

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

FILTRACJA ZACIERU PRZY UŻYCIU KADZI FILTRACYJNEJ®

Mash filtering using lauter tun®

Słowa kluczowe: zacier, filtracja zacieru, kadź filtracyjna, warzelnia.

Filtracja zacieru jest jednym z najważniejszych etapów produkcji brzezki piwnej. Celem filtracji zacieru jest uzyskanie klarownej brzezki w wyniku oddzielenia wysłodzin. Do oddzielenia zacieru od wysłodzin stosuje się kadzie filtracyjne i w mniejszym stopniu filtry do zacieru. Materiałem filtracyjnym w kadzi filtracyjnej jest głównie łuska słodu zawierająca dużą ilość celulozy i hemicelulozy. Otrzymana w wyniku filtracji brzezka kierowana jest do kotła warzelnego celem jej gotowania z chmielem, natomiast wysłodziny są usuwane z kadzi filtracyjnej do specjalnego zbiornika na wysłodziny. Filtracja zacieru w kadzi filtracyjnej jest najbardziej czasochłonnym etapem produkcyjnym na warzelnii, na którą składa się: przygotowanie kadzi, utworzenie warstwy filtracyjnej, filtracja brzezki przedniej i wysłodkowej oraz oczyszczenie kadzi z wysłodzin i wypłukanie wnętrza gorącą wodą przed kolejną filtracją. Kadź filtracyjna wyposażona jest w podwójne dno, obrotowy spulchniacz (mieszadło) z listwą zgarniającą oraz układ do wysładzania warstwy filtracyjnej przy użyciu gorącej wody. Obecnie stosowane kadzie filtracyjne charakteryzują się wysoką wydajnością, niskimi kosztami eksploatacyjnymi, dużą niezawodnością, a jednocześnie zapewniają wysoką jakość uzyskiwanej brzezki.

Key words: mash, filtration, spent grains, lauter tuns.

Filtration of the mash is one of the most important stages in the wort production in breweries. The result of mash filtration is a clear wort resulting from separation of the brewer's spent grains. Lauter tuns and the mash filters are used for mash filtration. The filtration material in the Lauter tun are malt husks containing a large amount of cellulose and hemicellulose. After filtration, the wort is directed to the wort kettle for boiling with hops, while the spent grains are removed from the lauter tun to the special montejus container. The filtration process of the mash in the Lauter tun is the most time-consuming production stage in the brewhouse. It consists of the preparation of a filtration vessel, the formation of a filtration layer, the proper filtration and the final cleaning of false bottom with hot water before next filtration. The Lauter tun is equipped with a double bottom, a rotary raking machine with blades and a system for sparging filtration layer using hot water. The currently used Lauter tuns are characterized by high efficiency, low operating costs, high reliability, and, at the same time, the vessels ensure high quality of the wort.

WPROWADZENIE

Filtracja zacieru jest procesem w dużym stopniu determinującym kompozycję brzezki. Oddzielanie wysłodzin od klarownej brzezki jest najbardziej czasochłonną operacją na warzelnii i w największym stopniu decydującą o wydajności tego etapu produkcji piwa [4,5,9].

Celem filtracji jest wydzielenie wysłodzin w celu uzyskania klarownej brzezki. W wyniku filtracji powinno się uzyskać zawartość osadu w brzezce nie większą niż 100 mg/L z jednoczesną klarownością poniżej 20 jednostek EBC oraz jak najmniejszym natlenieniem (poniżej 0,20 mg/L).

