

---

## 2. Systemy chłodzenia w mleczarstwie

Podstawowym zadaniem, nie tylko w fazie projektowania nowej instalacji, ale także modernizowania istniejącej jest docelowy kształt systemu chłodzenia. W ten sposób ułatwia się przygotowanie długofalowej strategii zakładu. W niniejszym artykule ukażemy kilka podstawowych rozwiązań stosowanych w zakładach mleczarskich wraz z kryteriami doboru poszczególnych rozwiązań.

Punktem wyjścia w doborze właściwego systemu jest właściwe określenie zapotrzebowania wydajności chłodniczej. Zarówno w aspekcie czasowym, jak i absolutnym. Wielkość zapotrzebowania i zróżnicowanie dobowe decyduje o opłacalności i możliwości akumulacji zimna, czy też stosowaniu bezpośrednich schładzaczy wody. W pierwszej części artykułu omówimy stosowane rozwiązania, w drugiej kryteria ich doboru.

Zasadniczo możemy mówić o dwóch podstawowych systemach chłodzenia. Pierwszy polega na akumulacji "chłodu" polegającej na wyprzedzającym schłodzeniu masy wody, solanki glikolu czy też wytworzeniu lodu. Drugi system zakłada bieżącą możliwość zapewnienia wymaganej wydajności chłodniczej. Coraz częściej stosuje się modyfikację i łączenie obu systemów.

Stosując inne kryterium, możemy mówić o systemach pośrednich oraz bezpośrednich. Bezpośrednie polegają na pobieraniu ciepła podczas przemiany fazowej czynnika chłodniczego. W systemach pośrednich, podczas przemiany fazowej czynnika chłodniczego obniża się temperaturę chłodziwa, które następnie pobiera ciepło od schładzanej substancji zwiększając swoją temperaturę. Schłodzenie wody do temperatury zbliżonej do 0°C wymaga szeregu zabezpieczeń, aby uniknąć przemiany w lód. Jednak stosowanie wody lodowej pozwala uniknąć zdecydowanie gorszego rozpadu emulsji - mleka, związanego ze zbyt znacznym obniżeniem temperatury. W razie zastosowania glikolu może bowiem dojść do nadmiernego jego schłodzenia a w konsekwencji zniszczenia partii mleka.

## Systemy z akumulacją "chłodu"

Akumulacja chłodu polega na rozdzieleniu od siebie i przesunięciu w czasie procesu przemiany fazowej czynnika chłodniczego zachodzącej w układzie chłodniczym oraz schładzania produktów mleczarskich. Najczęściej stosowany system, to opisany szerzej w numerze 10/2007 "Przeglądu mleczarskiego" akumulacyjny oziębiacz wody. Nagromadzenie właściwej ilości lodu na węzownikach zbiornika pozwala w późniejszym czasie uzyskać znaczne ilości wody o temperaturze zbliżonej do 0°C. Proces przemiany fazowej - odparowanie czynnika chłodniczego w węzownicy oziębiacza pozwala uzyskać określonej miąższości warstwę lodu. Podczas stapiania lodu ochładza się wodę, służącą do schładzania mleka, śmietany czy też innych produktów.

Poszczególne rozwiązania różnią się od siebie sposobem akumulowania "chłodu". Najczęściej spotykanym w zakładach mleczarskich oraz systemach klimatyzacji jest opisany system akumulacji lodu. Jest on najkorzystniejszy z punktu widzenia ekonomii. Właściwości termodynamiczne wody zapewniają najlepszą z możliwych akumulację. Do stopienia 1 kilograma lodu potrzeba bowiem 335kJ ciepła. Możemy mówić o znacznej "pojemności" takich akumulatorów. Jednak zbyt często zapomina się o innych parametrach decydujących o skuteczności procesu akumulacji chłodu. Poza pojemnością, należy zwrócić uwagę na sprawność wymiany ciepła. Nie wystarczy nagromadzić znacznych ilości lodu, trzeba jeszcze zapewnić możliwość wystarczająco szybkiego rozładowania zbiorników. Dopiero te dwa parametry pozwalają na właściwe funkcjonowanie instalacji chłodniczej opartej na akumulacji lodu<sup>12</sup>.

