

Dr inż. Krzysztof KUCHARCZYK  
Prof. dr hab. inż. Tadeusz TUSZYŃSKI  
Krakowska Wyższa Szkoła Promocji Zdrowia w Krakowie

## REGULACJA TEMPERATURY W PROCESACH FERMENTACJI I DOJRZEWANIA PIWA W TANKOFERMENTORZE®

Temperature control in processes fermentation and maturation of beer in  
fermentation tank®

**Słowa kluczowe:** tankofermentor, chłodzenie, proces fermentacji i dojrzwania.

*Do produkcji piwa używa się tankofermentory, tzw. tanki cylindryczno-koniczne (CKT) lub unitanki. To nowoczesne zbiorniki o różnorodnej wielkości, dostosowanej do zdolności wytwórczej browaru, które zapewniają ułatwiony przebieg procesu - wytwarzanie piwa w sterylnych warunkach.*

*Uzyskiwanie optymalnych parametrów technologicznych wymaga zastosowania nowoczesnej techniki zwłaszcza w obszarze sterowania temperaturą.*

*Jednym z ważnych elementów wyposażenia tankofermentorów są instalacje chłodnicze, zapewniające właściwą temperaturę wewnątrz zbiornika. Do regulacji temperatury stosowane są zewnętrzne płaszcze chłodzące z automatycznym sterowaniem.*

*Tankofermentory w zależności od sposobu zabudowy są odpowiednio izolowane w celu eliminacji wpływu czynników zewnętrznych na przebieg procesu technologicznego.*

*Nowoczesna technika w połączeniu z zastosowaniem optymalnych parametrów przebiegu fermentacji i dojrzwania, stwarza możliwość wyprodukowania piwa wysokiej jakości.*

**Key words:** fermentation tank, temperature control, cooling, fermentation and maturation process.

*In the most of the breweries to produce beer used tankfermenters, conical-cylindrical tanks (CKT). It is a modern fermentation tank of various sizes, adapted to the capacity of the brewery to facilitate the manufacturing process and to ensure the production of beer in a sterile conditions.*

*Obtaining optimal technological parameters requires the use of modern technology especially in the field of temperature control.*

*One of the important pieces of equipment fermentation tank is refrigeration systems, ensuring the proper conduct of process temperature inside the tank.*

*Adjusting the temperature of the fermenting wort, forced manufacturers to use high-technology cooling and automatic control of the process. For temperature control are used external cooling jackets.*

*Fermentation tank depending on the type of installation is properly insulated in order to eliminate the influence of the external temperature on the course of the process. Modern technology in combination with the use of optimum technological parameters of the processes of fermentation and maturation makes it possible to produce high quality of beer.*

### WPROWADZENIE

Obecnie prawie cały proces fermentacji brzezki i dojrzwania piwa w browarach przebiega w tankofermentorach zwanych unitankami lub skrótowo CKT (cylindryczno-koniczny tank, rys.1). Na rysunku zaznaczone są strefy chłodnicze zlokalizowane na stożkowej i cylindrycznej części tankofermentora.

Zasada tej metody polega na pionowym ustawieniu cylindrycznego zbiornika zakończonego u dołu stożkiem, w którym po fermentacji głównej osiadają drożdże. Można je usunąć bez jego opróżniania, co sprawia, że proces dojrzwania piwa przebiega w tym samym tankofermentorze, przy udziale komórek drożdży pozostających jeszcze w odfermentowanej brzezce [4, 7, 9, 11].

Pojemności tanków są różne i wahają się najczęściej od kilkudziesięciu do kilkunastu tysięcy hektolitrow. Charakteryzują się stosunkowo dużą wysokością od kilku do ponad 20 metrów i średnicą proporcjonalnie mniejszą (3-4 razy). Ważną cechą tych zbiorników jest stożkowe dno o odpowiednim kącie rozwarcia, zapewniającym ułatwiony proces oddzielenia drożdży i osadów od piwa.

Na zewnętrznej, cylindrycznej i stożkowej części zbiornika zamontowane są strefowe płaszcze chłodnicze, w postaci półrupek.

Do regulacji temperatury służy odpowiedni czynnik chłodzący (amoniak lub ergolid), który doprowadzony jest do poszczególnych stref chłodniczych [8].

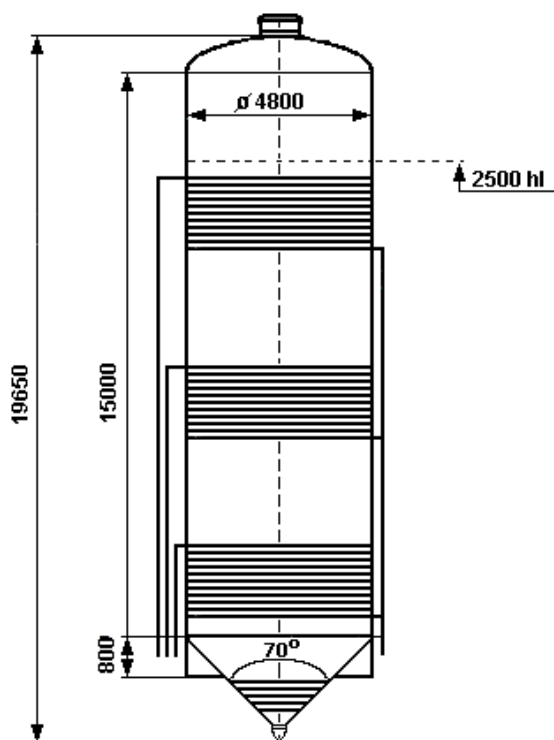
Podczas procesu fermentacji wyzwala się energia cieplna, którą należy odprowadzić. Ponadto w fazie zimnego leżakowania, piwo powinno być schłodzone do temperatury od 0 do  $-1^{\circ}\text{C}$ . Na ilość ciepła, które należy odprowadzić, składa się:

- ciepło powstające podczas fermentacji i przenikające z otoczenia
- ciepło, które trzeba odprowadzić przy chłodzeniu piwa do temperatury leżakowania.

