
8. Chłodnie wyparne wody – tanie i niezawodne chłodzenie w mleczarstwie

Światowe tendencje, mające na celu ograniczanie zużycia energii zachęcają do wykorzystywania istniejących zasobów naturalnych. W myśl drugiej zasady termodynamiki, ciepło przepływa tylko z ciała o wyższej temperaturze do ciała o temperaturze niższej. Niemiecki fizyk Clausius wykazał, iż do odwrotnego przepływu ciepła potrzebny jest wydatek energii²⁹. W sprężarkowych urządzeniach chłodniczych dostarczana jest praca mechaniczna, natomiast w instalacjach absorpcyjnych energia cieplna.

W sytuacji gdy mamy do dyspozycji ośrodki o temperaturze niższej, do którego chcemy odprowadzić ciepło, nie musimy wykonywać dodatkowej pracy. Już ponad 5000 lat temu Chińczycy wiedzieli, że lód dodany do napojów schładza je, a Grecy i Rzymianie sprowadzali z gór śnieg, używany do celów chłodniczych.

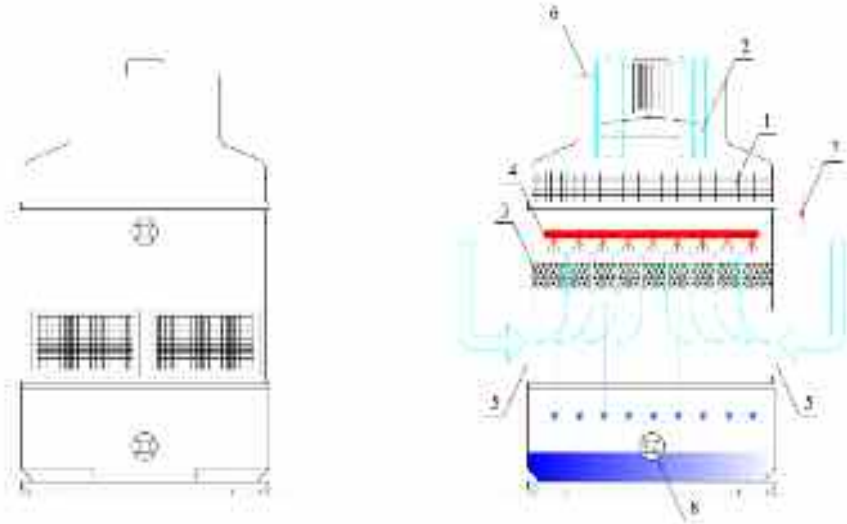
Najprostszym sposobem schładzania produktów, jest wykorzystanie różnicy temperatur pomiędzy otoczeniem a schładzaną substancją. Czyli, ochładzanie w sposób naturalny. W praktyce inżynierskiej, często stosujemy wodę jako substancję pośredniczącą w wymianie ciepła. Z punktu widzenia jej właściwości termodynamicznych jest to czynnik wyjątkowo dobry. Podczas odparowania, jeden kilogram wody pobiera około 2250 kJ ciepła³⁰. W rezultacie w prosty sposób możemy schłodzić wodę do temperatury bliskiej temperaturze termometru mokrego, w okresie jesienno - zimowym do kilku stopni Celsjusza (2°C do 3°C dla temperatur zewnętrznych spadających poniżej 0°C). Każdy zakład mleczarski, dysponując wodą o takich parametrach, schładzaną w układzie zamkniętym, może obniżyć koszty produkcji.

²⁹ Por. B. Stefanowski, J. Jasiewicz, Podstawy techniki cieplnej, Warszawa 1972, s.77nn. Oraz Hans – Jürgen Ullrich, Technika chłodnicza. Poradnik. Tom 1. s. 38 i nn.

³⁰ Dla zobrazowania, tyle ciepła odebranego od 6 litrów mleka pozwoli schłodzić je o prawie 90K.

Podstawowe typy wież chłodniczych

Urządzeniami pozwalającymi osiągnąć opisany wyżej efekt są wieże chłodnicze czy też rozumiane węże chłodnie wyparnej wody. Są to wymienniki masy i ciepła, pozwalające przy minimalnym nakładzie energii i zachowaniu w obiegu około 95% wody, schłodzić ją do wymaganej temperatury. Najprostsze rozwiązanie chłodni wentylatorowej pokazano na poniższym rysunku.



