
3. **Jakie chłodnictwo dla mleczarni? - właściwy dobór czynnika chłodniczego**

Powszechnie znane jest powiedzenie, iż nie ma idealnego czynnika chłodniczego. Nie jest to tylko pusty slogan. Choć faktycznie trudno wskazać najlepszy spośród wszystkich, to jednak nie dlatego, iż są one porównywalnie dobre, ale z powodu bardzo zróżnicowanych realizowanych zadań. Wystarczy zmienić zakres zamierzonych temperatur, by jedne czynniki okazały się lepszymi od innych. Wśród istotnych wymagań jest także wielkość instalacji. Trudno oczekiwać, by amoniak zdominował rynek niewielkich urządzeń klimatyzacyjnych czy komercyjnych. Na przeszkodzie staje tu istotna zaleta amoniaku, jaką jest wysokie ciepło utajone (entalpia wrzenia). Proces regulacji byłby utrudniony, z powodu bardzo niewielkich ilości czynnika, wystarczającego do uzyskania założonego efektu chłodniczego. Z kolei w instalacjach o temperaturach odparowania poniżej -33°C , amoniak znajduje się pod ciśnieniem niższym od atmosferycznego. W razie nieszczelności dochodzi do zasysania powietrza do wnętrza rurociągów. To z kolei nie tylko obniża wydajność instalacji, ale także stwarza zagrożenie wybuchu. Amoniak ma także niską liczbę molową. Wraz ze spadkiem temperatury, spada także gęstość par amoniaku, co oznacza radykalne obniżenie się pojemności cieplnej 1 m^3 pary NH_3 . W tej sytuacji korzystniej wypada zastosowanie np. dwutlenku węgla.

Uzasadnionym ekonomicznie i praktycznie wydaje się więc wskazanie wymagań stawianych czynnikom chłodniczym a następnie porównanie poszczególnych. Podstawowym zadaniem czynnika chłodniczego w instalacji jest transport ciepła pomiędzy ośrodkami. Amoniak mając wielokrotnie wyższe ciepło parowania, w większości przypadków nadaje się do tej roli lepiej niż inne czynniki.

Aspekt ekonomiczny

Całościowe ujęcie nakładów, niezbędnych do działania instalacji chłodniczej powinno obejmować zakup urządzenia wraz z jego montażem, koszt eksploatacji - wraz z nakładami ponoszonymi na zakup energii elektrycznej, zużywanej wody i kosztami napraw, oraz ostatecznie amortyzację urządzenia rozumianą tutaj jako możliwość wymiany po zakończonym okresie eksploatacji¹³.

Najprostszym sposobem ujęcia efektywności ekonomicznej czynników chłodniczych, pracujących w konkretnych układach jest współczynnik COP¹⁴. Określa się go jako stosunek wydajności chłodniczej do mocy pobieranej przez urządzenie. Wskazuje więc ile ciepła odbierze instalacja chłodnicza, po dostarczeniu 1 kW energii elektrycznej. Jest to podstawowy koszt schłodzenia określonej ilości produktu, do zadanej temperatury.

Wartość wspomnianego współczynnika zależy od zastosowanych urządzeń, zaprojektowanej instalacji i w dużej mierze wybranego czynnika chłodniczego. Rozszerzenie współczynnika COP z agregatu na całą instalację chłodniczą, pozwala określić całkowity koszt eksploatacji (jeśli chodzi o zużycie energii elektrycznej). Należy jednak pamiętać, iż łatwo zawyżyć współczynnik dla konkretnego urządzenia, na przykład sprężarki chłodniczej¹⁵. Współczynnik efektywności ma istotne znaczenie w analizie ekonomicznej na etapie projektowania czy modernizowania instalacji. Okazuje się bowiem, iż często bardziej opłaca się wymienić nieefektywne urządzenie na nowe, niż ponosić wyższe koszty energii elektrycznej.

Ponieważ czynnik chłodniczy stanowi w instalacji nośnik ciepła, powinien więc spełniać następujące warunki:

1. Zapewniać dużą jednostkową wydajność chłodniczą, co w rezultacie oznacza mniejszą ilość czynnika w układzie, mniejsze urządzenia oraz niższy koszt eksploatacji.
2. Charakteryzować się wysokim współczynnikiem przejmowania ciepła, który ma wpływ na powierzchnię wymiany ciepła w parownikach i skraplaczach.
3. Posiadać niską jednostkową teoretyczną pracę sprężania¹⁶.