Przenoszenie ciepła zachodzi za pośrednictwem segmentów rur i różnych form płaszczy chłodzących. Instalacje powinny być tak skonstruowane, aby na danym odcinku jak największa powierzchnia ściany tanku była poddawana chłodzeniu. Przy chłodzeniu systemem bezpośredniego odparowania, powierzchnie chłodzenia tanku podlegają okresowej kontroli, gdyż ciśnienie par czynnika chłodzącego może okresowo dochodzić do około 11 bar [12].

W celu ochrony przed wpływem wysokich i niskich temperatur otoczenia, tankofermentory są zaizolowane. Szczególnie solidnej izolacji wymagają zbiorniki wolnostojące, które mogą być narażone na zmienne warunki atmosferyczne. Jako materiał izolacyjny stosuje się najczęściej twardą piankę poliuretanową, która nakładana jest w warstwach o grubości 100 do 150 mm. Twarda pianka poliuretanowa ma bardzo dobre właściwości izolujące - nawet bardzo niskie temperatury otoczenia nie mają istotnego wpływu na przebieg procesów w tanku. Izolacja jest od zewnątrz chroniona blachą aluminiową lub ze stali nierdzewnej [11, 12].

Celem artykułu jest przedstawienie opisów i rozważań dotyczących regulacji temperatury w procesach fermentacji brzożki i dojrzewania piwa.



Rys. 1. Przykładowy schemat tankofermentora (ZKT).  
Fig. 1. Exemplary scheme of fermentation tank (ZKT).

Źródło: Kucharczyk K. 2005 [10]

Source: Kucharczyk K. 2005 [10]

## OPIS REGULACJI TEMPERATURY W CYLINDRYCZNO-STOŻKOWYM TANKOFERMENTORZE

### Chłodzenie tanku

W czasie fermentacji piwa, należy zapewnić optymalny przebieg temperatur i w tym celu stosuje się odpowiednie chłodzenie, które wynika z zapotrzebowania zimna.

Ilość ciepła powstająca podczas fermentacji każdego kilograma ekstraktu wynosi około 140 kcal.

$$587 \text{ kJ} = 140 \text{ kcal} = 0,16 \text{ kWh}$$

Podczas fermentacji brzożek o zawartości ekstraktu od 11,5 do 12% i odfermentowaniu pozornym od 75 do 85%, z każdego hektolitra odfermentowuje od 7 do 8,3 kg cukrów, z jednoczesnym wytworzeniem od 4300 do 4600 kJ ciepła na 1 hl piwa.

Z kolei ochłodzenie piwa z  $9^{\circ}\text{C}$  do  $-1^{\circ}\text{C}$  (tj. o 10 stopni), wymaga około 4200 kJ, tzn. że zapotrzebowanie zimna w tym celu jest niemal tak duże, jak na chłodzenie w czasie fermentacji głównej [10, 12].

Ciepło z otoczenia przenika do tanku drogą promienienia i konwekcji. Straty energii z tego tytułu można obecnie zmniejszać dzięki doskonałym materiałom izolacyjnym oraz odpowiedniej obudowie tanków.

Całkowite zapotrzebowanie chłodu wynosi najczęściej od 8600 do 9200 kJ/hl. Ta ilość ciepła powstaje jednak nierównomiernie podczas procesu fermentacji i dojrzewania, i powinna być w podobny sposób odprowadzana. Czas i zakres odprowadzania ciepła zależy od:

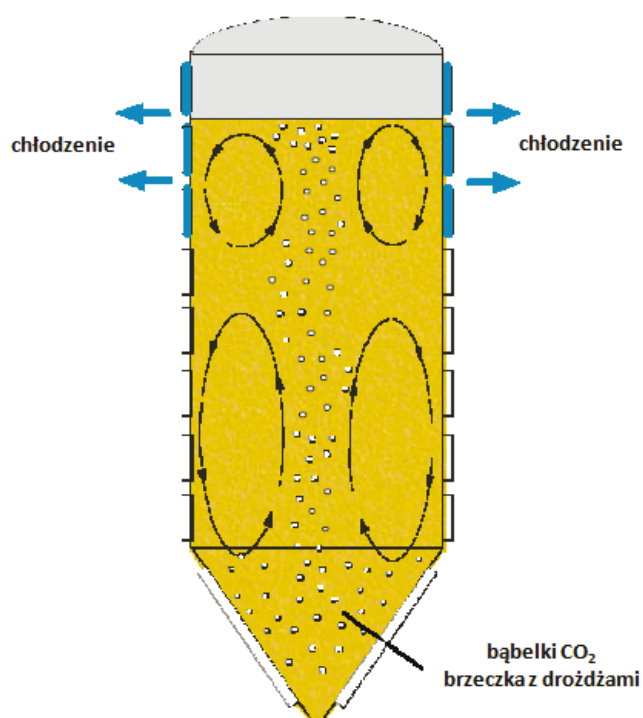
- metody fermentacji i dojrzewania piwa,
- czasu i szybkości chłodzenia,
- rozkładu temperatury w całej objętości piwa.

