

Dr inż. Krzysztof KUCHARCZYK  
Mgr inż. Monika CIOCH  
Katedra Technologii Fermentacji i Mikrobiologii Technicznej  
Wydział Technologii Żywności, UR w Krakowie

## GOSPODARKA DROŹDŻOWA W BROWARZE®

### Yeast management in brewery®

**Słowa kluczowe:** drożdże, czynniki stresowe, wymagania, przechowywanie, piwo drożdżowe.

*Cechy sensoryczne oraz stabilność smakowa piwa w bardzo dużej mierze zależą od jakości drożdży użytych do fermentacji brzezki piwnej. Właściwe zarządzanie gęstwą drożdżową w czasie całego procesu technologicznego wytwarzania piwa, przyczynia się do utrzymania optymalnej kondycji fizjologiczno-morfologicznej drożdży. W treści niniejszego artykułu wskazano na istotne znaczenie, jakie mają dla zachowania vitalności i żywotności komórek drożdżowych czynności związane z pielęgnacją drożdży, poczynwszy od ich zbioru z tankofermentora, poprzez przechowywanie aż do ich ponownego użycia do rozpoczęcia kolejnej fermentacji brzezki. Przedstawiono również wymagania jakościowe dla drożdży nastawnych oraz z przeznaczeniem na odzysk piwa, a także wymieniono czynniki stresowe mające negatywny wpływ na komórki drożdżowe.*

**Key words:** yeast, stress factors, requirements, storage, beer yeast.

*Sensory characteristics and flavor stability of beer very much depend on the quality of yeast used to ferment the wort. Proper management of the slurry yeast during the whole manufacturing process of beer helps to maintain proper condition, physiological and morphological yeast. The content of this article pointed out the importance of what they have to maintain the vitality and viability of yeast cells activities related to the care of yeast from their harvest tank fermentors by stored up to further the beginning of the next fermentation wort. It also presents quality requirements for pitched yeast and yeast for the purpose of recovery of beer, as well as lists stress factors have a negative effect on the yeast cells.*

### WSTĘP

Wzrost produktywności w procesie wytwarzania piwa, który dokonał się w ciągu ostatnich dziesięcioleci, zwłaszcza na etapie fermentacji i dojrzewania, a także wymagania jakościowe dotyczące produktu końcowego, spowodowały podniesienie oczekiwań technologicznych odnośnie drożdży.

W literaturze od dłuższego czasu dyskutuje się nad wielokrotnością zastosowania drożdży zarodowych. W większości browarów używane są one nie więcej niż trzy lub cztery razy do rozpoczęcia fermentacji brzezki. Często w praktyce browarniczej wymienia się drożdże w momencie wyraźnego spadku ich vitalności i wydajności fermentacji (znane są przypadki dziesięcio-, dwunasto-, a nawet stukrotnego zastosowania tej samej partii drożdży) [1].

Drożdże niewykorzystane do kolejnych nastawów fermentacyjnych poddawane są procesowi odzysku piwa, z jednoczesnym zagęszczaniem gęstwy. Ze względu na możliwości finansowe, w większości browarów, usunięte z produkcji drożdże sprzedawane są w formie nieprzetworzonej, a następnie w suszarniach uzyskuje się z nich wysokowartościową paszę dla zwierząt.

Bez wątplenia wymagana od drożdży „wydajność fermentacji” jest mniejsza w klasycznych technologiach, niż przy zoptymalizowanych czasowo procedurach fermentacji wysokoekstraktywnych brzezek HGB (High Gravity Brewing). Właśnie w nich zaobserwowano, że aktywność drożdży relatywnie szybko spada i muszą być one wymieniane po

niewielkiej ilości cykli. Te zmiany właściwości drożdży nastawnych określono mianem degeneracji.

**W artykule podjęto problematykę związaną z gospodarką drożdżową w browarze. W pracy przedstawiono informacje, które pozwalają zapewnić wysoką żywotność i vitalność drożdży, możliwość ich użycia do następnych fermentacji oraz wpływ negatywnych czynników stresowych na ich populację.**