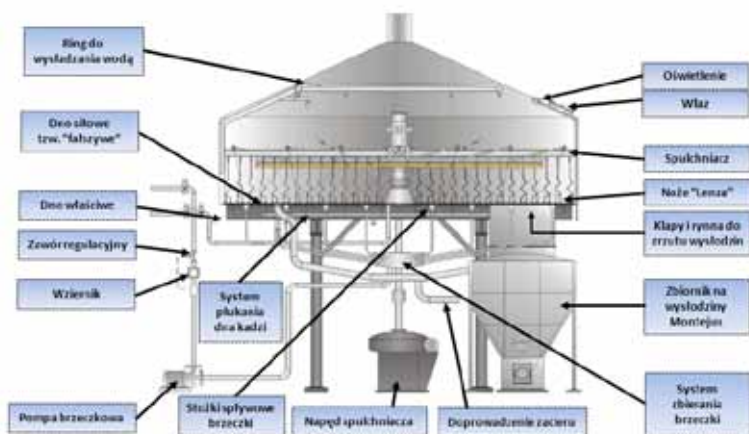
Głównym zadaniem filtracji jest oddzielenie z zacieru klarownej brzezki zawierającej rozpuszczalne w wodzie komponenty (składniki ekstraktu). Ta czasochłonna czynność w praktyce sprawia wiele problemów technologicznych. Brzezka przednia i wysłodkowa często porywa z zacieru małe, nierozpuszczalne cząstki strąconych białek i innych zawiesin, które w dalszym procesie technologicznym

utrudniają klarowanie piwa, szczególnie podczas fermentacji i filtracji [7,8,10,12].

Podczas filtracji zacieru istotne jest odzyskanie w jak największym stopniu, składników ekstraktu, jednak bez nadmiernego rozcieńczania brzezki wodami wysłodkowymi. Jest to proces, w którym łuska słodu i ewentualnie jęczmień (surowiec niesłodowany), spełniają rolę materiału filtracyjnego. Odbywa się ona w dwóch etapach [6,10]:

- spływy brzezki przedniej – z nalewu głównego do procesu zacierania,
- wymywanie wysłodzin (wody wysładzające).

Do filtracji zacieru stosuje się kadzie filtracyjne (rys. 1) lub filtry zacierowe [1,9]. Szczególnie w kadzi filtracyjnej bardzo ważnym zjawiskiem fizycznym jest utworzenie naturalnej warstwy filtracyjnej. Stan łuski i stopień rozdrobnienia słodu, odgrywają istotną rolę po efektywności i szybkości filtracji.



Rys. 1. Kadź filtracyjna.

Fig. 1. Lauter tun.

Źródło: Opracowanie własne

Source: Own study

Do niekorzystnych zjawisk podczas filtracji należy zaliczyć obecność tlenu, która sprzyja utlenianiu polifenoli (garbników) i tworzeniu się kompleksów białkowo-garbnikowych, w postaci zawiesin utrudniających filtrację.

Podczas filtracji brzezki przedniej, która trwa zwykle około 30-60 min, zachodzą w dalszym ciągu przemiany enzymatyczne. Działanie enzymów amylolitycznych, głównie β i α -amylazy, poprawia efekt skuczrania i obniża lepkość brzezki. W procesie filtracji zacieru, a zwłaszcza podczas wysładzania, na skutek wzrostu pH następuje zwiększanie ilości niepożądanych substancji garbnikowych nadających piwu niekorzystny tzw. ściągająco-goryczkowy posmak.

Z punktu widzenia wydajności warzelni, istotnym parametrem jest czas filtracji zacieru. Krótszy czas filtracji wpływa korzystnie na jakość brzezki, a przede wszystkim na przepustowość warzelni. Istnieje wiele czynników wpływających na przyspieszenie lub wydłużenie procesu filtracji. Przykładem opisu tych zależności jest wzór *Poiseuille'a* [8,11].

$$Q = \frac{\pi \cdot \Delta P \cdot r^4 \cdot F \cdot z \cdot t}{8 \cdot \mu \cdot L \cdot \alpha} \quad (1)$$

gdzie: **Q** – objętość przefiltrowanej brzezki (m³),
ΔP – różnica ciśnień (kg/s² m),
r – promień kanalika kapilary (m),
F – powierzchnia filtracji (m²),
z – liczba kanalików przypadająca na jednostkę powierzchni filtracji (n/m²),
t – czas filtracji (s),
μ – lepkość cieczy (brzezki) (kg/s. m),
L – długość kapilary (m),
α – współczynnik określający zakrzywienie kanalików (kapilar).