Istotną kwestią jest homogeniczność rozkładu temperatury w dużych objętościach piwa w tankofermentorach. W wyniku wewnętrznych strumieni konwekcyjnych (rys. 2 i 3), występują zaburzenia w jednorodności temperatury piwa w poszczególnych częściach zbiorników fermentacyjnych [6, 13, 14].

Największe zapotrzebowanie zimna istnieje przy chłodzeniu piwa w ciągu od 24 do 48 godzin po zakończeniu fermentacji głównej.

Do chłodzenia zbiorników fermentacyjnych, stosowany jest obieg sprężarkowy, w którym czynnikiem chłodniczym jest zwykle amoniak. Dopływa on do parownika (płaszcz chłodniczego) jako ciecz i tam wrze w temperaturze ok.  $-4^{\circ}\text{C}$ , pobierając ciepło z otoczenia. Sprężarka zasysa zimne pary amoniaku z parownika i podwyższa ich ciśnienie o ok. 0,6 MPa. Ze sprężarki sprężone gorące pary amoniaku o temperaturze ok.  $90^{\circ}\text{C}$  są tłoczone do skraplacza, w którym oddają ciepło do otoczenia, ulegając skropleniu. Ze skraplacza roztwór amoniaku, poprzez zawór redukujący ciśnienie, ponownie wpływa do parownika. Cykl przemiany fazowej czynnika chłodniczego obecnego w obiegu zamkniętym powtarza się.

Ciepło parowania amoniaku wynosi 1374,3 kJ/kg i jest bardzo duże w porównaniu do innych czynników chłodzą-



Rys. 2. Charakterystyka przepływów piwa w tankofermentorze podczas fermentacji głównej.

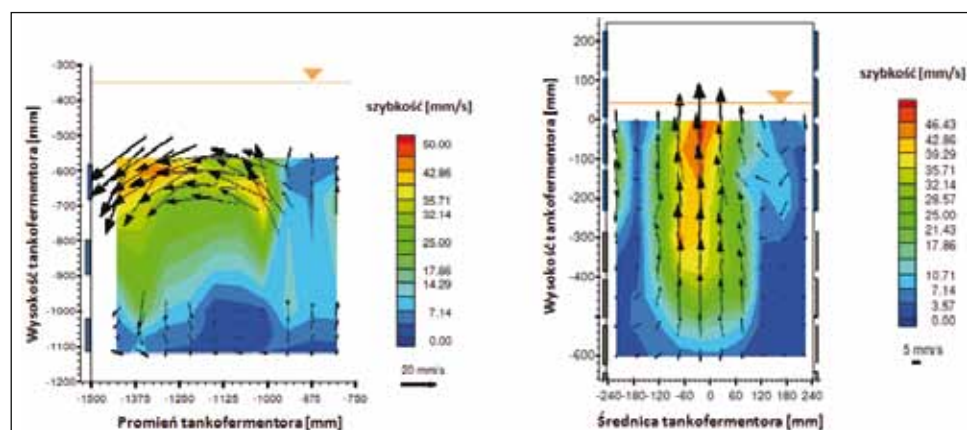
Fig. 2. Abstract illustration of fluid and flow characteristics during the primary fermentation.

Źródło: Meironke H. 2014 [13]

Source: Meironke H. 2014 [13]

cych, takich jak dwutlenek węgla, freon oraz dwutlenek siarki [2, 15].

Amoniak jest w normalnych warunkach atmosferycznych bezbarwnym gazem, lżejszym od powietrza, o charakterystycznej woni pozwalającej na stwierdzenie jego obecności nawet w minimalnych ilościach rzędu 0,02%. Temperatura wrzenia w warunkach normalnych wynosi  $-33^{\circ}\text{C}$  i można ją obniżyć lub podwyższyć poprzez zmianę ciśnienia.



Rys. 3. Średnie przepływy piwa w przemysłowym (rysunek z lewej strony; stosunek wysokości do średnicy = 0,82) i laboratoryjnym (rysunek z prawej) tankofermentorze w ostatnim dniu fermentacji głównej.

Fig. 3. Average velocity field in the industrial (left; h/d ratio = 0,82) and laboratory (right) tank on the last day of primary fermentation.

Źródło: Meironke H., Böttcher K. 2014 [14]

Source: Meironke H., Böttcher K. 2014 [14]

Dolna granica temperatury czynnika chłodzącego powinna wynosić około  $-4^{\circ}\text{C}$ , uwarunkowane jest to punktem zamrzania piwa. Jeżeli temperatura ta zostanie obniżona, to po zaprzestaniu intensywnej konwekcji dochodzi do tworzenia się lodu w zbiorniku, który nie tylko negatywnie może wpływać na jakość piwa, ale również na odprowadzanie ciepła.

W przypadku najbardziej rozpowszechnionych wersji ZKT, amoniak odparowuje bezpośrednio w płaszczu chłodzącym – chłodzenie przez bezpośrednie odparowanie.

### Chłodzenie przez bezpośrednie odparowanie

Zaletą bezpośredniego odparowania jest przede wszystkim mniejsze zużycie energii elektrycznej i mniejsze koszty procesu. W porównaniu z chłodzeniem pośrednim, za pomocą glikolu, chłodzenie bezpośrednie ma m.in. następujące zalety [2, 3, 12]:

- brak konieczności instalowania urządzeń do chłodzenia czynnika pośredniego,
- możliwość pracy przy wyższych temperaturach odparowania (około  $-5$  do  $-6^{\circ}\text{C}$ ),
- pompy o znacznie niższej wydajności, ponieważ mniej jest cieczy do przesyłania,
- przewody i połączenia o mniejszej średnicy,
- mniejsze wydatki na izolację i montaż,
- precyzyjny i elastyczny system sterowania temperaturą,
- istotna oszczędność energii (od 15 do 20%).