### GOSPODARKA DROŹDŻOWA

#### Objawy degeneracji drożdży zarodowych

W wyniku procesu degeneracji gęstwa drożdżowa staje się z każdym cyklem coraz bardziej kłaczkowata (puszysta), a vitalność zbieranych drożdży obniża się. Wzrasta udział martwych komórek, w efekcie czego zmniejszeniu ulega pienistość piwa, na skutek przedostania się do niego aminokwasów zgromadzonych w komórkach drożdżowych, co prowadzi do powstania smaku napoju zbliżonego do uzyskiwanego podczas autolizy. Tempo procesu fermentacji ulega spowolnieniu, zmniejszając się wyraźnie po zaledwie kilku cyklach, a w konsekwencji nie zachodzi on całkowicie. Stopień dojrzałości piwa pogarsza się. Ponadto, stosunek stężenia wyższych alkoholi do estrów zwiększa się na rzecz tych pierwszych, skutkując powstaniem piwa mniej aromatycznego, a bardziej wytrawnego. Dodatkowo, trwałość piany gotowego napoju pogarsza się. Zużycie azotu  $\alpha$ -aminowego spada, co skutkuje wzrostem zawartości FAN (niskocząsteczkowe

aminokwasy) oraz wartości pH w gotowym piwie. Zmniejszeniu ulega natomiast zdolność redukcji związków karbonylowych przez drożdże w trakcie fermentacji, co prowadzi do pogorszenia stabilności smaku otrzymywanego piwa [1, 10].

### Możliwe przyczyny degeneracji drożdży

Za możliwe przyczyny degeneracji drożdży zarodowych uważa się niewłaściwe ich przechowywanie przed kolejnym użyciem (czas magazynowania powyżej 5-ciu godzin w temperaturze wyższej niż 4°C oraz dłużej niż 24 godziny – pod wodą lub w odfermentowanym piwie), które prowadzi do utraty czynników wzrostowych i odżywczych komórek drożdżowych [1]. Zanik zdolności metabolicznych maltozy skutkuje wydłużeniem czasu adaptacji „lag phase” w nowym dla drożdży środowisku, jakim jest schłodzona brzeczka. Wydłużenie fazy zafermentowania powoduje natomiast zmniejszenie szybkości ubytku ekstraktu oraz uzyskanie wyższych wartości pH, podczas przebiegu całego procesu w tankofermentorze (CKT).

Warto zauważyć, że każde przedłużenie fazy zafermentowania zwiększa ryzyko krótkotrwałego rozwoju szybko namnażających się bakterii. Ich źródłem mogą być zarodniki lub skażenie podczas procesu chłodzenia brzeczki (zwłaszcza przy wartościach pH > 5,0 i temperaturze > 6°C).

Niedobór składników odżywczych w brzeczce, szczególnie FAN, pierwiastków śladowych, w tym cynku, witamin, czynników wzrostowych, a także w pewnych okolicznościach tlenu, powoduje dodatkowo szybkie zwyrodnienie drożdży.

Parametry technologiczne, które zapobiegają wielokrotnemu rozmnożeniu drożdży (naciśnienie > 0,3 bara i  $\Delta T > 1^\circ C$  w fazie fermentacji i rozmnażania) prowadzą do starzenia się i degeneracji drożdży zarodowych.

Szybsza fermentacja w CKT, jak również obecność drożdży w piwie, aż do ustania fermentacji, a następnie dojrzewania (spadek diacetylu do < 0,04 mg/l) powoduje utratę zdolności adaptacyjnych drożdży, w odniesieniu do maltozy oraz po zużyciu cukrów fermentujących. Przy natychmiastowym ponownym wykorzystaniu, konieczne jest ponowne wykształcenie tych zdolności podczas kolejnego zafermentowania. Dłuższy okres adaptacyjny lag phase wynika z niedoboru zapasowych węglowodanów w komórce drożdżowej [1].

### Czynniki stresu

Niedobór składników odżywczych, podwyższona temperatura fermentacji i przechowywania w zbiornikach drożdżowych, chłodzenie i substancje toksyczne oraz inne czynniki środowiskowe są efektem przemian zachodzących w drożdżach, określanymi jako reakcje stresowe komórek, które są konsekwencją ich zmian fizjologicznych, morfologicznych i składu chemicznego [8, 9, 11, 14, 15].

Drożdże reagują na stres indukacją genów stresu (geny szoku termicznego), które aktywują syntezę specjalnych środków ochronnych komórek (protektory komórkowe), takich jak białka szoku termicznego, czy trehaloza. Geny te uznawane są za wskaźniki pojedynczych czynników stresowych. Przegląd potencjalnych czynników stresowych drożdży w procesie produkcji piwa przedstawiono w tabeli 1.