Pośrednim systemem pomiędzy akumulacją w lodzie a zbiornikami schłodzonej wody czy glikolu jest tzw. chłodnica ociekowa wody. W rozwiązaniu tym amoniak odparowuje w przestrzeni pionowych płyt wykonanych ze stali nierdzewnej umieszczonych w odległości około 10 mm od siebie. Woda zaś jest schładzana poprzez omywanie powierzchni płyt. Spływa do zbiorników umieszczonych poniżej chłodnic ociekowych. W rezultacie nie ma ryzyka zamarznięcia wody. Równocześnie uzyskuje się wodę o temperaturze około 0,5°C. Ponieważ na powierzchni płyt wytwarza się warstwa lodu, akumulacja nie ogranicza się tylko do gromadzenia schłodzonej wody, ale także do uzyskania pewnej ilości lodu. Jest to ilość zdecydowanie mniejsza niż w przypadku akumulacyjnych oziębiaczy wody, pozwala jedna odebrać istotną ilość ciepła od schładzanej wody.

Dla zobrazowania pojemności akumulacyjnych oziębiaczy wody lodowej,

---

<sup>12</sup> Szerzej problematyka ta została omówiona w numerze "Przeglądu mleczarskiego". Sam proces projektowania instalacji wody lodowej jest na tyle złożony, iż wykracza poza ramy tego opracowania.

opartych na gromadzeniu lodu, porównamy je ze zbiornikami wody lodowej. Jeśli przyjmiemy, iż w standardowym oziębiaczu o powierzchni 200 m<sup>2</sup> można zgromadzić około 6000 kg lodu, do jego roztopienia i podgrzania wody o 5 K potrzeba dostarczyć 2'135 700kJ ciepła. Aby pobrać tę ilość ciepła bez przemiany fazowej wody, potrzeba jej zgromadzić w zbiornikach ponad sto tysięcy kilogramów. To uproszczone porównanie pokazuje, iż w sytuacji gdy musimy akumulować znaczne ilości chłodu, najlepszym rozwiązaniem jest akumulacyjny oziębiacz wody lodowej, oparty na gromadzeniu lodu.

W przypadku, gdy nie ma potrzeby akumulowania znacznych ilości "chłodu", dla zapewnienia buforu w razie skoku wymaganej wydajności chłodniczej wystarcza zastosować zbiornik schłodzonej wody.

W ostatnich latach znaczną popularnością cieszą się płytowe wymienniki ciepła. Ich niewątpliwą zaletą jest minimalne napełnienie czynnikiem chłodniczym oraz niewielkie gabaryty samego urządzenia. W przypadku stosowania tego typu wymienników do chłodzenia wody w okolicach 0°C, powstaje jednak ryzyko zamrznięcia. W praktyce inżynierskiej stosujemy tu sprawdzone rozwiązania i wielopoziomowe zabezpieczenia. Najkorzystniej jest sterować ciśnieniem i temperaturą, oraz stosować dodatkowe zabezpieczenie przeciwzamrożeniowe. Spotykamy jednak różne instalacje, w których zabezpieczenia okazały się niewystarczające lub zawodne.

Alternatywą dla schładzania wody, jest stosowanie substancji pośredniczącej, najczęściej glikolu, inny typ wymiennika ciepła lub podniesienie temperatury wody do kilku stopni. Niestety, zastąpienie wody glikolem, oznacza w praktyce 30% - 40% spadek wydajności urządzenia. Podobnie jest z podniesieniem temperatury wody. Dla prawidłowego przebiegu procesu schładzania substancji w mleczarniach, najlepsza jest temperatura wody około 0°C. Pozwala ona osiągnąć wyższą różnicę temperatur a w rezultacie lepszą wymianę ciepła.

Należy więc zwracać szczególną uwagę, decydując się na zakup schładzacza wody - chillera lub innego systemu zapewniającego wodę lodową dla zakładu. O ile schładzanie chłodniczych przestrzeni magazynowych, nie stanowi często istotnego obciążenia, o tyle samo uzyskiwanie wody lodowej to często główny element bilansu chłodniczego.

## Systemy bezpośredniego schładzania cieczy

W niektórych sytuacjach korzystniej jest schładzać wodę lub inną ciecz bezpośrednio - w ilości odpowiadającej zapotrzebowaniu. Podobnie jak w przypadku akumulacji, istnieje wiele szczegółowych rozwiązań. Różnią się one przede wszystkim rodzajem wymienników ciepła, typem sprężarki oraz sposobem zasilania parownika.

Istotne znaczenie w procesach schładzania cieczy mają od lat parowniki płaszczowo - rurowe. Stosowane głównie do chłodzenia solanki i glikoli, pozwalają uzyskać temperatury rzędu  $-30^{\circ}\text{C}$ . W przypadku schładzania wody pracują one jako parowniki suche. Pozwala to ograniczyć ryzyko zamarznięcia wody, wysokie w przypadku parowników płaszczowo - rurowych zalanych. Nie będziemy analizować szczegółowo budowy tego typu wymienników. Ich dobór jest skomplikowany, jednak dobrze dobrane urządzenie pozwala optymalizować zużycie energii, nakład inwestycyjny oraz wydajność parownika.

