

Napowietrzanie zbiorników po sanityzacji i sterylizacji

Marek Jastrzębski, Piotr Ziarko

Pall Poland, Life Sciences

W przemyśle spożywczym, do sterylizacji i sanityzacji wielkogabarytowych zbiorników magazynowych i produkcyjnych powszechnie stosowane są: nasycona para wodna oraz gorące roztwory sanityzujące. W trakcie gorącej sterylizacji/sanityzacji wnętrze zostaje wypełnione parą wodną, która w fazie schładzania zbiornika intensywnie kondensuje, co pociąga za sobą wytworzenie podciśnienia

ków schładzania zbiornika: dynamiczne przy użyciu wody chłodzącej oraz statyczne, w warunkach samoistnego stygnięcia. Przedstawiono odpowiednie dane ruchowe odnośnie do schładzania zbiorników oraz przykładowe rozwiązanie techniczne instalacji napowietrzania.

Schładzanie zbiorników w warunkach dynamicznych

Za punkt wyjścia do rozważań nad procesem schładzania zbiornika można przyjąć stan wypełnienia jego wnętrza nasyconą parą wodną lub jej mieszkanką z powietrzem o ciśnieniu atmosferycznym; ciśnienie cząstkowe pary P_s odpowiada stanowi nasylenia w temperaturze sanityzacji T_s .

Do wnętrza zbiornika podawana jest za pośrednictwem zraszacza zimna woda o temperaturze T_0 , w ilości m_z (kg/s). Wyrzucane ze zraszacza strugi wody ulegają rozpadowi na mniejsze fragmenty w postaci kropeł, na powierzchni których zachodzi intensywna kondensacja. W dalszym biegu krople padają na wewnętrzną powierzchnię, gdzie następuje dalsza kondensacja pary oraz schładzanie materiału zbiornika. W uproszczeniu (pomijając efekty cieplne schładzania kondensatu oraz powietrza we wnętrzu zbiornika) szybkość kondensacji pary w_k oraz tempo schładzania zbiornika $\Delta T_b/\Delta t$ opisuje poniższe równanie bilansowe (np. [1]):

$$m_z \cdot (T_k - T_0) \cdot C_w = w_k \cdot L_k + m_b \cdot C_b \cdot \Delta T_b/\Delta t \quad (1),$$

gdzie:

T_k – temperatura wylotowa wody,

C_w – ciepło właściwe wody,

m_b i C_b – masa i ciepło właściwe zbiornika,

T_b – temperatura materiału zbiornika,

L_k – ciepło kondensacji.

Dla przypadku dostatecznie szybkiej kondensacji na powierzchni strugi podczas jej kontaktu z fazą gazową uzyskuje się maksymalne oszacowanie tempa kondensacji, w_{kmax} , wynikające z ograniczonej pojemności cieplnej strugi:

$$m_z \cdot (T_s - T_0) \cdot C_w = w_{kmax} \cdot L_k \quad (2).$$

W typowych warunkach procesowych ubytek fazy gazowej związanej z kondensacją pary wodnej kompensowany jest napływem powietrza czerpanego z otoczenia, którego strumień objętościowy w warunkach otoczenia, S_p , można wyznaczyć wg poniższego równania:

$$S_p = w_k \cdot (V_{m0}/M_w) \quad (3),$$

gdzie V_{m0} to objętość molowa gazu w warunkach otoczenia.

Szybkość kondensacji pary uwarunkowana jest czynnikami kinetycznymi, które muszą być określone zarówno dla strugi (strumienia kropeł) wody chłodzącej, jak i dla jej spływu po ścianie zbiornika. Oba zjawiska pod względem opisu ilościowego są bardzo złożone, a dostępne dane pozwalają jedynie na ich przybliżone oszacowanie [2–5].