Do głównych wad chłodzenia bezpośredniego można zaliczyć [12]:

- kosztowniejsze instalacje z uwagi na występowanie wyższych ciśnień,
- temperatury odparowania nie są stałe i instalacja powinna być w ciągłym ruchu,
- koszty armatury ze względów bezpieczeństwa są istotnie wyższe,
- większe ryzyko wycieku czynnika chłodzącego,
- brak możliwości akumulacji energii chłodniczej.

### Płaszczowe chłodzenie tankofermentora

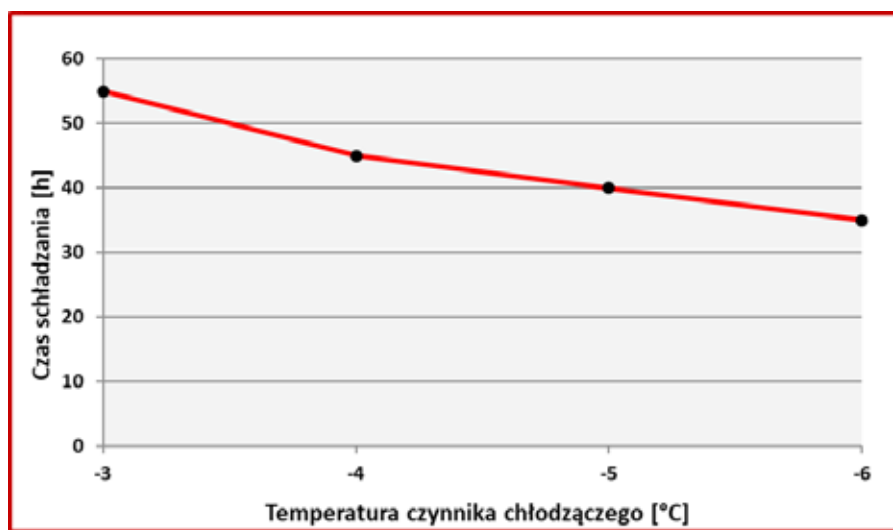
Tank podzielony jest na kilka stref chłodzenia, dzięki czemu można kierować procesem stosownie do bieżących potrzeb.

Płaszcz chłodzący powinien obniżać temperaturę z szybkością około  $1^{\circ}\text{C}/\text{godzinę}$ , jednak w większych zbiornikach jest trudno uzyskać więcej niż połowę tej wartości.

Utrzymanie wymaganej temperatury procesu polega na chłodzeniu zawartości fermentora, gdy temperatura przekroczy założoną wartość. W zależności od wymaganej intensywności chłodzenia, wielkości i liczby płaszczów chłodzących – odpowiednie

dobranie algorytmu chłodzenia umożliwia, w zależności od potrzeb, automatyczną regulację dopływu określonej ilości czynnika chłodzącego. Procesem tym sterują odpowiednio dobrane sterowniki monitorowane przez obsługę [5]. Wzrost temperatury już o  $0,1^{\circ}\text{C}$  powyżej wymaganej, wywołuje uruchomienie chłodzenia przez odpowiedni płaszcz chłodzący. Obniżenie temperatury do właściwej wartości powoduje wyłączenie chłodzenia.

W uproszczonym modelu można przyjąć, że ilość dostarczanego czynnika chłodzącego niezbędnego do utrzymania wymaganej temperatury jest proporcjonalna do ilości wytwarzanego ciepła. Na tej podstawie opracowano i zastosowano program komputerowy sumujący i uśredniający czasy otwarcia zaworów przepływu czynnika chłodzącego [5].

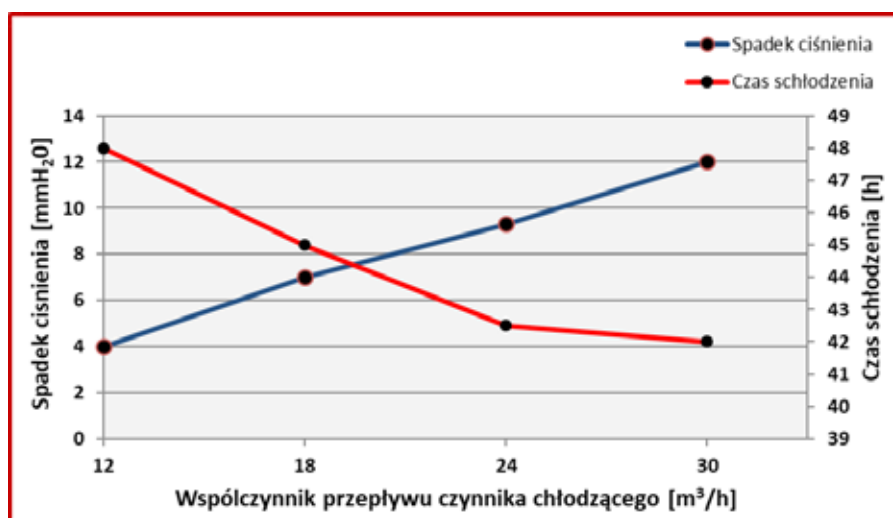


Rys. 4. Wpływ temperatury czynnika chłodzącego na czas schłodzenia.

Fig. 4. The effect of the coolant temperature on the cooling time.

Źródło: Varma R. 1999 [18]

Source: Varma R. 1999 [18]



Rys. 5. Zależność między wskaźnikiem przepływu, spadkiem ciśnienia i czasem wymaganym do schłodzenia piwa.

Fig. 5. The relationship between flow rate, pressure drop and time required to cool the beer.