¹³ Właściwa analiza ekonomiczna opiera się na obliczeniu wartości teraźniejszej i przyszłej netto. Wartość ta zależy zarówno od ilości lat pracy urządzenia, jak i rocznego poziomu inflacji i kosztu kredytu. Ciekawe propozycje analizy ekonomicznej instalacji chłodniczej podaje A. Pearson w artykule: Wydłużenie czasu użytkowania amoniakalnych systemów chłodniczych. Część 1. w: "Chłodnictwo" nr 8/ 2007 s. 28. Proponuje tu zastosowanie analizy wartości aktualnej wydatków ponoszonych podczas eksploatacji. Wnioski analiz zachęcają między innymi do racjonalizacji decyzji dotyczących remontów urządzeń w celu oszczędności energii elektrycznej.

¹⁴ z ang. Coefficient Of Performance - współczynnik wydajności.

¹⁵ Poprzez zmianę przechłodzenia, przegrzania czy też podniesienie temperatury odparowania.

¹⁶ H. J. Ullrich, Technika chłodnicza. Poradnik. T.1. Masta 1998, s. 257 i nn.

Aby uzmysłowić różnicę pomiędzy właściwościami termodynamicznymi poszczególnych czynników, porównajmy entalpię właściwą dwóch:

NH₃ - amoniak 1297,9 kJ/kg (dla temp. -10°C)

R 404 A - 176,5 kJ/kg (dla temp. -10°C)

W rezultacie tak znacznej wydajności chłodniczej, problemem w stosowaniu amoniaku są urządzenia najmniejsze, pozwalające zapewnić niewielki strumień czynnika. Wystarczy bowiem odparować kilka razy mniej amoniaku niż czynnika R 404A, by pobrać tyle samo ciepła. Jak na razie konstruuje się urządzenia amoniakalne o wydajności od 10kW wzwyż. O ile tak duża wydajność chłodnicza amoniaku jest problemem w małych urządzeniach, o tyle jest zaletą instalacji przemysłowych.

Nie bez znaczenia jest także cena zakupu czynnika chłodniczego. W przypadku czynników naturalnych, takich jak amoniak czy dwutlenek węgla jest to cena sięgająca kilku złotych za kilogram. Czynniki syntetyczne, to już koszt kilkudziesięciu złotych. O ile w przypadku instalacji o niewielkim napełnieniu, cena ta nie jest problemem, o tyle w sytuacji gdy chodzi o setki kilogramów i tony, stanowi znaczący koszt.

Aspekt użytkowy

Kilka lat temu utrwalił się stereotyp, iż amoniakalna instalacja chłodnicza to przerdzewiały układ stalowych rur, grożący w każdej chwili rozszczelnieniem, co więcej obsługiwany stale przez kilku maszynistów, których głównym zadaniem jest sterowanie, regulacja i kontrola pracy instalacji. Przeciwnie instalacje freonowe. Pełna automatyzacja w zakresie załączania i regulacji - kontroli parametrów pracy, zdejmowały z właściciela szereg problemów i zmartwień. Pozostawała tylko od czasu do czasu konieczność uzupełniania freonu, który ma tendencje do wyparowywania z wielu nieszczelnych instalacji chłodniczych.

W rzeczywistości nowoczesne instalacje amoniakalne w niczym nie ustępują freonowym w aspekcie automatyzacji. Co więcej, w świetle obowiązujących w Polsce przepisów także instalacje amoniakalne mogą być dopuszczone, pod pewnymi warunkami do eksploatacji bezobsługowej. Z pewnością należy więc porównywać instalacje amoniakalne i freonowe wykonane na podobnym poziomie jakości i zastosowanych technologii. Zarówno jedno jak i drugie mogą być sterowane na odległość przez łącza internetowe, nie potrzebują stałej obsługi i wykonane są w sposób zapewniający bezawaryjną i bezpieczną pracę.

Istotnym parametrem jest czas użytkowania instalacji. Zależy on przede wszystkim od zużycia części ruchomych. Sprężarki, zawory elektromagnetyczne, pompy czy też silniki stosowane w instalacjach amoniakalnych i freonowych zużywają się podobnie. Czas ich eksploatacji zależy głównie od troskliwości użytkownika. Sama instalacja to układ rur, kształtek i odpowiedniej armatury. W przypadku instalacji amoniakalnych oraz na dwutlenek węgla mamy do czynienia z rurociągami stalowymi, w przypadku freonów najczęściej z instalacjami miedzianymi. Doświadczenie oparte na obserwacji, pozwala stwierdzić, iż dzięki stałemu obiegowi oleju w instalacji amoniakalnej, nie dochodzi do korozji rurociągów od wewnątrz. Można spokojnie założyć okres eksploatacji na kilkadziesiąt lat. Narażenie na korozję zewnętrzną powłoki rurociągu zależy głównie od zastosowanej izolacji. Ponieważ przyptyw wilgoci w przypadku rurociągów chłodniczych jest od powietrza do powierzchni rury, tylko odpowiedniej klasy izolacja wilgociochronna zabezpiecza przed korozją stalowych rurociągów. Czas eksploatacji urządzeń sprężarkowych zależy od ich prawidłowego doboru, montażu oraz obsługi.