Pomiary chłodzenia zbiornika metodą dynamiczną

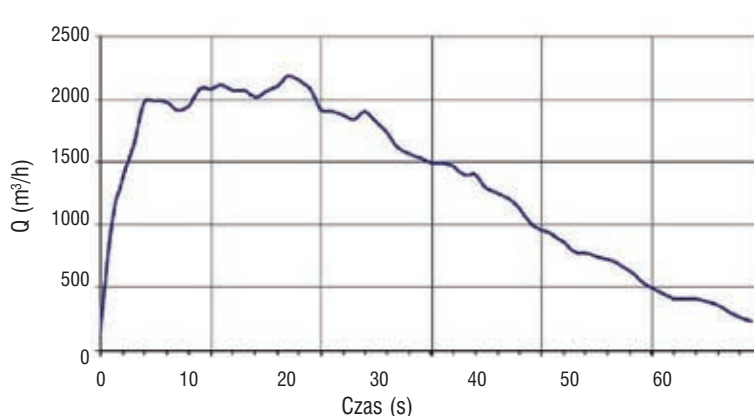
Poniżej przeprowadzono analizę konkretnego przypadku dynamicznego studzenia zbiornika po sanityzacji gorącą wodą oraz przedstawiono wyniki pomiarów wielkości strumienia powietrza podczas procesu jego schładzania. Rozpatrywany jest zbiornik o średnicy 2 m i wysokości 10 m oraz pojemności 30 m³. Zbiornik sanityzowany jest metodą



Fot. 1. Widok obudowy oddechowej na zbiorniku; wewnątrz zainstalowane są wkłady oddechowe Pall Emflon PFR

stanowiącego istotne zagrożenie zarówno pod względem mechanicznym, jak i mikrobiologicznym. Zbiorniki muszą więc być wyposażone w odpowiednie instalacje zapewniające dopływ do ich wnętrza czystego mikrobiologicznie powietrza w ilościach równoważnych efektom kondensacji pary wodnej. W zależności od wielkości zbiorników i warunków sterylizacji/sanityzacji cel ten może być osiągnięty przez zastosowanie filtrów oddechowych lub filtrów powietrza wspomaganymi odpowiednimi wentylatorami lub kompresorami.

W artykule przedstawiono zagadnienie szacowania wielkości strumienia napowietrzających zbiorniki w powiązaniu z warunkami ich gorącej sanityzacji i sterylizacji dla dwóch granicznych przypad-



Pomiary przepływu powietrza podczas schładzania zbiornika 30 m³

natryskową wodą gorącą o temp. 90 °C, a następnie schładzany metodą natryskową wodą zimną o temp. 10 °C podawaną w ilości 5 kg/s.

Zgodnie z przedstawionym powyżej opisem, w chwili rozpoczęcia schładzania zbiornik wypełniony jest mieszaniną nasyconą pary wodnej i powietrza o temp. 90 °C. W tych warunkach prężność pary wodnej wynosi 0,7 bar, a jej ułamek molowy w fazie gazowej wynosi: $X = 0,7$, co odpowiada jej łącznej masie 13 kg. Podczas sanitzacji ścianki zbiornika utrzymywane są w temperaturze bliskiej temperaturze gorącego czynnika; straty ciepła przez ścianki zbiornika uwarunkowane są głównie poprzez konwekcję swobodną przy jego zewnętrznej powierzchni, przy pomijalnych oporach wnikania po jego stronie wewnętrznej i przewodzenia w materiale zbiornika. Oszacowana wg równania (3) maksymalna szybkość kondensacji wynosi 0,81 kg/s.

Pomiary strumienia powietrza zasysanego z otoczenia do zbiornika przez właz w górnej pokrywie zbiornika przeprowadzone zostały przez firmę Test-Therm Kraków, przy zastosowaniu anemometru skrzydełkowego LCA 501 firmy TSI Instruments, zainstalowanego w osi otworu wlotowego [6].