**Tabela 1. Potencjalne czynniki stresowe dla drożdży w procesie produkcji piwa**

**Table 1. Potential for yeast stress factors in the beer production process**

Czynnik stresowy	Procedury technologiczne
Podwyższona temperatura	Fermentacja i dojrzewanie prowadzone w temperaturach powyżej 15°C. Szok termiczny występujący w drożdżach przechowywanych poniżej 4°C w trakcie dozowania do brzeczki o temperaturze powyżej 10°C.
Obniżona temperatura	Chłodzenie drożdży z temperatury dojrzewania powyżej 15°C do temperatury magazynowania poniżej 2°C.
Ciśnienie osmotyczne	Odbiór drożdży z piwa HGB o zawartości alkoholu powyżej 6% i ponowne użycie do fermentacji stężonych brzeczek.
Stres przy utlenianiu	Intensywna fermentacja aerobowa, hiperwentylacja podczas napowietrzania brzeczki.
Niedobór składników odżywczych	Niedobór komponentów odżywczych w brzeczce niezbędnych podczas namnażania drożdży. Straty składników odżywczych (zwłaszcza składników wzrostu) w wyniku infekcji mikrobiologicznej brzeczki. Zbyt intensywna sterylizacja brzeczki przed etapem propagacji drożdży (przy biotynie i kwasie pantotenowym na poziomie 10-30%). Niedobór cynku, straty innych pierwiastków występujących w ilościach śladowych w trakcie procesu filtracji zacieru (pozostałość w wysłodzinach) oraz w gorącym osadzie pozostającym na dnie kadzi Whirpool po wypompowaniu brzeczki do tankofermentora.
Zmiany wartości pH	Zakwaszenie drożdży nastawnych za pomocą $H_3PO_4$ lub $H_2SO_4$ do wartości pH poniżej 2,0.
Wpływ środków toksycznych	Powstający etanol w stężeniu powyżej 5% obj. w trakcie fermentacji brzeczki, zwłaszcza wysokoekstraktywnej (HGB). Resztki środków dezynfekujących pozostałych po myciu lub przemyciu przed napełnieniem tanko-fermentorów.
Sucha masa drożdży	Zmiany zawartości wody w drożdżach podczas ich prasowania lub suszenia.

Źródło: Annemüller G., Manger H.J., Lietz P. 2005 [1]

### Odświeżanie populacji drożdży

W celu utrzymania niezmienniej jakości piwa zwraca się szczególną uwagę na kondycję drożdży. Warunki techniczne i technologiczne oraz jakość stosowanych w zakładzie surowców wpływają na zmiany morfologiczne i fizjologiczne drożdży. Wymagana jest więc regularna odnowa czystej kultury drożdży w browarze, polegająca na namnażaniu nowej populacji w stacji propagacji.

Przyjmuje się, że drożdże powinny być wymieniane średnio dwa razy w roku. W przypadku, gdy w dłuższym okresie czasu populacja drożdży nie wykazuje negatywnego wpływu na sensoryczną jakość piwa, skład komponentów lotnych (aldehid octowy, wicynalne diketony, estry i wyższe alkohole), główne parametry fermentacji (szybkość fermentacji, zdolność flokulacji, wydajność etanolu, pH i inne) oraz

gotowy wyrób (zmętnienie piwa), obecny w browarze szczep może być w dalszym ciągu propagowany. Z kolei czysta kultura uzyskana w procesie namnażania i zastosowana do fermentacji oraz dojrzwiania w CKT, powinna być używana nie więcej niż 3-6 razy.

Badania nad integralnością organiczną stanu komórek, pod wpływem wielokrotnego użycia drożdży zarodowych do nastawiania fermentacji, ocenianą za pomocą indykatorów biologicznych, wykazały szereg zmian [5]. Jedną z nich jest wzrost międzykomórkowej zawartości trehalozy od pierwszego etapu propagacji (G0), aż do szóstego wprowadzenia drożdży produkcyjnych (G6). Oznacza to indukcję złożonej syntazy trehalozy poprzez czynniki stresu, w czasie ponownego dozowania. Za pierwszą oznakę zmian uznaje się nieznaczny wzrost udziału upośledzonych oddechowo komórek, począwszy od 5-ego wprowadzenia. Namnażające się drożdże narażone są na stres oksydacji, który powoduje peroksydację lipidów, w efekcie czego w membranie komórkowej następuje obniżenie aktywności enzymatycznej, co skutkuje wchłanianiem wycinalnych diketonów wyraźnie słabszym przy generacji G0, niż przy drożdżach produkcyjnych G1... G6. Ponadto, napięcie powierzchniowe i zdolność flokulacji drożdży wyraźnie wzrasta od generacji G0 do wielokrotnie stosowanych drożdży produkcyjnych. Pomiędzy generacjami G1 i G6 brak jest natomiast różnicy. Oznaczenie zawartości martwych komórek w gęstwie drożdżowej (barwienie błękitem metylowym) nie wykazuje różnic pomiędzy drożdżami propagacyjnymi, a produkcyjnymi od G1 do G6 [1].