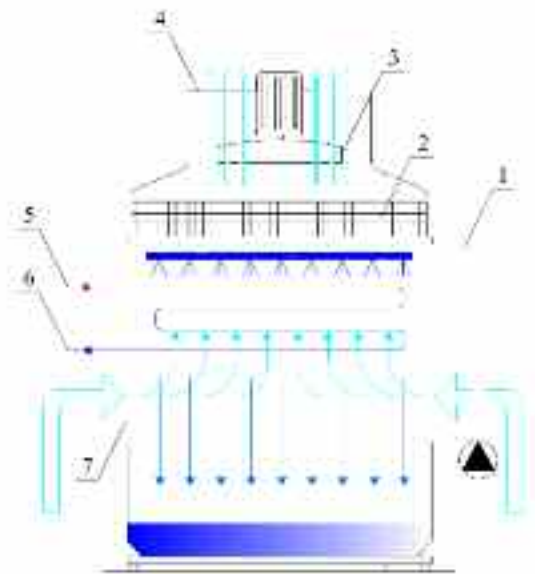
Rys. 1. Wentylatorowa chłodnia wody z obiegiem otwartym (archiwum autora)

1 – odkraplacz służący do zatrzymywania kropli wody unoszonych przez strugi powietrza, 2 – wentylator (w tym przypadku osiowy), 3 – wkład nawilżany ułatwiający wymianę ciepła i masy, 4 – rozdzielacz wody, 5 – wlot powietrza, 6 – wylot powietrza, 7 – dopływ wody chłodzonej, 8 – odpływ wody schłodzonej.

Ogrzana woda pompowana jest do rozdzielacza 4, gdzie przy pomocy dysz wytwarza się mgła wodna, zraszająca wkład 3, przez który w przeciwnym kierunku płynie powietrze wymuszane działaniem wentylatora 2. W przypadku gdy temperatura wody doprowadzanej do chłodni jest wyższa od temperatury termometru mokrego, ciśnienie pary wodnej w warstwie granicznej wody jest wyższe niż ciśnienie pary zawartej w powietrzu. W związku z tym dochodzi do odparowania określonej ilości wody oraz podniesienia entalpii powietrza. Zadaniem odkraplacza 1 jest zmniejszenie strat wody spowodowanej jej unoszeniem w strumieniu odpływającego powietrza. Ochłodzone krople wody spadają wzdłuż

chłodni do zbiornika umieszczonego w dolnej części urządzenia. Należy zwrócić uwagę, iż główny efekt chłodniczy uzyskuje się wskutek wymiany ciepła utajonego – ciepła parowania, o którym wspomniano wyżej. Prędkość przepływu powietrza wynosi około 2,5 – 3,5 m/s, a natężenie zraszania wynosi od 1,1 do 7 kg/m²/s. Proces wymiany ciepła w chłodni wentylatorowej powodowany jest przede wszystkim różnicą entalpii wody i powietrza.

Oprócz scharakteryzowanej wyżej chłodni pracującej w systemie otwartym, spotyka się także urządzenia z obiegiem zamkniętym. W tym przypadku, nie dochodzi do bezpośredniego styku wody chłodzącej i cieczy schładzanej. Zaletą tego rozwiązania jest możliwość schładzania innych cieczy, nie tylko wody. Wadą, mniejsza skuteczność chłodzenia.



Rys. 2. Wentylatorowa chłodnia wody z obiegiem zamkniętym (archiwum autora).

1- dopływ wody chłodzącej, 2 - odkraplacz służący do zatrzymywania kropli wody unoszonych przez strugi powietrza, 3 - wentylator (w tym przypadku osiowy), 4 – wylot powietrza, 5 – dopływ chłodzącej cieczy, 6 – odpływ schłodzonej cieczy, 7 – wlot powietrza.

W tym przypadku ciecz schładzana (dopływ 5, odpływ 6) nie oddaje ciepła poprzez odparowanie, ale tylko podgrzewając wodę chłodzącą. Ta zasysana ze zbiornika ściekowego, doprowadzana jest pompą do kolektora rozdzielającego, wytwarzającego równocześnie mgłę wodną.