Wyniki pomiarów przedstawiono na wykresie. W początkowej fazie schładzania, trwającej ok. 25 s, strumień przepływu powietrza utrzymuje się w przybliżeniu na stałym poziomie 2100 m³/h. Po tym czasie wielkość strumienia obniża się liniowo i po kolejnych 30 s spada do poziomu zerowego. Zmierzony strumień powietrza, 2100 m³/h odpowiada w warunkach procesu szybkości kondensacji 0,47 kg/s, a więc niższa o 40% od wyliczonej powyżej wartości maksymalnej. Podczas pierwszego, trwającego 25 s, etapu do zbiornika wprowadzono ok. 14 m³ powietrza. Wartość ta dobrze koresponduje z ilością pary wodnej zawartej w zbiorniku po zakończeniu sanitzacji; objętość 14 m³ (o temp. 20 °C) odpowiada 11,5 kg pary wodnej, wobec ilości 13 kg pary oszacowanej powyżej na podstawie objętości układu i ciśnień cząstkowych.

Schładzanie zbiornika w warunkach statycznych

W warunkach statycznych podstawowym czynnikiem warunkującym chłodzenie zbiornika jest wnikanie ciepła od powierzchni zbiornika do otoczenia, czemu towarzyszy proces kondensacji pary na wewnętrznej powierzchni zbiornika. W warunkach ustalonych szybkość kondensacji pary wodnej w_k powiązana jest ze strumieniem ciepła przenikającym od wnętrza zbiornika do otoczenia Q_s , zgodnie z poniższym równaniem:

$$w_k = Q_s / L_k \quad (4).$$

Wielkość strumienia ciepłego Q_s uwarunkowana jest z jednej strony siłą napędową schładzania zbiornika, tj. różnicy temperatury w jego wnętrzu i otaczającego powietrza, zaś z drugiej składnikami oporów cieplnych poszczególnych ośrodków, tj. warstwy kondensatu, ścianki zbiornika, otaczającego powietrza.

W przypadku zbiorników umieszczonych w zamkniętych pomieszczeniach, przy braku wymuszonego czynnikiemami zewnętrznymi ruchu otaczającego powietrza, strumień Q_s może być wyrażony jako suma strumieni ciepła wnikającego od powierzchni zbiornika, F , do otoczenia na drodze konwekcji swobodnej Q_k oraz promieniowania Q_r , [1, 7]:

$$Q_k = \alpha \cdot (T_s - T_0) \cdot F \quad (5).$$

Współczynnik wnikania ciepła α może być obliczony wg znanej korelacji Michiejewa [1]:

$$Q_r = \varepsilon \cdot \sigma \cdot (T_s^4 - T_0^4) \cdot F \quad (6),$$

gdzie:

ε – emisyjność powierzchni zbiornika,
 σ – stała Stefana-Boltzmana.

Schładzanie w warunkach statycznych.

Przykład obliczeniowy

W celu ilustracji zagadnienia statycznego schładzania zbiornika po sanitzacji przeprowadzono obliczenia dla konkretnego praktycznego przypadku. Rozpatrywany jest zbiornik niezaizolowany o pojemności 50 m³; wymiary zbiornika wynoszą odpowiednio: średnica 3 m, a jego wysokość 7 m. Zbiornik usytuowany w hali o temp. 10 °C. Sanitzacja zbiornika prowadzona jest w warunkach ciśnienia atmosferycznego parą o temp. 100 °C. Jak to opisano powyżej, po zakończeniu parowania zbiornik ulega samoistnemu schładzaniu w wyniku przenoszenia ciepła od jego powierzchni do otoczenia. Odpowiednie składowe strumienie ciepłne wg równań (5 i 6) wynoszą odpowiednio: dla konwekcji swobodnej 40 kW, a dla promieniowania 30 kW; sumaryczny strumień cieplny w początkowej chwili stygnięcia zbiornika wynosi 70 kW, zaś odpowiadająca jej szybkość kondensacji na wewnętrznej powierzchni zbiornika $w_k = 33$ g H₂O/s. Na podstawie tak wyznaczonej szybkości kondensacji można następnie określić zapotrzebowanie na objętościowy strumień powietrza niezbędnego do kompensacji kondensacji.