Z technologicznego punktu widzenia, odnośnie pozytywnego, jak i negatywnego aspektu wielokrotnego użycia gęstwy drożdżowej, właściwe jest stosowanie niezainfekowanych drożdży do szóstego pasażu. Drożdże propagacyjne, będące w fazie logarytmicznego wzrostu, wykazujące w pełni rozwiniętą zdolność do konsumpcji maltozy, wprowadzone do brzezki nastawnej energicznie rozpoczynają fermentację, bez fazy opóźnienia.

Młode komórki propagacyjne, charakteryzujące się mniejszymi rozmiarami w stosunku do drożdży zarodowych, są mniej podatne na wahania ciśnienia hydrostatycznego i osmotycznego, niż przechowywane drożdże nastawne. Z kolei świeże komórki charakteryzują się większym ryzykiem wydzielania hydrolaz, zwłaszcza enzymów proteolitycznych, w efekcie czego pogorsza się trwałość piany oraz stabilność piwa [1].

Rozwijająca się populacja drożdży podczas propagacji nie starzeje się. Udział procentowy komórek drożdżowych mierzony ich wiekiem jest stały. W drożdżach propagacyjnych liczba komórek z dużym udziałem znamion pączkujących jest mniejsza niż w magazynowanych drożdżach nastawnych.

Pączkujące znamię odpowiada około 2% powierzchni komórki. Obszar ten ma zmieniony skład ściany komórkowej, w wyniku czego traci zdolność wymiany substancji. Wymiana metabolitów komórki drożdżowej spada wraz z kolejnym pączkowaniem. Stwierdzono, że komórki mogą zawierać nawet do około 25 znamion, co stanowi połowę ich powierzchni [1].

Próbuje się regularnie wprowadzać świeże drożdże propagacyjne, aby zaradzić temu problemowi.

### Zalety drożdży otrzymanych w instalacji propagacji

Zasadniczą różnicą w przypadku drożdży namnażanych w tankofermentorach, w porównaniu do pozyskanych ze stacji propagacji, są warunki procesu. Etap propagacji odbywa się w znacznej mierze bez wpływu wyżej wymienionych czynników stresu. W ten sposób gwarantuje się wystarczającą dostępność koniecznego stężenia tlenu, temperatury (bez szoków termicznych), niskie ciśnienie cząstkowe CO<sub>2</sub> oraz nieznaczne zawartości etanolu (< 0,7% obj. etanolu w fazie logarytmicznego wzrostu). Ponadto, dostępne są w dostatecznej ilości fermentowalne cukry. Brak jest również zagrożenia autolizą, co jest efektem odbudowy wystarczającej ilości węglowodanów zapasowych. W ten sposób uzyskuje się wolną od zanieczyszczeń, niezdegenerowaną podczas fazy przechowywania, czystą, żywotną gęstwę [1].

### Wymagania dla drożdży zarodowych

Czystość (brak infekcji) drożdży propagacyjnych i używanych w obiegu produkcyjnym, jest możliwa do oceny metodą opisaną przez Back'a [2]. Przegląd różnic i charakterystykę drożdży produkcyjnych za pomocą nowych fizjologicznych i genetycznych metod, podaje natomiast Schöneborn [13]. Według wyników jego badań, do typizacji drożdży najbardziej adekwatną jest metoda AFLP (Amplified Fragment Length Polimorphism). Dzięki połączeniu z analizą PCR (Polymerase Chain Reaction), technika ta jest przydatna do kontroli czystości kultur oraz ewidencjonowania drożdży obcych.

Oszacowanie udziału martwych komórek w gęstwie drożdżowej jest dokonywane za pomocą klasycznego barwienia błękitem lub fioletem metylowym oraz przy użyciu mikroskopu świetlnego. Coraz częściej stosuje się automatyczny pomiar za pomocą NucleoCounter'a – urządzenia, które wykorzystuje zjawisko fluorescencji komórek pod wpływem barwienia jodkiem propidyny.