Źródło: Varma R. 1999 [18]

Source: Varma R. 1999 [18]

Płaszcz zewnętrzny zamontowane na tankofermentorze są to segmenty rur z poziomym obiegiem chłodziwa. Przy bezpośrednim chłodzeniu amoniakiem, czynnik chłodzący wprowadza się do odpowiedniej strefy od góry. W takim układzie 4 do 6 nawrotów rur w strefie chłodzenia połączona jest w jeden segment, co zapewnia bardziej równomierne przenoszenie ciepła.

Ze względów ekonomicznych dąży się do tego, aby w układzie była jak najmniejsza objętość amoniaku – mniejszy skraplacz, mniejszy stopień odparowania.

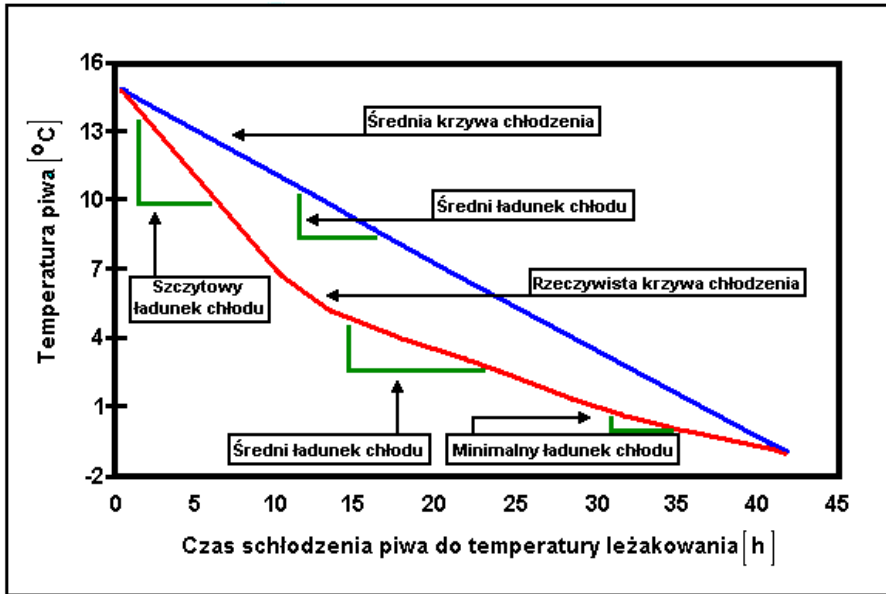
Większość browarów stosuje zwykle dwu-etapowe cykle chłodzenia. Typowe chłodzenie od końcowej temperatury fermentacji pomiędzy  $18$  a  $12^{\circ}\text{C}$  do  $4$  lub  $5^{\circ}\text{C}$  wymaga  $16$  do  $20$  godzin, przy założeniu, że wskaźnik chłodzenia mieści się w zakresie  $0,5$  do  $0,8^{\circ}\text{C}/\text{h}$ . W drugim etapie i później, chłodzimy od powyższych temperatur do około  $-1^{\circ}\text{C}$ , w ciągu  $24$  do  $48$  godzin [1].

Szybkość schładzania zależy m.in. od powierzchni chłodzącej. Przy założeniu, że czynnik chłodzący ma temp.  $-6^{\circ}\text{C}$ , każde zwiększenie powierzchni powoduje większą szybkość schładzania, zwłaszcza od temperatury  $4^{\circ}\text{C}$  do  $-1^{\circ}\text{C}$ . Duży wpływ na czas chłodzenia, ma temperatura czynnika chłodzącego (rys. 4). Z wykresu wynika, że obniżenie temperatury czynnika chłodzącego z  $-3^{\circ}\text{C}$  do  $-6^{\circ}\text{C}$  powoduje ponad prawie dwukrotne skrócenie czasu potrzebnego do schłodzenia.

Relacja pomiędzy wskaźnikiem przepływu medium chłodniczego i spadkiem ciśnienia, a wymaganym czasem do schłodzenia piwa przedstawiona jest na rysunku 5. Krzywe wskazują, że wraz ze wzrostem szybkości przepływu medium, skraca się czas chłodzenia piwa i jednocześnie zwiększa się spadek ciśnienia w instalacji chłodniczej.

Charakterystykę czasu chłodzenia w stosunku do temperatury, przedstawia rys. 6. Widoczna jest zależność między wartością przepływu, spadkiem ciśnienia i czasem niezbędnym do schłodzenia piwa, do zadanej temperatury. W zależności od przepływu czynnika chłodzącego, występują zmienne spadki ciśnienia w instalacji chłodniczej oraz wydajności chłodzenia. Ponad dwukrotny wzrost przepływu cieczy chłodzącej w płaszczach chłodniczych tankofermentorów powoduje skrócenie czasu chłodzenia piwa o około  $10\%$ .





Rys. 6. Zapotrzebowanie na „chłód” w zależności od czasu i temperatury.

Fig. 6. The demand for „cold” depending on time and temperature.

Źródło: Varma R. 1999 [18]

Source: Varma R. 1999 [18]

### Regulacja zapotrzebowania na chłód

Największe zapotrzebowanie na chłodziwo występuje po fermentacji i dojrzeniu, gdy piwo należy szybko schłodzić do temperatury leżakowania. Dla sprawnego przebiegu chłodzenia metodą bezpośredniego odparowania, przy konstrukcji tanku powinny być przewidziane następujące powierzchnie:

- 3,4 m<sup>2</sup> powierzchni chłodzonej / 100 hl przy temperaturze odparowania 1°C,
- 1,6 m<sup>2</sup> powierzchni / 100hl przy temperaturze odparowania -4°C [12].