System napowietrzania zbiorników

Podczas schładzania zbiorników o znacznej objętości, strumień powietrza wprowadzanego do ich wnętrza za pośrednictwem filtrów mikrobiologicznych wymuszany jest odpowiednimi dmuchawami, zapewniającymi wymagane warunkami bezpieczeństwa nadciśnienie w zbiorniku.

W firmie Welding Star we współpracy z firmami Pall Poland (dostawca filtrów mikrobiologicznych) i Moeschle Polska (producent wielkogabarytowych zbiorników) opracowano koncepcję nowej generacji zintegrowanej stacji parowania i napowietrzania dla zbiorników wielkogabarytowych [8]. Stacje te wyposażone są w dmuchawy wtłaczające powietrze do wnętrza schładzanego zbiornika poprzez mikrobiologiczny filtr powietrza wyposażony w świecowe elementy firmy Pall Corporation, typu Emflon II. Dodatkowo stacje wyposażane są w odpowiedni układ parowania



Fot. 2. Stacja napowietrzania zbiorników o dużej wydajności; widoczne od lewej: dmuchawa oraz trzy równoległe mikrobiologiczne filtry powietrza

zbiornika składający się z reduktora ciśnienia pary, filtra pary (filtry firmy Pall Corporation PSS) oraz odwadniaczy (fot. 2).

Filtr mikrobiologiczny powietrza wyposażony jest w trzy równoległe zainstalowane obudowy Pall



Fot. 3. Wkłady Pall Emflon PFR; zdjęcie przedstawia wkłady o różnej długości

AGT13, z których każda zawiera jeden trzydziestocalowy element filtracyjny Pall Emflon PFR, z podwójną membraną PTFE o absolutnej walidacji w cieczy bakteriami *Brev. Diminuta* ([9]; fot. 3).

Filtr ten stanowi więc absolutną barierę mikrobiologiczną niezależnie od stanu zawilgocenia powietrza i filtra. Filtry te charakteryzują się bardzo niskimi oporami przepływu powietrza. Dla strumienia powietrza 100 Nm³/h przepływającego przez pojedynczy moduł 10 cali filtra Emflon II PFR, w warunkach atmosferycznych, spadek ciśnienia wynosi 100 mbar.

Stacja napowietrzania może być stosowana w różnicowany sposób w zależności od metody schładzania zbiorników po sanitzacji, tj. w układzie pótwartym oraz przepływowym. W pierwszym przypadku, zalecanym dla operacji schładzania przy

zastosowaniu dodatkowych czynników chłodzących, dopływ powietrza wynika z szybkości procesu kondensacji i schładzania zbiornika. Dzięki zastosowaniu dmuchawy o odpowiedniej wydajności w zbiorniku zapewnione jest nadciśnienie, którego wartość jest wynikiem parametrów dmuchawy, oporów przepływu przez filtr powietrza oraz bieżącego tempa kondensacji wewnątrz zbiornika. W układzie przepływowym utrzymywany jest stały przepływ powietrza przez zbiornik przy zachowaniu odpowiedniego nadciśnienia w jego wnętrzu.

Schładzanie zbiornika w układzie przepływowym

Przeprowadzono pomiary schładzania zbiornika w warunkach przepływowych przy zastosowaniu opisanej powyżej stacji napowietrzania o dużej wydajności. Zbiornik o pojemności 50 m³ i masie 3500 kg parowany jest parą o ciśnieniu atmosferycznym i temp. 100 °C. Następnie prowadzony jest proces schładzania przy użyciu powietrza, utrzymując we wnętrzu zbiornika niewielkie nadciśnienie.