Należy zwrócić uwagę, że przy barwieniu błękitem lub fioletem metylowym, obumarłe komórki drożdżowe nie są wyraźnie zabarwiane na ciemnoniebiesko, a ok. 5% masy drożdży, w ogóle nie ulega wybarwieniu [3].

Do oceny żywotności i stanu fizjologicznego drożdży propagacyjnych, jak również zbieranych do zbiorników drożdżowych z tankofermentorów, wykorzystuje się szereg metod analitycznych. Do określenia aktywności wybranych enzymów drożdżowych preferuje się techniki spektrofotometrii (złożone permeazy maltozy i maltazy, pirogronian hydrogenazy, hydrogenaza etanolu, karboksylaza pirogronianu) [17]. Określenie udziału żywych i martwych komórek, a także zawartości glikogenu i trehalozy można uzyskać za pomocą metod optyczno-fluorescencyjnych [6].

W odniesieniu do wymienionych technik istnieje możliwość ujęcia i modelowania wzrostu drożdży i ich fizjologii [7]. Prosta metoda miareczkowa, tzw. „miara istotna”, którą mierzony jest czas wymagany dla drożdży, aby podwyższoną wartość pH brzezki obniżyć z poziomu 10,0 do 6,5, pozwala przewidywać ich zachowania fermentacyjne. Pomiar międzykomórkowej wartości pH uzyskuje się natomiast za pomocą tzw. metody ICP (Inductively Coupled Plasma). Z kolei mikrobiologiczne metody molekularne pozwalają określić ogólną ekspresję genów (technologia microarray) [16].

Drożdże nastawne stosowane do kolejnej fermentacji winny spełniać szereg wymagań, które pozwolą na prawidłowy przebieg procesu fermentacji brzeczki piwnej i dojrzenia piwa (tabela 2). Oprócz wpływu na wskaźniki procesowe, drożdże zarodkowe powinny zapewnić właściwy skład komponentów lotnych napoju.

**Tabela 2. Wymagania dla drożdży warunkujące prawidłowy przebieg procesu fermentacji brzeczki piwnej i dojrzenia piwa**

**Table 2. Requirements for yeast ensuring proper the fermentation process of wort and beer maturation**

Wymagania	Wskaźniki
Pochodzenie czystej kultury	1-5 generacji (pasaży)
Żywotność (moc fermentacyjna)	Zmierzona przez tworzenie się CO <sub>2</sub> w 10% roztworze maltozy w temp. 20°C w czasie 3 godzin - wytworzenie minimum 25 – 28 ml CO <sub>2</sub> ; prefermentowanie przynajmniej 1% ekstraktu pozornego w pierwszych 24 godz. po nastawieniu; przebieg fermentacji bez zakłóceń przez 4 – 5 dni do pełnego odfermentowania ekstraktu.
Brak infekcji	Brak obcych gatunków drożdży i mikroorganizmów szkodliwych dla piwa.
Niewielka ilość zanieczyszczeń	Wizualnie: jasna barwa, bez widocznych zmętnień.
Niewielka zawartość martwych komórek	≤ 5%, optymalnie < 2%
Papkowata, gęsta konsystencja	ok. 0,7 do 1,5·10 <sup>9</sup> komórek/ml
Bukiet fermentacji	Stosunek składników bukietu w jasnych piwach dolnej fermentacji: wyższe alkohole : estry - 3,4 – 3,8 : 1 całkowita zawartość diacetylu ≤ 0,04 mg/l
Spadek wartości pH	Spadek wartości pH w pierwszych 24 godzinach (0,3 – 0,4 pH); wartość pH piwa (jasne piwo dolnej fermentacji) - 4,1 – 4,4.
Dobre właściwości sedymentacyjne i możliwość oczyszczania	Zawartość drożdży w piwie wpływającym do filtra ≤ 2·10 <sup>6</sup> komórek/ml piwa.
Odpowiadający typowi piwa i wymaganiom browaru, sensorycznie najlepiej dostosowany szczep drożdży	Sposób wyboru zakładowego szczepu drożdży z uwzględnieniem doświadczeń i warunków browaru, jak również wymagań rynku i badań.
Możliwość zachodzenia procesów przeciwutleniania i redukcji, poprawiających zachowanie świeżości piwa	Tworzenie się SO <sub>2</sub> w piwie dolnej fermentacji w zakresie 4 < mg SO <sub>2</sub> /l < 10
Brak pogorszenia trwałości piany w fazie dojrzenia i chłodzenia (brak wydalenia proteazy)	Pozytywne zmiany trwałości piany od fazy dojrzenia do przefiltrowanego piwa.