Do głównych czynników determinujących wydajniejszą filtrację zacieru należy zaliczyć powierzchnię filtracyjną perforowanego dna kadzi, strukturę warstwy filtracyjnej, którą określa średnica i długość utworzonych kanalików kapilar, a także wytworzona różnica ciśnienia w wyniku zastosowania pompy ściągającej. Do czynników, które utrudniają filtrację zaliczamy lepkość zacieru, wysokość warstwy

filtracyjnej oraz szybkość obrotową spulchniacza, którego praca wpływa na strukturę warstwy filtracyjnej, a tym samym na kształt powstających w niej kanalików brzezkowych.

FILTRACJA ZACIERU PRZY UŻYCIU KADZI FILTRACYJNEJ

Kadź filtracyjna ma kształt zbiornika cylindrycznego z dnem płaskim. Od góry jest przykryta kopułą z wyciągiem kominowym do odprowadzania oparów. Obecnie nowe kadzie filtracyjne wykonuje się wyłącznie ze stali nierdzewnej. Starsze typy kadzi wykonywane były ze zwykłej blachy stalowej, przy czym sita formowano z mosiądzu. Część cylindryczna i górna pokrywa kadzi filtracyjnej są zwykle izolowane wełną mineralną i zabezpieczane blachą przed uszkodzeniem i nawilżaniem.

Powszechnie stosowane kadzie filtracyjne mają objętość od 20 do 1600 hl. Najważniejszą częścią technologiczną kadzi filtracyjnej jest podwójne dno (dno właściwe i dno perforacyjno-sitowe) oraz osprzęt do odbioru brzezki, elementy spulchniające a także dysze myjące [2].

Na całej powierzchni właściwego dna kadzi są umieszczone równomiernie rurki do spływu brzezki. W nowoczesnych kadziach liczba rurek ściągających jest tak dobrana, aby na jedną rurkę przypadła powierzchnia kadzi 0,9 – 1,0 m², w starszych typach kadzi powierzchnia ta była znacznie większa (1,2 – 1,5 m²).

Konstrukcja osprzętu mieszadła (spulchniacza) ma istotne znaczenie na wydajność procesu oraz jakość uzyskiwanej brzezki, zwłaszcza jej klarowność. W celu uzyskania klarownej brzezki rekomendowana jest maksymalna szybkość obrotowa spulchniacza w ilości 3 obrotów na minutę a jego noże (Lenza) powinny być utrzymywane w odległości od 5 do 8 cm od dna sitowego [4,5].

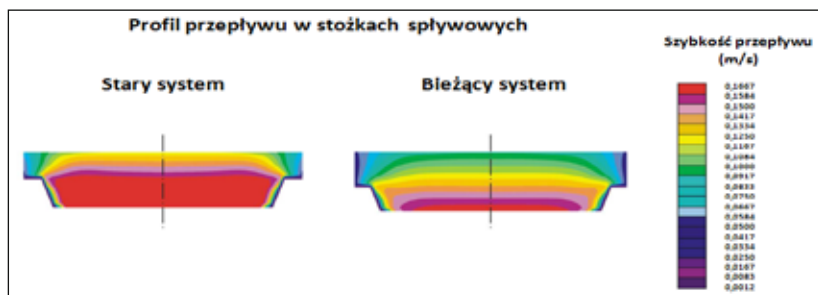
Grubość warstw filtracyjnych są bardzo zróżnicowane w zakresie od 20 do prawie 50 cm, a ich obciążenie może wahać się w przedziale od 150 do 340 kg na m², co ma istotny wpływ na liczbę cykli filtracyjnych, których może być od 6 do 12 na dobę [1,7].

Według Jonesa i in. [3] wysokość warstwy filtracyjnej wysłodzin ma wpływ na usuwanie związków lipidowych. W przypadku większego obciążenia sit, mniej komponentów tłuszczowych przechodzi do wody wysłodkowej, co ma korzystny wpływ na jakość piwa.