Jak to przedstawiono już we wcześniejszym przykładzie obliczeniowym, początkowa szybkość

kondensacji pary na wewnętrznej powierzchni zbiornika wynosi 33 g/s. Wprowadzany do zbiornika strumień zimnego powietrza (10 °C) stanowi również pewien potencjał do przejścia ciepła kondensacji, którego maksymalny efekt może być oszacowany na podstawie bilansu cieplnego na $w_k^* = 10,3$ g/s, co daje sumaryczne tempo kondensacji 43,3 g/s. Z tak wyznaczoną szybkością kondensacji związany jest oczywiście efekt ubytku objętości fazy gazowej i wynikający z niego sumaryczny strumień powietrza, konieczny do kompensacji kondensacji pary wewnątrz zbiornika. Zastosowany w procesie schładzania strumień powietrza musi być wielokrotnie większy od wielkości wymaganej warunkiem kompensacji objętości kondensującej pary, co pozwala na utrzymanie dostatecznego nadciśnienia w zbiorniku przy równoczesnym ciągłym przepływie powietrza. We wstępnej fazie przedmuchu, szacowanej na kilka minut, para wodna zostaje całkowicie usunięta ze zbiornika, zaś tempo dalszego schładzania zbiornika jest łącznym efektem wymiany ciepła na zewnątrz (konwekcja swobodna i promieniowania do otoczenia) oraz wewnątrz (chłodzenie strumieniem powietrza).

Literatura

- [1] Hobler T.: 1979. *Ruch ciepła i wymienniki*. WNT, Warszawa.
- [2] Celata G. P., Cumo M., D'Annibale F., Farello G. E.: 1991. *Direct contact condensation of steam on droplets*. Int. J. Multiphase Flow, vol 17, 191–211.
- [3] Kasprzak S.: 1983. *Nagrzewanie się kropeł wody opadających w ośrodku parowo-powietrznym*. Biuletyn Informacyjny ITC Polit. Warsz., 63, 3–14.
- [4] Karapantsios T. D., Kostoglou M., Karabelas A. J.: 1995. *Local condensation rates of steam-air mixtures in direct contact with a falling liquid film*. Int. J. Heat Mass Transfer, vol. 38, 779–794.
- [5] Liao Y., Vierow K., Dehbi A., Guentay S.: 2009. *Transition from natural to mixed convection for steam-gas condensing along a vertical plate*. Int. J. Heat Mass Transfer, vol 52, 366–375.
- [6] Test-Therm Sp. z o.o. Kraków, 2008, Protokół pomiarowy, 1/TT/08, Kraków.
- [7] Seara J. F., Uhiu F. J., Dopazzo J. A.: 2011. *Experimental transient natural convection heat transfer from a vertical cylindrical tank*. Appl. Thermal Eng. vol 31, 1915–1922.
- [8] Moeschle Polska i Welding Star Wojciech Staroń, 2013, DTR Stacja napowietrzania, wersja 2.0, Dębica.
- [9] Pall Corporation, 2013, Emflon® PFRW Filter Cartridges, <http://www.pall.com>, 20.11.2013.

Podsumowanie roku 2013 – Grupa Żywiec

Grupa Żywiec S.A. opublikowała 12 lutego br. raport finansowy za 2013 r. Tak jak inni producenci piwa, także Grupa Żywiec musiała zmierzyć się w ubiegłym roku z licznymi wyzwaniami, bo rok 2013 nie był łatwy dla branży piwnej w Polsce. Na sprzedaż miały wpływ: wciąż niepewna sytuacja makroekonomiczna, wzrost kosztów, niekorzystna pogoda w pierwszej połowie roku oraz późne rozpoczęcie sezonu piwnego.

Sprzedaż piwa i rynek

Spadek nastrojów konsumenckich w Polsce spowodował, że w 2013 r. konsumenci częściej sięgali po piwa tańsze. Jednocześnie w sprzedaży piwa stała wzrastała znaczenie kanału handlu nowoczesnego, w tym dyskontów. Choć nie ma jeszcze ostatecznych danych dotyczących sprzedaży w branży piwnej w 2013 r., należy szacować, że po wzroście o prawie 5 p.p. w 2012 r., w którym Polacy skonsumowali 37,9 mln hl piwa, polski rynek piwa w 2013 r. zanotował spadek.