**Źródło:** Annemüller G., Manger H.J., Lietz P. 2005 [1]

## OBRÓBKA DROŻDŻY

### Schładzanie drożdży

W przypadku, kiedy zebrane drożdże nie są bezpośrednio nastawione do kolejnej fermentacji, konieczne jest ich schłodzenie. W tym celu używane są naczynia do przechowywania (zbiorniki na gęstwą drożdżową), wyposażone w płaszcze chłodzące, których efektywność odprowadzania ciepła jest zwiększona mieszadłami zamontowanymi wewnątrz zbiorników. Częściowe schłodzenie drożdży może zachodzić już w naczyniu fermentacyjnym, ze względu na zainstalowaną strefę chłodzącą, obejmującą stożek tankofermentora.

Efektywne obniżenie temperatury drożdży w zbiornikach z chłodzeniem płaszczowym bez mieszadła, albo w stożku CKT z zamontowaną powierzchnią chłodzącą, nie jest możliwe. Ciepło odprowadzane jest jedynie na powierzchni kontaktu drożdży ze schładzaną powierzchnią zbiornika. Nie powinno być również zbyt dużej różnicy temperatury między drożdżami a chłodziwem, bo prowadzi to do osadzania się lodu lub zamarzania drożdży.

Jeśli wymagane jest szybkie schłodzenie drożdży, należy zainstalować odpowiednie płytowe wymienniki ciepła, przy pomocy których drożdże będą schładzane w czasie przepływu z tankofermentora do tanku drożdżowego.

Należy wziąć pod uwagę, że drożdże mogą zareagować na gwałtowne zmiany temperatur wydalaniem zawartości komórki. Taki proces jest dla gotowego piwa niepożądany, ponieważ proteazy i kwasy tłuszczowe mogą negatywnie oddziaływać na pianę i sensoryczną stabilność piwa [1].

### Magazynowanie drożdży

Zebrane drożdże, w wielu przypadkach są przechowywane do czasu następnego nastawienia. Okres ten waha się od kilku godzin do kilku dni. Działania technologiczne powinny być nakierowane na zminimalizowanie tego czasu. Ze względów fizjologicznych drożdży, zdecydowanie bardziej korzystne jest szybkie odebranie gęstwy ze zbiornika fermentacyjnego do tanku drożdżowego po zakończeniu fermentacji, niż przetrzymywanie ich w konusie tankofermentora, w warunkach skrajnie niepożądanych, takich jak: podwyższona temperatura, stężenie CO<sub>2</sub> i etanolu, dalsza aktywność fizjologiczna objawiająca się niekorzystnym zużyciem cukrów zapasowych oraz zapoczątkowanie procesu autolizy na skutek samotrąwienia błony i ściany komórkowej.

Najprostszym i najczęściej praktykowanym sposobem jest odbiór gęstwy drożdżowej do zbiorników drożdżowych i przechowywanie drożdży w niskiej temperaturze (1,3 – 1,8°C), bez stosowania dodatkowych czynności pielęgnacyjnych.

Obecnie zarzucono już praktyki płukania drożdży wodą lub roztworem kwasu. Istotną wadą tego działania jest fakt, że drożdże pod wpływem różnicy ciśnienia osmotycznego, oddają do wody wartościowe składniki komórki, co prowadzi do ich osłabienia. Wymywanie martwych komórek drożdży jest w zasadzie niemożliwe, w przeciwieństwie do bakterii i zanieczyszczeń, które mogą być wypłukane, jednak wyłącznie przy równoczesnym osłabieniu drożdży.

Z kolei, jako doraźny środek w celu zmniejszenia infekcji, możliwe jest stosowanie płukania kwasem. Zakwaszenie

drożdży rozcieńczonym kwasem siarkowym lub fosforowym ( $\leq 10\%$ ) do pH 2,1 – 2,5, na czas 2 – 5 godzin, powinno wyeliminować lub w dużym stopniu zredukować zakażenie mikrobiologiczne. Współcześnie krytycznie postrzega się możliwe efekty płukania albo „moczenia” drożdży, dlatego też coraz rzadziej praktykuje się ten sposób postępowania.

Niskie temperatury przechowywania drożdży są konieczne, aby obniżyć aktywność zachodzących procesów przemiany materii u drożdży, a przez to zachować w komórkach węglowodany zapasowe, takie jak glikogen i trehaloza (tzw. rezerwy komórkowe drożdży).