W kadziach filtracyjnych, w zależności od producenta, rurki odprowadzające brzezkę łączą się najczęściej w jeden centralny kolektor, ale może być kilka mniejszych kolektorów.

Prędkość przepływu brzezki w rurkach waha się w zakresie 0,1 – 0,3 m/s (rys. 2).

Połączenia rurek z otworami w dnie kadzi, mają zwykle przekrój stożkowy – średnica otworu w dnie jest większa od średnicy rurki. Daje to efekt zwężenia strumienia brzezki, a więc następuje wzrost prędkości i obniżenie ciśnienia. W ten sposób uzyskuje się zwiększenie różnicy ciśnień, co ma też wpływ na szybkość filtracji [13].



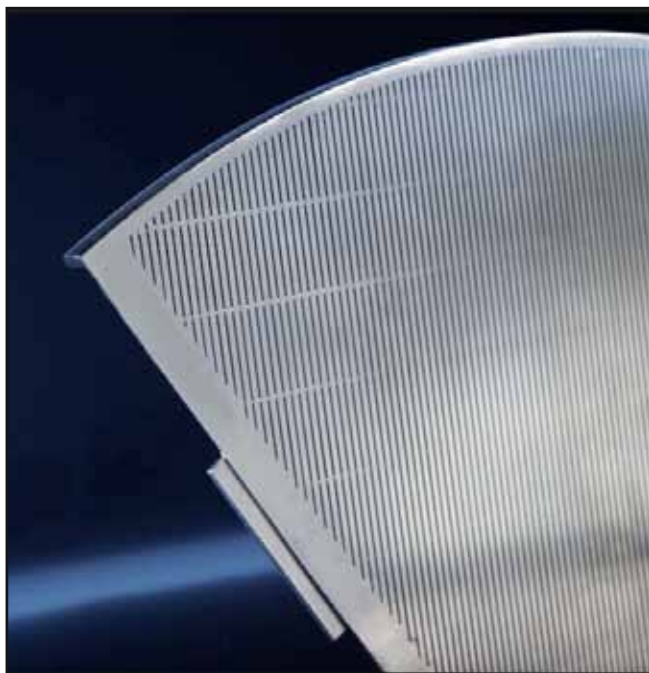
Rys. 2. Profile przepływu w stożkach spływowych.

Fig. 2. The profiles in the run-off cones.

Źródło: GEA Brewery System 2014 [13]

Source: GEA Brewery System 2014 [13]

Nad właściwym dnem kadzi, w odległości 5-20 mm, umieszczone jest rozbieralne dno sitowe (rys. 3). Stare typy sit były wykonane z brązu lub mosiądzu, a obecnie są to elementy ze stali kwasoodpornej. Powierzchnia prześwitu kształtuje się w granicach od 6 do 15%. Nowoczesne sita szczelinowe wykonuje się ze specjalnie połączonych ze sobą prętów o przekroju trapezowym. Szerokość szczeliny wynosi 0,5-0,7 mm, a prześwit sit jest korzystniejszy i wynosi od 20 do 35% [8,13].



Rys. 3. Dno sitowe w kadzi filtracyjnej.

Fig. 3. The false bottom in lauter tun.

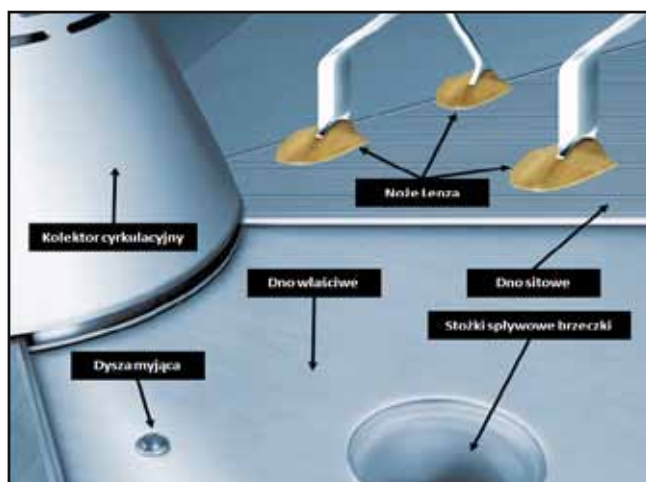
Źródło: Trislot NV [14]

