

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

FILTRACJA PIWA PRZY UŻYCIU FILTRÓW ŚWIECOWYCH®

Beer filtering using candle filters®

Słowa kluczowe: piwo, filtracja, ziemia okrzemkowa, filtry świecowe.

Filtracja jest jednym z pięciu istotnych etapów produkcji piwa. Celem procesu filtracji jest wydzielenie z piwa wszelkiego typu zawiesin fizycznych i biologicznych, otrzymanie klarownego napoju oraz zapewnienie jego stabilności przez odpowiedni okres czasu. W końcowym etapie filtracji piwa następuje również uzupełnienie karbonizacji piwa z około 3,5 do 5 g/dm³. Metody filtracji dzieli się na powierzchniowe i wgłębne. Dynamiczna separacja wgłębna (filtracja nanoszeniowa) powoduje oddzielenie i zatrzymanie części stałych, osadów wewnątrz warstwy filtracyjnej. Warstwa filtracyjna może być nanoszona przed rozpoczęciem procesu i podczas jego trwania – dozowane materiały filtracyjne. Obecnie powszechnie do klarowania piwa stosuje się filtry świecowe, które charakteryzują się wysoką wydajnością, niskimi kosztami eksploatacyjnymi, dużą niezawodnością i prostotą działania, a jednocześnie zapewniają wysoką, powtarzalną klarowność piwa.

Key words: beer, filtration, diatomaceous earth, candle filter.

Beer filtration is one of the five significant stages of beer production. The purpose of the filtration process is obtain a clear beverage, ensure beer stability for an appropriate period of time, and carbon dioxide saturation. The filtration methods are divided into surface and in-depth. Deep filtration is divided into dynamic and static. Dynamic deep-well separation is sub-filtration. Separation and retention of solids of turbidity and sediment occurs here inside the filter layer. This filter layer is continuously and dynamically created during filtration through the body feed and the sediment portions introduced with the beer. Among the filters that work according to the overlay method are the candle filters. This device is most popular in the beer filtration process, characterized by high efficiency, low operating costs, high reliability, simplicity and high quality beer.

WPROWADZENIE

Celem filtracji piwa jest wydzielenie zawiesin, powodujących zmętnienie lub opalizację oraz nadanie odpowiedniej klarowności i połysku. W wyniku filtracji powinno się uzyskać zmniejszenie liczby drożdży do 5 komórek w 100 cm³ piwa, klarowność poniżej 0,5 EBC (przy kącie 90°) oraz jak najmniejsze natlenienie (poniżej 0,02 mg/L) [11].

Filtracja piwa odbywa się najczęściej przy użyciu ziemi okrzemkowej z wyjątkiem technik membranowych i cross-flow. Dla uzyskania klarownego piwa niezbędne jest oddzielenie wszystkich części stałych o wielkości ponad 0,5 µm. Proces obejmuje zatem obszar filtracji drobnej jak i mikrofiltracji, a w ostatnim okresie mają zastosowanie także techniki z zakresu ultrafiltracji. Podczas filtracji, a szczególnie ultrafiltracji następuje oddzielenie następujących grup zanieczyszczeń:

- komórek drobnoustrojów, głównie drożdży i bakterii o wymiarach od ok. 0,5 do 10 µm,
- białek i związków białkowo-garbnikowych o wielkości do 5 µm,
- związków węglowodanowych, głównie skrobi, dekstryn, pentozanów i β-glukanów, cząstek o wielkości do 5 µm. Należy zaznaczyć, że drobne osady podczas leżakowania ulegają kompresji i blokują dostęp do warstwy filtracyjnej dla następnych partii piwa [3, 4, 5].

Mimo ciągłych prób poszukiwania i testowania alternatywnych rozwiązań, filtracja z użyciem ziemi okrzemkowej, ze względu na aspekty jakościowe jak i ekonomiczne, pozostanie dominującą przez kolejnych kilka lat jako podstawowa metoda filtracji piwa. Techniki filtracji przy użyciu ziemi okrzemkowej są ciągle, bardzo skutecznie doskonalone.

Tradycyjne systemy filtrów ramowo-płytkowych z celulozowymi, a jeszcze wcześniej azbestowymi kartonami nośnymi, zostały zastąpione przez cylindryczne filtry horyzontalne sitowe i świecowe. U podstaw tych zmian leżały głównie względy wydajnościowo-ekonomiczne i zdrowotne. Jeśli chodzi o aspekt jakościowy, zastąpienie tradycyjnych filtrów płytowych przez filtry cylindryczne wiąże się z reguły, z pogorszeniem jakości filtratu [9].