Całkowita wydajność tłoczenia pomp obiegowych NH<sub>3</sub> podzielona jest na kilka jednostek. Wystarczającym jest, aby wszystkie płaszcze chłodzenia były zasilane przy co najmniej 2,5 - krotnym obiegu NH<sub>3</sub>.

Każde z tych urządzeń ma zawór przelewowy, który jest jednocześnie dodatkowym zabezpieczeniem przed nadciśnieniem. Z punktu widzenia techniki chłodniczej, każdy zbiornik można traktować jako oddzielnie pracujące naczynie ciśnieniowe i dlatego powinno być wyposażone we własne zawory bezpieczeństwa.

### Aspekty techniczne i technologiczne przebiegu procesu

Jednym z mankamentów prowadzenia produkcji piwa w unitankach, zwłaszcza o dużych objętościach (> 1000 hl), jest różny rozkład temperatury (rys. 7), związany z nierównomiernym rozmieszczeniem drożdży – większa koncentracja komórek drożdży w dolnych poziomach.

Celem ujednoczenia temperatury fermentującej brzezki stosuje się wysokosprawne techniki chłodzenia z automatycznym sterowaniem tym procesem. Podstawowe znaczenie w regulacji temperatury mają płaszcze chłodzące, które mogą być pojedyncze, podwójne lub nawet poczwórne, umieszczone jeden nad drugim, na zewnętrznych ścianach zbiornika [5].

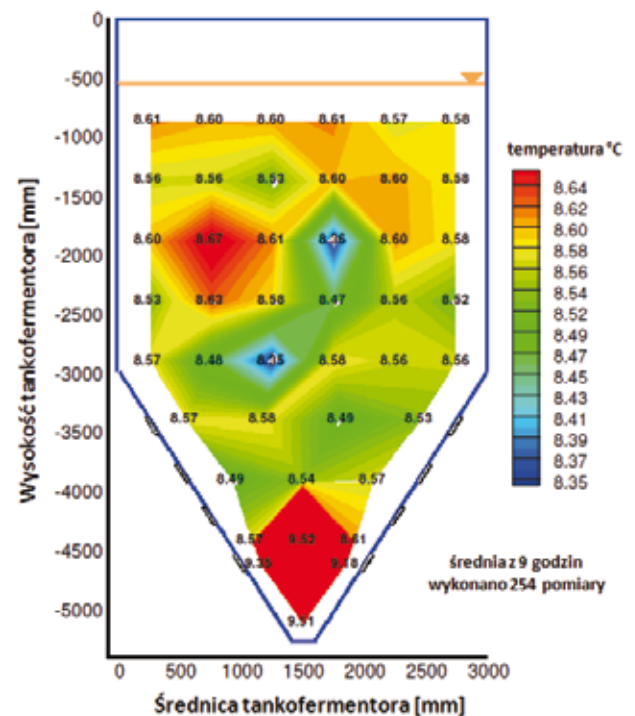
### Regulacja temperatury

Każdy zbiornik ZKT wyposażony jest w system regulacji temperatury, który spełnia następujące wymagania [16]:

- utrzymanie zadanej temperatury,
- liniowe, bezstopniowe obniżanie wartości zadanej (bez gradientu),
- utrzymanie uprzednio nastawionej temperatury końcowej,
- możliwość automatycznej regulacji temperatury odparowania z -4°C na -2°C, niezależnie od wartości zadanej,
- wskazanie wartości zadanej i wartości rzeczywistej o rozdzielczości 0,1°C dla każdego stanu roboczego.

W czasie fermentacji burzliwej, na skutek wydzielania się CO<sub>2</sub> następuje intensywne mieszanie zawartości tanku.

Ponadto działają prądy konwekcyjne, powodujące unoszenie się cieplejszego piwa ku górze, a chłodniejsze strumienie, wychłodzone przez działanie płaszcza chłodzącego w górnej części tanku, przemieszczają się ku dołowi (rys. 8A). W tej fazie fermentacji ruch piwa przy ściankach tanku



Rys. 7. Rozkład temperatur po 146-155 godzinach od napełnienia tankofermentora (fermentacja główna).

Fig. 7. Average of temperature field 146-155 h after the filling (primary fermentation process).

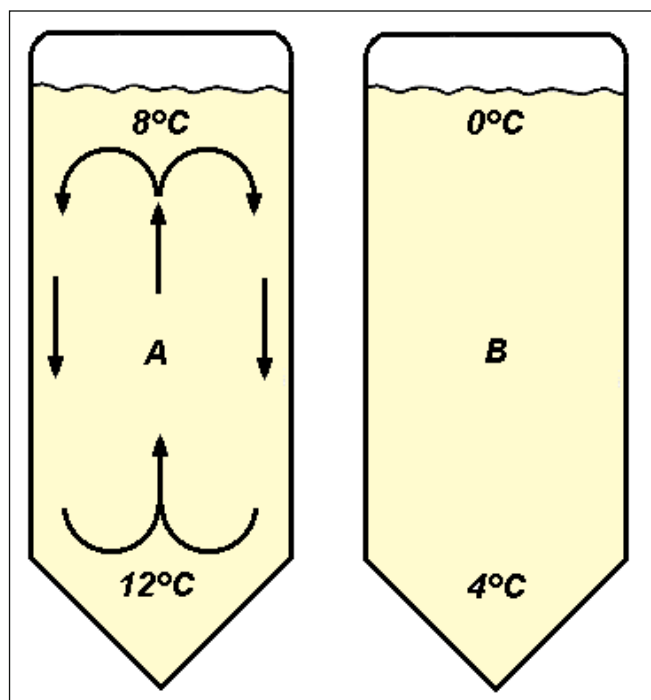
Źródło: Meironke H. 2014 [13]

Source: Meironke H. 2014 [13]

jest skierowany do strefy dolnej, a w części środkowej występują prądy skierowane do górnych części zbiornika [12].