Praktyczne znaczenie ma zapach amoniaku wyczuwany nawet z odległości 500 metrów. Pozwala on wykryć nawet najmniejszą nieszczelność. Pracując z instalacjami freonowymi, stosujemy specjalne urządzenia, pozwalające wykryć bezwonny freon. Serwisowaliśmy instalację freonową, w której minimalnie uszkodzony został lamel parownika. Wydostawanie się freonu pozwoliły zdiagnozować dopiero czujniki, oraz niedobór czynnika w instalacji. Nieszczelność amoniaku zostałaby natychmiast zauważona. W rezultacie instalacja nie pracowała prawidłowo do czasu serwisu.

Drugą, przydatną dla praktyków cechą tego czynnika chłodniczego, jest doskonała rozpuszczalność w wodzie. Ułatwia ona między innymi usuwanie amoniaku z instalacji. Przepuszcza się wówczas pary amoniaku przez pojemnik z wodą. Do rozpuszczenia kilograma czynnika, wystarcza 5,5 litra wody. Obserwując pracę monterów i serwisantów urządzeń freonowych, należy stwierdzić, że wydostawanie się freonu do atmosfery, zdarza się często. Czasem jest to nieuchronne, właśnie z powodu właściwości fizycznych tego czynnika chłodniczego. Warto pamiętać, że określenie freonu jako bezpiecznego, oznacza jedynie spełnianie odpowiednich norm. Nie oznacza jednak nieszkodliwości czynnika.

Instalacje miedziane ze względu na miękkość tego metalu łatwo ulegają rozszczelnieniu. Narażenie na drgania oraz wymywanie przez przepływ wewnętrzny czynnika chłodniczego, dość szybko prowadzi do powstania nieszczelności. Brak zapachu czynników syntetycznych nie pozwala w łatwy sposób zdiagnozować tego problemu. Pierwszym objawem jest więc najczęściej wyraźny spadek wydajności chłodniczej.

Podstawowym problemem eksploatacyjnym w instalacji opartej na dwutlenku węgla, jest nisko usytuowany punkt krytyczny. Określa go temperatura 31,04°C oraz ciśnienie ponad 73 bar. Zdecydowanie wyższe ciśnienia niż w przypadku innych czynników chłodniczych (do 100 bar), wymagają zastosowania wyjątkowych urządzeń. O ile dostępna jest już na rynku armatura spełniająca wysokie wymagania jeśli chodzi o ciśnienie, o tyle niewiele jest sprężarek na dwutlenek węgla. Szereg zalet tego czynnika zachęca do badań i podejmowania prób. W Polsce powstało już kilka instalacji zbudowanych w układzie kaskadowym. Na drugim stopniu pracują urządzenia amoniakalne lub freonowe na pierwszym oparte na dwutlenku węgla. Jedną z pierwszych powojennych instalacji wykonało Grasso w oparciu o agregat sprężarkowy typu Cascade Unit 550.

Należy podkreślić, iż racjonalnym obszarem zastosowania instalacji CO₂ jest przedział temperatur -35°C do -54°C. W przypadku wyższych temperatur, korzystniejsze jest zastosowanie instalacji amoniakalne. Dla porównania, sprężarka pracująca na dwutlenku węgla może mieć nawet 10 - krotnie mniejszą wydajność objętościową niż na przykład R22 dla osiągnięcia tego samego efektu chłodniczego. Oznacza to oszczędność nie tylko energii elektrycznej, ale także zużycia poszczególnych elementów urządzeń.

Inną możliwością zastosowania CO₂ w instalacji jest układ pośredni. Dwutlenek węgla zastępuje tu glikol lub solankę schładzaną w instalacji amoniakalnej. Skroplony czynnik jest następnie rozprężany w parowniku, gdzie odparowując pobiera 289,75 kJ/kg (entalpia parowania dla -20°C). Jest to taka ilość ciepła która podniosłaby temperaturę jednego kilograma glikolu propylenowego o ponad 90 K. W rezultacie zamiast rurociągów o średnicy 150 mm dla tej samej wydajności chłodniczej wystarcza linia 23mm. Zastosowanie CO₂ pozwala osiągnąć temperatury, przy których lepkość solanki czy glikolu uniemożliwia normalną pracę układu.

Instalacje kaskadowe NH₃/ CO₂ lub też oparte na dwutlenku węgla jako substancji pośredniczącej pozwalają osiągnąć zdecydowanie korzystniejsze efekty pracy instalacji o temperaturach poniżej -35°C niż inne czynniki.

W przypadku instalacji w zakładach mleczarskich, najważniejszym zadaniem jest jednak uzyskanie wody lodowej. Wystarcza więc odparowanie na poziomie -5°C. W tym zakresie najkorzystniejsze są instalacje amoniakalne.