Source: Trislot NV [14]

Wewnątrz kadzi są zainstalowane mieszadła, tzw. spulchniacze, o liczbie ramion od 2 do 6, do których pionowo przytwierdzono specjalne noże Lenza zwane potocznie *kopaczkami* (rys. 4). Noże służą do spulchniania zacieru podczas filtracji. Spulchniacze są podnoszone lub opuszczane hydraulicznie w zależności od przepuszczalności warstwy filtracyjnej.

Do usuwania wysłodzin z kadzi służą listwy zgarniające, które w sposób automatyczny, poprzez maksymalne podniesienie mechanizmu spulchniającego, w zależności od

sekwencji programu „zwalniane” są z ramion spulchniacza. W nowoczesnych spulchniaczach zastosowano noże Lenza, zakończone podwójnymi płuskami przeciwdziałającymi tzw. zaciąganiu *ciasta* przy spulchnianiu i zwiększaniu niekorzystnego zmętnienia brzezki. Pozwalają one na skrócenie czasu filtracji w wyniku zapobiegania zwiększaniu nadmiernej różnicy ciśnienia wewnątrz warstwy wysłodzin pomiędzy lustrem brzezki, nad i pod wysłodzinami.



Rys. 4. Widok wnętrza kadzi filtracyjnej z wyeksponowanymi nożami Lenza.

Fig. 4. Interior view of the lauter tun with exposed Lenza knives.

Źródło: Opracowanie własne

Source: Own study

PROCES FILTRACJI ZACIERU W KADZI FILTRACYJNEJ

Proces przygotowania kadzi filtracyjnej do przyjęcia zacieru polega na jej nagraniu wodą o temperaturze około 80°C oraz usunięciu powietrza z przestrzeni między dennej. Do tak przygotowanego naczynia filtracyjnego wprowadza się zacier o temperaturze 76-78°C. Podczas przetwarzania zacieru mieszadło w kadzi zaciernej powinno być w ruchu, a przepływ zacieru do kadzi filtracyjnej odbywa się z prędkością nie większą niż 1 m/s. Zarówno napływ zacieru od dołu, jak i szybkość przepływu mają wpływ na równomierne ułożenie warstwy filtracyjnej oraz jak najmniejsze jej napowietrzenie. Ma to wpływ na szybkość spływu brzezki przedniej i jej klarowność. Czas przetwarzania zacieru do kadzi filtracyjnej powinien być możliwie krótki, ok. 10 min. Proces prawidłowego rozprowadzenia zacieru w kadzi filtracyjnej ma istotne znaczenie dla właściwego przeprowadzenia procesu filtracji, zwłaszcza wydajności uzyskiwanego ekstraktu i klarowności powstającej brzezki.

Cięższe składniki zacieru, jak np. łuski z resztkami bielma, niesucukrzzone cząstki grubego grysiku i większe grudki osadów opadają szybko na dno. W czasie kilku minut wytwarzają stosunkowo wysoką warstwę filtracyjną. Na tej warstwie osadzają się części lżejsze, jak kawałki łuski, nierozpuszczalne części bielma, resztki warstwy aleuronowej i napęczniałe kłaczkki wielkocząsteczkowych białek. Tworzą one

grubą warstwę o konsystencji *ciasta*, która jest mało przepuszczalna i w zależności od jej rozmieszczenia w kadzi filtracyjnej, mniej lub bardziej utrudnia filtrację [8,10,12].

Kolejna warstwa składa się z osiadających drobnych, lekkich osadów, głównie wytrąconych białek. Wysokość tej warstwy jest na ogół niewielka i nie sprawia większych kłopotów w czasie filtracji.