Schładzanie zbieranych drożdży, przeznaczonych do przechowywania, powinno następować tak szybko, jak to możliwe. Według najnowszych doniesień literaturowych, zebrane drożdże na okres przechowywania dłuższy niż 12 godzin, powinny zostać schłodzone do temperatury niższej niż  $2^{\circ}\text{C}$  i odgazowane środkami technicznymi bez napowietrzania (rozprężenie z ciśnienia wymaganego podczas odbioru z około 1 – 2 barów, celem uniknięcia wypienienia i gwałtownego szoku śródcząsteczkowego do ciśnienia 0,05 barów, a także mieszanie oraz mniej polecane – przepompowywanie lub wewnętrzna cyrkulacja), aby oddzielić  $\text{CO}_2$ .

W przypadku zastosowania zebranych drożdży z zamiarem dodania do kolejnej fermentacji w przeciągu do 12 godzin powinno się schłodzić drożdże do temperatury nie mniejszej niż temperatura nastawna planowanej fermentacji. Drożdże dzięki temu nie są narażone na szok termiczny w wyniku głębokiego schładzania a jednocześnie następuje lepsze oddzielenie z komórek dwutlenku węgla na skutek wyższej temperatury przechowywanej gęstwy.

Schładzanie do temperatury niższej niż  $2^{\circ}\text{C}$  powinno następować podczas zbioru drożdży z tankofermentora do tanku drożdżowego, przy zastosowaniu wymiennika ciepła. Przy schłodzeniu drożdży dopiero w zbiorniku drożdżowym, czas ten jest znacznie dłuższy. Odbiór ciepła z gęstwy przez czynnik chłodzący (w płaszczach chłodzących) wspomagany jest mieszałem zamontowanym wewnątrz zbiornika, co jednocześnie pozwala na uzyskanie jednorodnej konsystencji drożdży [4].

Bezpośrednio przed zadozwaniem drożdży do brzezki można zastosować tzw. „ożywianie” lub „natlenianie”, którego celem jest pełne odprowadzenie  $\text{CO}_2$  i doprowadzenie tlenu. Napowietrzanie drożdży powinno zachodzić bezpośrednio przed zadozwaniem do kolejnej fermentacji (od 1 do 2 godzin). Niepożądane jest, aby napowietrzane drożdże były w dalszym ciągu przechowywane, ze względu na pobudzenie funkcji życiowych, które objawiają się wzmożonym zużyciem węglowodanów zapasowych (glikogen i trehaloza) [1, 5].

Przechowywanie drożdży odpadowych, z przeznaczeniem na odzysk z nich piwa, powinno zachodzić w temperaturze niższej niż  $2^{\circ}\text{C}$ , w czasie maksymalnie trzech dni, celem uniknięcia pogorszenia jakości produktu końcowego. Odzyskane piwo dozowane jest w ilości 5% do głównego strumienia filtrowanego piwa, przy zastosowaniu ziemi okrzemkowej.

Podczas przechowywania drożdży w podwyższonej temperaturze, dochodzi w przyspieszonym tempie do zwiększenia zawartości toksyn, a w efekcie zmniejszenia żywotności

i zdolności do utrzymania funkcji życiowych komórek [12]. W trakcie przedłużonego składowania następuje zwiększenie zawartości aldehydu octowego. W niekorzystnych warunkach powstają w drożdżach również negatywnie oddziałujące na piwo średniołańcuchowe kwasy tłuszczowe –  $\text{C}_5$  do  $\text{C}_{12}$ , szczególnie kwasy oktanowy i dekanowy. Do innych wad piwa zaliczyć można zwiększoną zawartość FAN nawet do 400 mg/l, co powoduje, przy termicznej obróbce piwa drożdżowego, wzmożone tworzenie się aldehydów dwufurfurylowych i innych składników procesów starzenia. Wzrasta również aktywność szkodliwej dla piany proteiny A, w wyniku autolizy komórek drożdżowych, przez co pH piwa osiąga wartość nawet powyżej 5 [1].

Krótki czas przechowywania drożdży w niskiej temperaturze pozwala na uzyskanie piwa drożdżowego o właściwościach sensorycznych zbliżonych do piwa filtrowanego bezpośrednio z tankofermentora.

