokowych. Producent określa bowiem moment, w którym należy przeprowadzić np. wymianę zaworów, pierścieni etc. Trudniej ocenić wydarzenia po części losowe. W przypadku uszkodzenia sprężarki śrubowej koszty bezpośrednie jak i utraconych korzyści mogą być znacznie większe niż w przypadku sprężarek tłokowych o prostej budowie.