Filtracja brzezki przedniej

Podczas sedymentacji części stałych przy tworzeniu warstwy filtracyjnej część osadu przenika przez sito i osiada na dnie kadzi. Już w trakcie przepompowania pierwszej części zacieru do kadzi filtracyjnej, w nowoczesnych systemach, rozpoczyna się wewnętrzna cyrkulacja. Osady, które osiadły pod perforowanym dnem są wtedy w większości zawracane na powierzchnię zacieru w kadzi. Od momentu rozpoczęcia filtracji brzezki do zbiornika pośredniczącego lub kotła warzelnego, następuje zmiana równowagi w warstwie filtracyjnej.

Brzezka przepływająca przez warstwę wysłodzin pozostawia coraz większą ilość drobnych osadów, wskutek czego przepuszczalność warstwy filtracyjnej stopniowo maleje. W miarę spływu brzezki na dnie sitowym osiadają cząstki młóta. Po spływie brzezki przedniej, cząstki zacieru przylegają do sita tak szczelnie, że dla swobodnego przepływu pozostaje zaledwie kilka procent ogólnej powierzchni filtracyjnej sit [6,8,10].

Dla ułatwienia dalszego procesu filtracji zacieru, obniża się położenie noży Lenza i uruchamia mieszadło celem zmieszania całej warstwy wysłodzin przy wstrzymanym ściąganiu brzezki. Po tej operacji należy znów przeprowadzić proces klarowania i uformowania nowej warstwy filtracyjnej, następnie rozpoczyna się ponowny spływ brzezki. Dodatkowe operacje wiążą się z opóźnieniem w procesie nawet do 10-15 min.

Na wydajność filtracji istotny wpływ ma temperatura i pH filtrowanego zacieru, gęstość brzezki, jakość użytego słodu i stopień jego rozdrobnienia. Spadek temperatury zacieru o 1°C powoduje wzrost lepkości o 0,2%. Optymalne pH zacieru dla filtracji waha się w granicach od 5,50 do 5,75. Słód dobrze rozluźniony (dosuszony) w wysokiej temperaturze (80-85°C), mający niską zawartość β -glukanów (poniżej 200 mg/l) wpływa na lepszy przebieg filtracji [8,9].

Przy użyciu klasycznych kadzi filtracyjnych czas filtracji trwa ok. 6 h, a w nowoczesnych kadziach filtracyjnych można przefiltrować brzezkę od 8 do 12 razy w ciągu doby [7].

Montaż pomp ściągających brzezkę, wpływa na skrócenie procesu filtracji zacieru w klasycznych kadziach nawet do 4 godzin i pozwala na odfiltrowanie dwóch warek w ciągu jednej 8-godzinnej zmiany produkcyjnej.

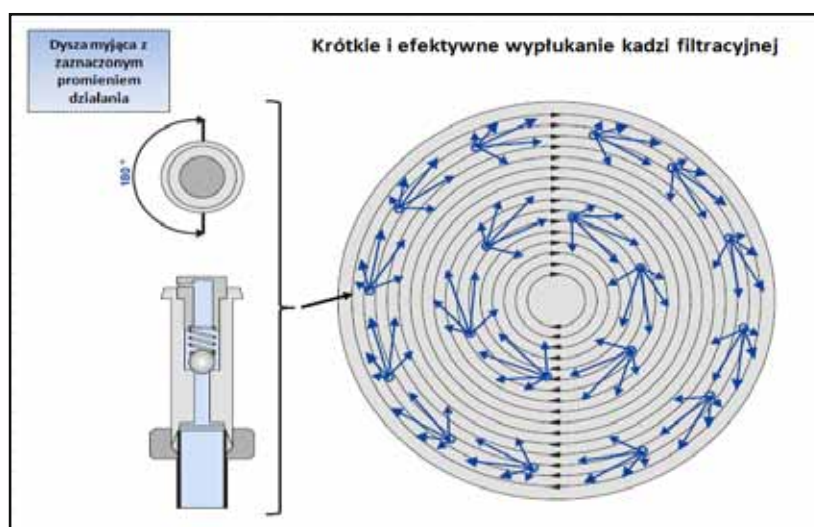
Proces wysładzania

Wysładzanie jest procesem, w którym następuje przemywanie wysłodzin gorącą wodą o temperaturze 76 – 78°C, po ściągnięciu