W przypadku stosowania filtracji nanoszeniowej, tzw. warstwę podstawową stanowią substancje pylisto-ziarniste lub włókniste, głównie ziemia okrzemkowa, perlity, włókna celulozowe i inne [6, 10].

Ziemia okrzemkowa jest białą lub białą-szarą substancją, złożoną ze szkieletów pierwotniaków zwanych okrzemkami. Pokłady okrzemek o wielkości 5 – 40 µm są bardzo zróżnicowane pod względem rodzajów i form [10, 13].

Do klasyfikacji ziem okrzemkowych według rozdrobnienia i zdolności filtracyjnych służy pomiar ich powierzchni przepuszczalności, który polega na przefiltrowaniu 1 cm³

cieczy (piwa) o lepkości 1 mPas przez warstwę o powierzchni 1 cm² i grubości 1 cm.

Parametr powierzchni przepuszczalności (β) warstwy filtracyjnej ziemi okrzemkowej w układzie SI, jest wyrażony w m². Praktyczną jednostką powierzchni przepuszczalności jest *darcy* (d) lub bardziej powszechnie stosowany *milidarcy* (md) ($1 \text{ d} \approx 10^{-12} \text{ m}^2$). Do określenia powyższego parametru stosowana jest również mniejsza jednostka: 1 cm² ($1 \text{ cm}^2 = 10^{-4} \text{ m}^2 \approx 10^8 \text{ d}$).

Powierzchnia przepuszczalności ziemi okrzemkowej, używanej jako materiał filtracyjny, waha się w granicach od 1×10^{-14} do 5×10^{-14} (m²).

W zależności od współczynnika powierzchni przepuszczalności wyróżniamy różne rodzaje ziemi okrzemkowych (Tab. 1).

Tabela 1. Powierzchnia przepuszczalności warstwy filtracyjnej w zależności od granulacji ziemi okrzemkowej [9]

Tabela 1. The surface of permeability of the filtration layer depending on the granulation of diatomaceous earth [9]

| Granulacja ziemi okrzemkowej | Powierzchnia przepuszczalności warstwy filtracyjnej, wyrażona w jednostce <i>darcy</i> [d] |
|------------------------------|--|
| Drobna | 0,03 – 0,07 |
| Średnia | 0,10 – 0,50 |
| Średnio-gruba | 0,75 – 1,50 |
| Gruba-bardzo gruba | 1,50 – 11,00 |

Źródło: Witrowa-Rajchert D. 2001 [14]

Source: Witrowa-Rajchert D. 2001 [14]

Podczas filtracji nanoszeniowej (wglębnej) konieczne jest dynamiczne odtwarzanie warstwy filtracyjnej, gdzie wraz z nową porcją piwa, będącego przedmiotem filtracji, dozowana jest ciągle nowa porcja materiałów filtracyjnych (rys. 1). Filtrację nanoszeniową można prowadzić w różnych systemach filtracyjnych, przy wykorzystaniu różnorodnych materiałów. Aktualnie do filtracji nanoszeniowej wykorzystuje się następujące typy filtrów [3, 4]:

- ramowo-plytowe z kartonami jako elementami nośnymi,
- sitowe – horyzontalne lub pionowe elementy nośne,
- cylindryczne, świecowe – pionowe elementy nośne w kształcie świec.

Celem artykułu jest prezentacja filtrów świecowych używanych do filtracji piwa, charakteryzujących się: wysoką wydajnością, dużą niezawodnością i prostotą działania, niskimi kosztami eksploatacyjnymi oraz zapewniającymi wysoką, powtarzalną klarowność piwa.

FILTRACJI PIWA PRZY UŻYCIU FILTRA ŚWIECOWEGO

Najpowszechniej stosowanymi filtrami w Polsce są filtry namulowe, głównie świecowe, z naniesioną warstwą ziemi okrzemkowej.



Rys. 1. Metoda dynamiczna – nanoszeniowa filtracji piwa. Fig. 1. Dynamic method – deposition of beer filtration.