Niezależnie od metody fermentacji i dojrzewania, w końcowym etapie procesu obniża się temperaturę leżakowania do około 0, a nawet  $-2^{\circ}\text{C}$ , i w tej temperaturze utrzymuje się piwo w ciągu co najmniej tygodnia, aby umożliwić wytrącenie się i osadzenie cząstek tak zwanego, zimnego zmętnienia oraz reszty komórek drożdży przed filtracją.

Piwa pełne i lekkie mają największą gęstość w temperaturze od  $2,5$  do  $3^{\circ}\text{C}$ , a piwa mocne przy około  $+1^{\circ}\text{C}$ . Dla przykładu, jeśli chłodzi się piwo pełne do temperatury  $-1^{\circ}\text{C}$ , to w dolnej strefie tanku (w stożku), będzie najwyższa jego gęstość i temperatura ok.  $2,5^{\circ}\text{C}$ , a w górnej części tanku piwo jest coraz zimniejsze (rys. 8B), i przy dalszym chłodzeniu może dojść do wytworzenia lodu [12].



Rys. 8. Wpływ różnicy temperatury na zjawisko konwekcji z uwzględnieniem specyficznej właściwości wody.

A – zachodzi konwekcja, B – brak konwekcji

Fig. 8. The influence of temperature difference on the convection taking into account specific water properties.

A – there is convection, B – lack of convection

Źródło: Kucharczyk K. 2005 [10]

Source: Kucharczyk K. 2005 [10]

### Krytyczne temperatury piwa

Podczas zimnego leżakowania piwa w ZKT, należy uwzględniać dwie krytyczne temperatury, które w danym przypadku zależne są od zawartości alkoholu i ekstraktu piwa. Temperaturę zamarzania / G / piwa w  $^{\circ}\text{C}$  oraz temperaturę maksymalnej gęstości (TMG) można obliczyć według następujących wzorów [19]:

$$G = - / 0,42 \cdot A + 0,04 \cdot p + 0,2 / \quad (1)$$

gdzie: A – % wag. alkoholu

p – % wag. brzeczki podstawowej.

$$TMG^* / ^{\circ}\text{C} / = 4 - / 0,65 \cdot E - 0,24 \cdot A / \quad (2)$$

gdzie: E – % wag. ekstraktu rzeczywistego

A – % wag. Alkoholu

\* – w odniesieniu do gęstości wody w  $+4^{\circ}\text{C}$ .

Należy podkreślić, że temperatura zamarzania piwa jest funkcją zawartości alkoholu i ekstraktu, np. piwo pełne zamarza w temperaturze ok.  $-2^{\circ}\text{C}$ , a piwo mocne porterowe dopiero w temperaturze ok.  $-3^{\circ}\text{C}$ . Te wartości stanowią dolne granice dla procesu chłodzenia, gdyż tworzenie lodu wpływa negatywnie na jakość piwa.

Zamarzanie piwa jest procesem powolnym. Lód tworzy się najpierw przy ściankach zbiornika, podczas gdy alkohol i rozpuszczone w piwie składniki ekstraktu koncentrują się głównie w części niezamarzniętej. Stożek tanku wyposażony jest w płaszcz chłodzący, co zapewnia schłodzenia piwa do  $0^{\circ}\text{C}$  lub nawet do  $-2^{\circ}\text{C}$  w dolnej części zbiornika.

Chłodzenie stożka jest szczególnie ważne dla jakości drożdży zbieranych po fermentacji. Biomasa drożdży sedymentuje w końcowej fazie fermentacji, w części stożkowej zbiornika. Ponieważ piwo nie zawiera już prawie żadnych składników odżywczych dla drożdży, ich przemiana materii powinna być ograniczona do minimum, tymczasem wyższa temperatura pobudza przemiany biochemiczne i prowadzi do wzmoczonego zużycia substancji zapasowych komórek, jak glikogen, mannan i lipidy. Osłabione komórki drożdży zaczynają rozkładać również inne grupy związków, przemiana materii staje się nieuporządkowana i biomasa ulega autolizie. Ściana komórkowa zostaje zniszczona i składniki cytoplazmy, jak białka, enzymy, nienasycone kwasy tłuszczowe i inne, rozpuszczają się powoli w piwie. Wynikiem tego procesu jest podwyższenie wartości pH, pogorszenie smaku i zapachu piwa oraz obniżenie trwałości mikrobiologicznej i witalności biomasy [3, 12].

## PODSUMOWANIE

Tankofermentor to nowoczesny zbiornik w różnym stopniu zautomatyzowany i najczęściej sterowany programem komputerowym, służący do fermentacji, dojrzewania i leżakowania piwa.

W pierwszej części opracowania przedstawiono ogólny opis tankofermentora oraz zalety technologiczne charakterystycznego kształtu zbiornika. We wprowadzeniu wymieniono również czynniki chłodnicze stosowane w strefach chłodzących tankofermentora oraz metody izolacji zbiorników przed wpływem zewnętrznych temperatur.

Kolejne informacje zawarte w tekście, przedstawiają techniczne i technologiczne aspekty użytkowania tankofermentorów, głównie w zakresie kontroli i regulacji temperatury w procesach fermentacji i dojrzewania piwa.

Publikacja przybliży tematykę ilości energii cieplnej wytwarzanej przez drożdże podczas biochemicznych przemian procesu fermentacji. W tekście przedstawione są dokładne informacje na temat ilości powstającego ciepła oraz znajdują się pomocne formuły kalkulacyjne do oznaczania temperatury zamarzania oraz maksymalnej gęstości piwa.