Aspekt ekologiczny

Idealny czynnik w aspekcie ekologicznym charakteryzuje się zerowym potencjałem niszczenia warstwy ozonowej, zerowym potencjałem efektu cieplarnianego, z brakiem właściwości niszczących instalację. Kryteria te spełniają doskonale czynniki naturalne, takie jak amoniak czy dwutlenek węgla. W naturze powstaje rocznie ponad 3 miliardy ton amoniaku. Na cele chłodnicze wykorzystuje się zaledwie 500 000 ton amoniaku rocznie.

Amoniak odznacza się pełną obojętnością ekologiczną. Co więcej, pełni w środowisku naturalnym pozytywną rolę. W postaci gazowej dzięki swej lekkości szybko unosi się ku górze. Pogląd o niebezpieczeństwach związanych z tym czynnikiem, pochodzi od jego nieprzyjemnego, gryzącego zapachu. Jest on jednak jego zaletą, ponieważ próg wykrywalności amoniaku jest dwudziestokrotnie niższy od stężenia szkodliwości, a 280 – krotnie niższy od dawki śmiertelnej. Zanim dojdzie do niebezpiecznego stężenia, każda istota zdolna do samodzielnego poruszania, jest w stanie opuścić zagrożony teren. Podobnie jest z temperaturą zapłonu, która wynosi 651°C. Nie ma więc możliwości zapalić go papierosem czy zapałką. Amoniak jest więc substancją bezpieczną, pod warunkiem stosowania go w prawidłowo zaprojektowanych i wykonanych urządzeniach chłodniczych, czy pompach ciepła.

Amoniak jest stosowany w technice chłodniczej od 130 lat. Został więc doskonale wypróbowany. Jest bezkonkurencyjny w zakresie od 0°C do -50°C, choć coraz częściej spotyka się również klimatyzatory pracujące na amoniaku, jak i niewielkie instalacje chłodnicze. Niewątpliwie przyszłość należy do naturalnych czynników chłodniczych, takich jak woda, amoniak czy dwutlenek węgla. Choć mają one także liczne ograniczenia, są zdecydowanie lepszymi w sferze czy to ekologii, ekonomiki czy prostoty instalacji. Należy podkreślić, iż bezpieczne stosowanie amoniaku uwarunkowane jest właściwym zaprojektowaniem i prawidłowym wykonaniem instalacji lub urządzenia. Równocześnie zaś obserwujemy malejącą liczbę fachowców w dziedzinie chłodnictwa amoniakalnego.

Niezmiernie rzadko dochodzi do wybuchów czy pożarów spowodowanych nieszczelnościami instalacji amoniakalnych. Najczęściej są one spowodowane głupotą lub niewiedzą.

Chłodzenie w mleczarniach

Okazuje się, iż podstawowym zadaniem chłodnictwa w mleczarstwie jest uzyskanie wody lodowej (wody o temperaturze zbliżonej do 0°C). Zdecydowanie rzadziej zdarzają się mroźnie składowe masła. W większości przypadków wystarcza więc temperatura odparowania na poziomie -5°C. Najlepiej sprawdza się tutaj instalacja amoniakalna. Ze względu na najwyższe ciepło parowania oraz inne właściwości tego czynnika, chłodnictwo amoniakalne jest najkorzystniejsze ekonomicznie i praktycznie. Podczas dwudziestoletniego doświadczenia w wykonywaniu, ale i demontażu instalacji amoniakalnych, byliśmy świadkami wielu decyzji inwestorskich. Liczni przedsiębiorcy demontowali instalacje amoniakalne, stosując nowinki, włącznie z chłodzeniem przy użyciu ciekłego azotu. W rezultacie, ponoszone koszty przerastały osiągnany przychód.

Te spośród zakładów mleczarskich, które stawiają na rozwój i inwestowanie w nowe, opłacalne technologie, muszą rozważyć i przyjąć długofalową strategię dotyczącą chłodnictwa. Większość linii technologicznych wymaga dostarczania wody lodowej. W zależności od rozwiązań maszynowni chłodniczej, koszt uzyskania wody lodowej może być wyższy lub niższy. Podobnie jest także z chłodzeniem komór. Jednak głównym obciążeniem większości zakładów jest produkcja. Podstawowym dylematem z punktu widzenia ekonomii jest więc wybór stosowanego czynnika chłodniczego. Dokonując analizy kosztowej zakładu, warto rozważyć alternatywne sposoby chłodzenia, oparte o lepsze czynniki, nowsze rozwiązania czy adekwatne do potrzeb urządzenia.

W kolejnym rozdziale porównamy dostępne na rynku urządzenia chłodnicze oraz systemy rozwiązań stosowane w Europie i na całym świecie w branży mleczarskiej. Spróbujemy zaproponować układy właściwe dla Polskich zakładów.