W ubiegłym roku Grupa Żywiec, która jest producentem m.in. *Żywca*, *Warki*, *Heinekena* i *Tatry*, sprzedała ponad 11 mln hl piwa. Skonsolidowane przychody netto ze sprzedaży produktów, towarów i materiałów wyniosły 3503 mln zł, a skonsolidowany zysk z działalności operacyjnej 273 mln zł.

– „W 2013 roku podjęliśmy wiele działań, dzięki którym częściowo udało się nam zbilansować negatywny wpływ na sprzedaż takich czynników, jak gorsze nastroje konsumentów czy niekorzystna pogoda w pierwszej połowie roku. Do pozytywnych trendów należy zaliczyć wzrost sprzedaży w 2013 r. naszej flagowej marki Żywiec” – powiedział Guillaume Duverdier, prezes Grupy Żywiec S.A.

Pomimo spadkowego trendu na polskim rynku piwa, sprzedaż Żywca w 2013 r. wzrosła o 4%, a *Żywca Portera* o 7%. Aż dwucyfrowo zwiększyła się sprzedaż piwa z gwarantą *Desperados Red*. Rosnącą popularnością cieszyły się również piwa specjalne dystrybuowane przez Grupę Żywiec, m.in. *Paulaner* i *Guinness*.

Eksport

Piwa Grupy Żywiec trafiają bezpośrednio i pośrednio na rynki prawie 40 krajów na całym świecie. Najbardziej znanym polskim piwem za granicą jest

Żywiec, ale zainteresowaniem naszych partnerów biznesowych w kilkudziesięciu krajach cieszą się też: *Warka*, *Tatra*, *Tatra Mocna*, *Strong*, a nawet piwa regionalne Grupy Żywiec jak *Specjal* i *Leżajsk*.

Rok 2013 to kolejny rok z rzędu, w którym Grupa Żywiec zanotowała wzrost eksportu, tym razem o ponad 15%. Kraje, do których Grupa Żywiec eksportuje najwięcej piwa pod względem wielkości sprzedaży to: Wielka Brytania, Niemcy, USA, Kanada i Irlandia. Na wszystkie te rynki trafiają opakowania z oznaczeniami, które są zgodne z lokalnymi przepisami dotyczącymi odpowiedzialnej konsumpcji alkoholu.

Nowości rynkowe

Grupa Żywiec oferuje na polskim rynku 26 piw, spośród których każdy piwosz może wybrać swoje ulubione. Co roku firma stara się wprowadzać do swojego portfolio kolejne nowości – w 2013 r. był to nowy wariant *Warki Radler* o smaku jabłkowym. Po sukcesie cytrynowego wariantu wprowadzonego w 2012 r., *Warka Radler Jabłko* pozwoliła Grupie Żywiec umocnić się na pozycji lidera sprzedaży w tym segmencie. Dodatkowo sprzedaż *Warki Radler Cytryna* w 2013 r. wzrosła o 14% w porównaniu z rokiem poprzednim. Miksy piwa, w tym głównie dwie odmiany *Warki Radler*, stały się niekwestionowanym przebojem 2013 r. i obecnie stanowią 2% całego rynku piwa.

Wpływ Grupy Żywiec na otoczenie społeczno-gospodarcze

W 2013 r. Grupa Żywiec, przy współpracy z PwC, opublikowała jeden z pierwszych w Polsce raportów pokazujących całkowity wpływ firmy na otoczenie społeczno-gospodarcze w Polsce. Z raportu tego wynika, że całkowita wartość dodana generowana przez firmę w 2012 r. przekroczyła 4,77 mld zł, a Grupa Żywiec oraz przedsiębiorstwa z powiązanych branż wpłaciły do budżetu państwa 2,7 mld zł podatków. Za sprawą Grupy Żywiec pracę w 2012 r. miało w Polsce 37,9 tys. osób, a jej działalność biznesowa generuje ponad 0,3% PKB Polski. □