Opracowany materiał ukazuje czytelnikowi informacje na temat złożonego zagadnienia konwekcji piwa w zbiorniku

fermentacyjnym, które mają istotny wpływ na zróżnicowany rozkład temperatur piwa w poszczególnych strefach tankofermentora.

W opisie tankofermentora jednym z ważniejszych elementów wyposażenia jest armatura chłodnicza, zamontowana na zewnętrznej, cylindrycznej i stożkowej części zbiornika. Zapewnienie właściwej regulacji temperatury procesów technologicznych w tankofermentorze jest niezbędne do wyprodukowania piwa wysokiej i powtarzalnej jakości.

W zależności od wielkości tankofermentora, parametrów medium chłodzącego, wskaźnika przepływu i geometrii płaszczy chłodniczych, na końcowy wynik regulacji temperatury ma wpływ odpowiednia i właściwa równowaga tych wszystkich czynników.

W końcowej części publikacji zawarte są informacje podkreślające duże znaczenie właściwie prowadzonego procesu chłodzenia na wysoką jakość piwa poprzez zapewnienie wysokiej żywotności drożdży. Tekst wyjaśnia konieczność instalowania strefy chłodzącej w stożkowej części tankofermentora, której celem jest schłodzenie piwa wraz z osadzonymi drożdżami w tej części zbiornika.

Prawie doskonała już konstrukcja tankofermentorów i ich wyposażenia, a szczególnie powszechnie już stosowane elektroniczne systemy regulacji i komputerowego obrazowania, dają dobre podstawy do optymalizacji przebiegu fermentacji i dojrzewania piwa, a szczególnie chłodzenia tankofermentora z uwzględnieniem ekonomiki procesów.

## LITERATURA

- [1] **ALFA LAVAL SP. Z O.O. 1996.** „CIP - stacja mycia”. Brewery Course, 28 - 31.10.1996: 10-11.
- [2] **ANNEMULLER G., H. J. MANGER. 2009.** Gärung und Reifung des Bieres, VLB Berlin.
- [3] **ANNEMULLER G., H. J. MANGER, P. LIETZ. 2005.** Die Hefe in der Brauerei, VLB Berlin.
- [4] **ANTKIEWICZ P., A. CAPIK. 2002.** Nowoczesne metody fermentacji brzożki, Wydawnictwo VII Szkoły Technologii Fermentacji, Łódź: 104-105.
- [5] **BEDNARSKI W., A. TOMASZEWSKI, J. TOMASIK. 2000.** „Aspekty bioenergetyczne fermentacji piwa w unitankach”. Przemysł Fermentacyjny i Owocowo-Warzywny 7: 32-34.
- [6] **BOULTON CH. 2010.** “An investigation into the distribution of viable yeast mass and temperature variation in cylindroconical vessels during fermentation”. Scandinavian Brewer’s Review 67: 16-22.
- [7] **ESLINGER H. 2009.** Handbook of Brewing – Processes, Technology, Markets, Wiley-VCH Verlag GmbH&Co.
- [8] **HOUGH J., D. BRIGGS, R. STEVENS, T. YOUNG. 1982.** Malting and Brewing Science – Volume 2 Hopped Wort and Beer, An Aspen Publication.
- [9] **KUCHARCZYK K. 2013.** Wpływ fermentacji i dojrzewania piwa w tankofermentorach na zawartość aldehydu octowego i innych komponentów lotnych. Praca doktorska wykonana w Katedrze Technologii Fermentacji i Mikrobiologii Technicznej, Uniwersytet Rolniczy w Krakowie: 62-63.
- [10] **KUCHARCZYK K. 2005.** Zalety i wady prowadzenia procesu fermentacji, dojrzewania i leżakowania piwa w tankofermentorze. Praca magisterska wykonana w Katedrze Technologii Fermentacji i Mikrobiologii Technicznej, Akademia Rolnicza w Krakowie: 84-108.
- [11] **KUCHARCZYK K., T. TUSZYŃSKI, T. KUCHARCIK, P. ANTKIEWICZ. 2016.** „Opis nowoczesnego zbiornika (tankofermentora) stosowanego do fermentacji i dojrzewania piwa”. Postępy Techniki Przetwórstwa Spożywczego 2: 108-111.
- [12] **KUNZE W. 1999.** Technology Brewing and Malting, VLB Berlin.
- [13] **MEIRONKE H. 2014.** “Thermofluidynamics of the multiphase flow inside cylindroconical fermenters with different scales”. MATEC Web of Conferences, published by EDP Sciences.
- [14] **MEIRONKE H., K. BÖTTCHER. 2014.** “Experimental investigation of parameters, influencing velocity fields during beer fermentation.” Progress in Mechanical Engineering and Technology 597: 37-44.
- [15] **PAZERA T., T. RZEMIENIUK. 1998.** Browarnictwo – podręcznik dla technikum, WSiP Warszawa.
- [16] **SMAGOŃ W. 1995.** Opis i produkcja piwa w tankofermentorach. Praca dyplomowa wykonana w Technikum Przemysłu Browarniczego w Tychach.
- [17] **SPEERS R., S. STOKES. 2009.** “Effects of vessel geometry, fermenting volume and yeast repitching on fermenting beer”. Journal of the Institute of Brewing 115: 148-150.
- [18] **VARMA R. 1999.** “Heat transfer in Unitanks”. Brauwelt International 2: 124-127.
- [19] **VERLOG H. C. 1995.** Handbuch der Brauerei – Praxis, VLB Berlin.