brzezki przedniej. Wskazane jest rozpoczęcie wysładzania po odfiltrowaniu w większości brzezki przedniej. W obrębie pracy mieszadła, warstwa wysłodzin jest zawsze unoszona o około 1-3 cm, głównie przez zanurzone w warstwie noże Lenza. W dawnych systemach, brzezkę przednią ściągano do końca, tzn. do sucha, i dopiero wtedy rozpoczynano przemywanie warstwy wysłodzin gorącą wodą. Takie prowadzenie procesu zapewnia bardzo wysoką wydajność uzyskiwanego ekstraktu, jednak może mieć wpływ na jakość brzezki, ponieważ następuje zassanie powietrza do warstwy filtracyjnej, co powoduje wiele niekorzystnych przemian chemicznych oraz enzymatycznych, m.in. utlenianie kwasów tłuszczowych. Wskazane jest zatem rozpoczęcie wysładzania z chwilą ukazywania się powierzchni warstwy filtracyjnej.

Wysładzanie prowadzi się porcjami dodawanej wody (z krótkimi przerwami), albo przez stały powolny napływ wody ługującej. Bez względu na wybraną metodę doprowadzenia wody do wysładzania, należy zapewnić właściwy balans pomiędzy ilością odprowadzanej brzezki z kadzi filtracyjnej, a ilością dodawanej wody w procesie wysładzania. Od momentu dodania pierwszej porcji wody wysładzającej, jej ilość w poszczególnych etapach powinna być większa aniżeli ilość odprowadzanej brzezki, co zapewni ciągłość przykrycia wodą warstwy wysłodzin i zabezpieczy przed procesami utlenienia. Efektem prawidłowego prowadzenia procesu wysładzania jest odkrycie warstwy wysłodzin dopiero po ściągnięciu ostatniej porcji wody wysładzającej. Uzyskana w tym etapie brzezka wysłodkowa nie trafia jednak do kotła warzelnego lecz pozostaje w warstwie filtracyjnej lub grawitacyjnie spływa do kanału w etapie osuszania wysłodzin przed usunięciem z kadzi filtracyjnej.

Podczas wysładzania wzrasta pH brzezki wysłodkowej nawet do 6,5, a to sprzyja rozpuszczaniu garbników, niektórych związków białkowych i innych składników niekorzystnie wpływających na jakość piwa. Ze względu na jakość piwa korzystniej jest prowadzić mniej intensywne ługowanie wysłodzin, do zawartości ekstraktu w brzezce wysłodkowej



Rys. 5. Dysze myjące oraz ich optymalne ustawienie w przestrzeni pomiędzy dnem właściwym i sitowym.

Fig. 5. Spray nozzle and their optimally arranged in the space between bottom and false bottom.

Źródło: GEA Brewery System 2014 [13]

Source: GEA Brewery System 2014 [13]

w granicach do 0,5-1,5%. Ługowanie do zawartości ekstraktu w brzeczce wysłodkowej poniżej 0,5% wpłynie na wzrost wydajności warzelnii, lecz pogorszy jakość piwa [6,8,10].

Po zakończeniu ługowania, następną operacją w kadzi filtracyjnej jest usunięcie z niej młóta. W tym celu zamyka się zawory spływu brzeczki, a otwiera klapy do usuwania wysłodzin i uruchamia mieszadło z opuszczonymi listwami wygarniającymi. Następnie po dokładnym przemyciu wodą górnej części sitowej oraz przestrzeni brzeczkowej przystępuje się do następnej filtracji. Na koniec tygodnia przeprowadza się mycie i dezynfekcję, przy użyciu stacji CIP w połączeniu z dyszami zamontowanymi w dnie kadzi filtracyjnej (rys. 5). Promień działania dysz ustawiony jest w jednym kierunku aby zapewnić jak największą efektywność mycia.