Pewną odmianę opisanego parownika płaszczowo - rurowego stanowi parownik zroszeniowy. W tym przypadku wiązka rur jest zraszana ciekłym czynnikiem chłodniczym, tworzącym cienki film na powierzchni poprzecznie umieszczonych rur. Mamy więc do czynienia z odparowaniem warstwy cieczy. W przestrzeni wewnątrz rurowej płynie schładzana ciecz. W porównaniu do klasycznych parowników płaszczowo - rurowych uzyskuje się w ten sposób wyższy współczynnik wnikania ciepła, przez co można stosować wyższe temperatury parowania.

Znaczną popularność zyskują w ostatnich latach schładzaczki zbudowane na zasadzie płytowego wymiennika ciepła - parownika zasilanego grawitacyjnie. Niewątpliwą ich zaletą jest kompaktowa budowa oraz możliwość zunifikowania i prefabrykacji, co znacznie obniża cenę urządzenia. Jednak doświadczeni praktycy określają je mianem "teoretycznie doskonałych". Zastosowane rozwiązania, niezawodne zabezpieczenia pozwalają uzyskać temperaturę wody lodowej na poziomie poniżej  $1^{\circ}\text{C}$ . Najczęściej regulatorem jest zawór utrzymujący ciśnienie parowania na ssaniu, oraz system regulacji zasilania parownika płytowego. Istotną zaletą tego typu wymienników płytowych jest niewielka pojemność przestrzeni amoniaku lub innego czynnika chłodniczego, oznaczająca wyższe bezpieczeństwo użytkowania urządzenia. Płyty składające się na wymiennik tworzą szereg kanałów przepływu czynnika. Przestrzeń pomiędzy nimi pozwala na utworzenie warstwy czynnika o grubości około 2 mm. Wymiana ciepła odbywa się tutaj poprzez ściankę tworzoną przez płyty.

W praktyce zdarza się iż zawiedzie zawór regulujący ciśnienie lub inny element regulacyjny co prowadzi do zamrożenia schładzanej w wymienniku płytowym wody. Lód blokuje wówczas przepływ cieczy, przerywając proces schładzania na czas niezbędny do rozmrożenia urządzenia. Stąd korzystniejsze w praktyce wydaje się stosowanie innych typów parowników. Decydując się na parownik płytowy do bezpośredniego schładzania wody, należy szczególną uwagę poświęcić dobrowi właściwej i niezawodnej automatyki. Takiej, która gwarantuje niezawodną pracę urządzenia przez kilka lat.

## Uproszczony dobór systemu chłodzenia

Zasadniczy wybór pomiędzy systemem akumulacyjnym a chłodzeniem bezpośrednim opiera się przede wszystkim na możliwości i konieczności gromadzenia "chłodu". Aby móc namrozić pewną ilość lodu, niezbędna jest nadwyżka wydajności chłodniczej w ciągu doby lub tygodnia pracy instalacji chłodniczej. Nadwyżka ta, wynikająca często z zróżnicowania obciążeń, musi być na tyle duża by opłacało się zainwestować w akumulacyjne oziębiacze wody lodowej lub inne urządzenia pełniące podobną funkcję. W znacznym uproszczeniu, wystarczy spadek zapotrzebowania na moc chłodniczą zakładu o 20% przez pięć godzin, aby zakumulować ilość "chłodu" równą mocy sprężarek. Najczęściej rozkład obciążenia jest bardziej zróżnicowany.

Przykładowo instalacja klimatyzacyjna wymaga dostarczenia wody lodowej głównie w godzinach południowych. Lód można więc zakumulować w nocy, lub godzinach porannych. Dla właściwego doboru i zaprojektowania instalacji zakładu należy więc precyzyjnie określić zapotrzebowanie na moc chłodniczą w poszczególnych godzinach i dniach tygodnia.

Teoretyczne zapotrzebowanie zakładu równe jest uśrednionemu zapotrzebowaniu dobowemu/ tygodniowemu. W praktyce instalacja powinna spełniać także inne warunki: należy brać pod uwagę możliwość maksymalnego obciążenia systemu chłodzenia. Jeśli wydajność urządzeń i linii technologicznych pozwala zwiększyć przerób surowca, jest prawdopodobnym iż zapotrzebowanie chwilowe co najmniej dwukrotnie przekroczy zakładaną wartość uśrednioną. W tej sytuacji akumulacja "chłodu" w lodzie lub wodzie lodowej ma zapewnić wystarczającą wydajność instalacji.