## PODSUMOWANIE

Jakość drożdży odgrywa kluczową rolę w uzyskiwaniu stałej, dobrej jakości piwa. Właściwe prowadzenie gospodarki drożdżowej w browarze jest niezbędne do zachowania wysokiej witalności i żywotności używanych drożdży zarodkowych. Drożdże nastawne można stosować wielokrotnie do kolejnych nastawów fermentacyjnych. Zazwyczaj browary używają drożdże do czwartej generacji. Ilość pasażu zależy przede wszystkim od sposobu prowadzenia procesu technologicznego, czystości mikrobiologicznej i przebiegu fermentacji. Po wielokrotnym użyciu pojawiają się objawy degeneracji komórek, co niekorzystnie wpływa na jakość piwa. Proces degeneracji może wynikać z niewłaściwie prowadzonych czynności technologicznych, do których zaliczyć można opóźniony zbiór drożdży z tankofermentora i ich przechowywanie w podwyższonej temperaturze oraz przy zwiększonym ciśnieniu. Do niekorzystnych warunków należy zaliczyć wszelakiego rodzaju czynniki stresowe, wywierające wpływ na populację drożdży.

Istotne jest, aby drożdże przeznaczone do kolejnych fermentacji spełniały szereg wymagań technologicznych, celem uzyskania dobrej jakości piwa.

## LITERATURA

- [1] ANNEMÜLLER G., MANGER H.J., LIETZ P. 2005. Die Hefe in der Brauerei, VLB Berlin.
- [2] BACK W. 1994. Farbatlas Und Handbuch der Getränkebiologie, Fachverlag Hans Carl, Nürnberg.
- [3] BACK W. 2004. Hefetechnologie und Bierqualität. Technologischen Seminar Weihenstephan, 1, 1-11.
- [4] CAHIL G., WALSH P., DONNELLY D. 2003. A study of the variation in temperature, solids concentration and yeast viability in agitated stored yeast, Proceedings of the 29th Congress EBC in Dublin, 42, 1-10.
- [5] DEBOURG A. 2010. Yeast management and high gravity fermentation, Wydawnictwo XV Szkoły Technologii Fermentacji, Kocierz, 16-25.
- [6] HARMS D., MIRBACH S., NITZSCHE F., HUTTER K. 2003. Novel ways of management – a new

- analytical approach to optimise yeast handling, Proceedings of the 29th Congress EBC in Dublin, 41,1-10.
- [7] **HUTTER K., KURZ T., DELGADO A. 2003.** Determination and modeling of yeast performance and physiology, Proceedings of the 29th Congress EBC in Dublin, 43,1-11.
- [8] **JENKINS CH. 2001.** Impact of wort composition and serial repitching on lager brewing yeast fermentation performance and organelle integrity, Proceedings of the 28th Congress EBC in Budapest, 40,1-10.
- [9] **KUNZE W. 1998.** Technology Brewing and Malting, VLB Berlin, 319-321.
- [10] **LATUS-ZIĘTKIEWICZ D. 1999.** *Gospodarka drożdżami a jakość piwa.* Przemysł Fermentacyjny i Owocowo-Warzywny, 2, 18-20.
- [11] **MÖNCH D., KRÜGER E., STAHL U. 1995.** *Wirkung von Stress auf Brauereihefen.* Monatsschrift für Brauwissenschaft, 48, 288-299.
- [12] **SCHNEEBERGER M., KROTTENHALLER M., BACK W. 2004.** Der einfluss des aufbewahrungszeitraumes von Überschusshefe auf die Qualität des darin enthaltenen, wiedergewinnbaren hefebieres, Technologischen Seminar Weihenstephan, 3, 1-3.
- [13] **SCHÖNEBORN H. 2002.** *Differenzierung und Charakterisierung von Betriebshefekulturen mit genetischen und physiologischen methoden.* Dissertation TU München-Weihenstephan.
- [14] **SMART K. 2001.** The management of brewing yeast stress, Proceedings of the 28th Congress EBC in Budapest, 32,1-10.
- [15] **SMART K. 2003.** Differential regulation of yeast cell Wall mannoproteins in response to stress during brewing yeast fermentation, Proceedings of the 29th Congress EBC in Dublin, 44,1-9.
- [16] **SPRINGER R. 2004.** Die geneexpression der hefe Und Imre erfassung durch molekularbiologische methoden, Weihenstephaner Hefesymposiums, Freising, 15-16.06.
- [17] **WELLHOENER U., GEIGER E. 2003.** Definition of the physiological conditio of a brewers yeast by means of enzyme activity measurements during propagation and fermentation, Proceedings of the 29th Congress EBC in Dublin, 55,1-11.