Obydwie chłodnie opisane powyżej, należą do wież chłodniczych o sztucznym ciągu. Ruch powietrza wymuszają wentylatory. Inny typ szeregu stanowią wieże o ciągu naturalnym. Zamiast wentylatorów wykorzystuje się ruch powietrza wywołany różnicami w gęstości pomiędzy powietrzem dostarczanym, a znajdującym się w wieży. Zasada działania wymusza charakterystyczną budowę tych chłodni. Komin ma tu wysokości ponad 100 m³¹. Charakterystyczne chmury znajdujące się nad chłodnią to powietrze nasycone parą wodną.



Fot. 1. Zdjęcie wież chłodniczych o naturalnym ciągu elektrowni jądrowej w Cofrentes w Hiszpani. fot. Roberto Uderio³².

W chłodzeniu na mniejszą skalę, stosowanym w zakładach mleczarskich nie stosuje się podobnych rozwiązań. Mają one zastosowanie w przypadku, gdy potrzebna jest duża ilość wody technologicznej, a więc głównie w elektrowniach.

³¹ W Polsce najwyższe chłodnie kominowe mają 132m wysokości, są konstrukcjami żelbetowymi, o obciążeniu ponad 3500 GJ/h.

³² Por. http://pl.wikipedia.org/wiki/Grafika:Cofrentes_nuclear_power_plant_cooling_towers.jpg

Analiza ekonomiczna

Wybór sposobu chłodzenia wody obiegowej powinien być wynikiem analizy czynników technologicznych, uwarunkowań ekologicznych i ekonomicznych. Jak wspomniano wyżej, początkowo stosowano chłodnie wentylatorowe wody jako układ chłodzenia wody w skraplaczach. Od niedawna urządzenia te służą jako tani sposób schładzania cieczy. W przykładowej mleczarni chłodnia wentylatorowa pozwala odebrać od serwatki ponad 258 000 kcal w ciągu godziny w okresie jesiennym.

W jaki sposób dokonywać uproszczonej analizy opłacalności stosowania chłodni wentylatorowej? Najprostszym sposobem jest porównanie alternatywnych, dostępnych sposobów schładzania wody w aspekcie kosztowym. Podstawowym składnikiem kosztów zależnych od obciążenia chłodniczego jest energia elektryczna, kosztów stałych amortyzacja urządzeń i instalacji. W obliczeniach można przyjąć iż zużycie wody poprzez jej odparowanie jest podobne w skraplaczach natryskowo – wyparnych oraz chłodniach wody. Ponieważ najczęściej alternatywą dla chłodni wentylatorowej jest istniejąca już maszynownia chłodnicza, zamiast kosztu instalacji chłodniczej należy wziąć pod uwagę jedynie koszty eksploatacyjne oraz koszty obsługi, remontów i napraw.

Innym sposobem wykorzystania niskich temperatur otoczenia jest tzw. system „free cooling”. Stosowany często z agregatami freonowymi lub klimatyzatorami, polega na włączeniu chłodnicy cieczy w obieg wodny przed agregatem chłodniczym. Zawór trójdrożny, sterowany temperaturą zewnętrzną, pozwala na wyłączenie z pracy sprężarki, schładzając zadaną ciecz w wymienniku ciepła umieszczonym na zewnątrz. Często producenci stosują ten system oszczędzania energii w jednej zabudowie ze skraplaczami freonowymi. Uzyskuje się zwartą budowę oraz niższy koszt urządzenia. Z wyliczeń producentów wynika możliwość oszczędzenia do 34% energii elektrycznej³³. Słabą stroną podobnego rozwiązania są: gorsze od wody właściwości termodynamiczne glikolu, oraz ograniczona wymiana masy w procesie wymiany ciepła. Dla porównania kilogram glikolu propylenowego (80% roztwór wodny produkowany pod nazwą Antifrogen L przez firmę Hoechst) w temperaturze 20°C pobiera około 2,8kJ ciepła. Czyli do schłodzenia 100 litrów mleka z temperatury 60°C do 0°C należy dostarczyć ponad 220 kilogramów Antifrogenu zakładając, jego podgrzanie o 40K³⁴. Gdy zastosujemy chłodnię wyparną, tyle samo ciepła pobierze przy odparowaniu 11 litrów wody. Chłodnia wyparna wody wykorzystuje ciepło utajone związane z przemianą fa-

³³ Firma Trane. Źródło: Serwis prasowej informacji technicznej Francuskiej Agencji d/s Międzynarodowego Rozwoju Przedsiębiorstw UBIFRANCE przy Misji Ekonomicznej Ambasady Francji w Warszawie. Rok 2005.