PODSUMOWANIE

Filtracja zacieru jest jednym z ważniejszych procesów produkcji brzeczki, w wyniku którego uzyskuje się klarowny półprodukt, o możliwie jak najmniejszej zawartości osadów. Wyróżnia się filtrację zacieru w kadzi filtracyjnej lub w filtrze zacierowym. Proces filtracji w kadzi filtracyjnej składa się z dwóch głównych etapów, czyli filtracji brzeczki przedniej i wysłodkowej oraz operacji pomocniczych, do których zalicza się przygotowanie kadzi na przyjęcie zacieru, a po zakończonym procesie wysładzania, usunięcie wysłodzin i końcowe wypłukanie. Filtracja w kadzi filtracyjnej jest stosowana w zdecydowanej większości browarów, zarówno w Polsce jak i na świecie. Zaletą stosowania tej metody filtracji jest wykorzystanie łuski i rozdrobnionego siodu jako naturalnego materiału filtracyjnego, oraz łatwość czyszczenia i mycie całego układu po każdej filtracji.

Ciągle doskonalenia konstrukcji kadzi filtracyjnych oraz ich systemów elektronicznej regulacji i komputerowego obciążenia, stwarzają możliwości do pełnej optymalizacji przebiegu procesu filtracji zacieru.

LITERATURA

- [1] **BRIGGS D., CH. BOULTON, P. BROKES, R. STEVENS. 2004.** *Brewing Science and Practice*, Woodhead Publishing Limited, Cambridge.
- [2] **ESLINGER H.M. 2009.** *Handbook of brewing*, Wiley-VCH, Weinheim.
- [3] **JONES M., R. COPE, C. RAINBOW. 1975.** Changes in the free fatty acids and other lipids of worts during boiling and fermentation, *Proceedings of the European Brewery Convention Congress, Nice, Elsevier*.
- [4] **KUHBECK F., W. BACK, M. KROTTENTHALER. 2006.** „Influence of lauter turbidity on wort composition, fermentation performance and beer quality – a review”. *Journal of the Institute of Brewing* 112(3): 215-221.
- [5] **KUHBECK F., W. BACK, M. KROTTENTHALER. 2006.** „Influence of lauter turbidity on wort composition, fermentation performance and beer quality in large – scale trials”. *Journal of the Institute of Brewing* 112(3): 222-231.
- [6] **KUNZE W. 1999.** *Technology Brewing and Malting*, VLB Berlin.
- [7] **ORMROD H. 1986.** „Centenary review modern brewhouse design and its impact on wort production”. *Journal of the Institute of Brewing* 92: 131-136.
- [8] **PAZERA T., T. RZEMIENIUK. 1998.** *Browarnictwo – podręcznik dla technikum*, WSiP Warszawa.
- [9] **SCHNEIDER J., M. KROTTENTHALER, W. BACK, H. WEISSER. 2005.** „Study on the membrane filtration of mash with particular respect to the quality of wort and beer”. *Journal of the Institute of Brewing* 111(4): 380-387.
- [10] **SCHNEIDER J., H. WEISSER. 2004.** „Diafiltration of mash”. *Journal of the Institute of Brewing* 110(4): 326-334.
- [11] **SUTERA S., R. SKALNIAK. 1993.** *The History of Poiseuille's Law Annual Review of Fluid Mechanics*. 25: 1–19.
- [12] **WEBSTER R. 1981.** „Prediction of the lautering performance of malt”. *Journal of the Institute of Brewing* 87: 52-56.
- [13] https://www.gea.com/en/binaries/LAUTER-STAR_0214_EN_tcm11-12180.pdf
- [14] <http://www.trislot.be/files/pdf/application%20beerbotom%20polish.pdf>