³⁴ Dla porównania wystarczyłoby 150 kg wody podgrzanej także o 40K.

zową, w przypadku opisanej cieczy pośredniczącej, jest to jedynie ciepło jawne. W konsekwencji dla stosowanego glikolu większy będzie wydatek energetyczny związany z pracą pomp oraz większą średnicą rurociągu.



Fot.2. Chłodnia wentylatorowa produkcji polskiej, wykonana z tworzywa sztucznego. Archiwum autora.

Przytoczone dane są podane w przybliżeniu. Nie uwzględniają strat związanych ze sprawnością energetyczną instalacji, gęstością i lepkością cieczy czy też zmianami ciepła właściwego substancji w funkcji temperatury. Pozwalają jednak zobrazować różnicę pomiędzy systemami chłodzenia wody w sposób naturalny.

Wybrane problemy eksploatacyjne

Źródłem problemów w eksploatacji chłodni wyparnych wody mogą być: hałas, unoszona przez strugi powietrza wilgoć, ujemne temperatury oraz osad kamienia kotłowego. Większość problemów związanych z eksploatacją wież chłodniczych można wyeliminować na etapie projektowania instalacji. Umieszczenie

urządzenia w miejscu o dopuszczalnym poziomie hałasu większym niż powodowany pracą wentylatora oraz zwracanie uwagi na kierunek wyrzutu wilgotnego powietrza to podstawowe wytyczne projektanta. Należy również zwracać uwagę na właściwy dopływ świeżego i czystego powietrza³⁵. Przystosowanie instalacji do pracy w okresie zimowym pozwala wykorzystać najkorzystniejszy czas pracy chłodni wody obiegowej. Należy zwracać uwagę na prowadzenie rurociągów zapewniające spływ wody do zbiornika oraz zabezpieczenie przed obniżeniem w nim temperatury poniżej 0°C.

Ponieważ przy dużej wydajności cieplnej chłodni, znaczna ilość wody odparowuje, dochodzi do zwiększenia stężenia soli mineralnych w obiegu. W rezultacie powoduje to zanieczyszczenie powierzchni rur oraz porastanie mikrobiologiczne powierzchni stykającej się z wodą. Coraz częściej zakłady decydują się na instalację uzdatniania wody, które pozwala uniknąć wspomnianych zagrożeń. Użytkując chłodnię wentylatorową, należy więc zwracać uwagę na zagrożenia mikroflorą.

Podsumowanie

Okazuje się, iż chłodzenie przez odparowanie pozwala na uzyskanie wysokiej sprawności i oszczędności nakładów energetycznych w procesie obniżania temperatury wody technologicznej. Niniejszy artykuł jest tylko przyczynkiem do podjęcia dyskusji nad zagadnieniami związanymi nie tylko z proekologiczną gospodarką zasobami nieodwracalnymi, ale przede wszystkim prób dokonywania analiz ekonomicznych. W dużych zakładach mleczarskich, oszczędności związane z zastosowaniem instalacji chłodni wentylatorowych liczone są w tysiącach złotych tygodniowo.

Ekonomiczne podejście do procesów chłodzenia w zakładzie mleczarskim oznacza szczegółową analizę ilościową i jakościową zapotrzebowania oraz właściwie dobrane metody i systemy chłodnicze. Należy podkreślić, iż analizy te powinny być odporne na często manipulatorskie zabiegi handlowców. Zdarzało się, iż w dużych mleczarniach przekonywano kierownictwo do produkcji wody lodowej w układzie freonowym, czy też zastępowania układu opartego na wydajnych agregatach amoniakalnych, sprężarkami pracującymi na czynnikach z grupy chłorowcopochodnych. Każdy z czynników chłodniczych dzięki specyficznym właściwościom fizykochemicznym, ma swoje najlepsze zastosowanie.

³⁵ W szczególności pozbawionego kurzu, pyłu czy wilgoci.