Źródło: Witrowa-Rajchert D. 2001 [14]

Source: Witrowa-Rajchert D. 2001 [14]

Namulanie jest niezbędne, gdyż cząsteczki ziemi okrzemkowej są bardzo drobne i nie mogą być zatrzymane przez samą przegrodę filtracyjną. Dlatego należy rozróżnić: namulanie podstawowej warstwy filtracyjnej (warstwy ziemi okrzemkowej) i bieżącą filtrację. Filtry świecowe są cylindrycznymi, stojącymi zbiornikami ciśnieniowymi ze stożkowym dnem. Poniżej pokrywki filtra znajduje się płyta, do której przymocowane są świece filtracyjne o długości od 0,95 do 2 m i średnicy około 0,05 m. Świece są podkładem do osadzania warstwy (około 0,03 m) ziemi okrzemkowej [15]. Filtry świecowe stosowane w Polsce, w zależności od wielkości, mają od kilkunastu do 600 świec. Na wewnętrznym wsporniku świece nawinięty jest profilowany drut w odstępach od 50 do 80 μm, który stanowi przegrodę filtracyjną. Do dolnej komory wpływa ciecz mętna wraz z ziemią okrzemkową, która osadza się na świecach. Filtrat przepływa przez warstwę ziemi namulonej na świecach i klarowna ciecz przedostaje się do przestrzeni wewnętrznych świec, a następnie do górnej komory.

Techniczne równanie prawa Darcy wykorzystywane podczas projektowania filtrów (np. świecowych), oparte jest na następującym równaniu [2]:

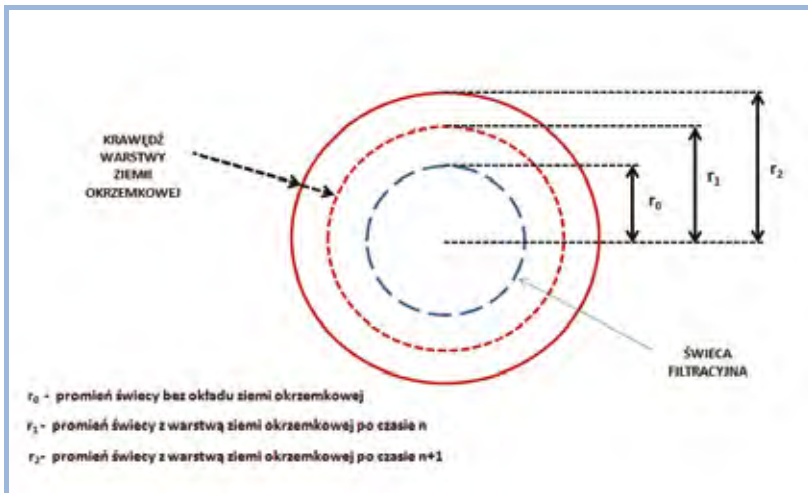


Rys. 2. Filtr świecowy – firmy Filtrix.

Rys. 2. Candle filter – Filtrix Company.

Źródło: Leeder i in. 2011 [7]

Source: Leeder i in. 2011 [7]



Rys. 3. Filtry świecowe – zmiana powierzchni filtracyjnej w czasie.

Fig. 3. Candle Filters – change in area with time.

Źródło: Coote, i in. 2014 [1]

Source: Coote, i in. 2014 [1]

$$DP = \frac{v \cdot \mu \cdot d}{a \cdot \beta} \quad (1)$$

gdzie: ΔP – różnica ciśnień (Pa),
 v – natężenie przepływu filtrowanej cieczy (m^3/s),
 μ – lepkość dynamiczna piwa (Pas),
 d – grubość warstwy filtracyjnej (m),
 a – powierzchnia warstwy filtracyjnej (m^2),
 β – powierzchnia przepuszczalności warstwy filtracyjnej (m^2).

Konstrukcja filtrów świecowych pozwala na pracę z bardzo wysoką różnicą ciśnień pomiędzy wlotem i wylotem piwa z filtra, sięgającą nawet 0,6 MPa (600 kPa). Typowa lepkość piwa w temperaturze filtracji ($-1 \pm 0^\circ C$) wynosi około 3,0 mPas (3,0 centypuaz).

Grubość warstwy filtracyjnej ziemi okrzemkowej d na przegrodach filtracyjnych można określić na podstawie poniższego wzoru [1]:

$$d = \frac{t \cdot u \cdot c}{p} \quad (2)$$

gdzie: d – grubość warstwy filtracyjnej (m),
 t – czas filtracji (s),
 u – współczynnik przepływu ($m^3/m^2 \cdot s$),
 c – dozowanie ziemi okrzemkowej (kg/m^3),
 p – gęstość dozowanej ziemi okrzemkowej i zaabsorbowanych osadów z piwa (kg/m^3).

Bieżącą lub końcową różnicę ciśnień wyznacza się na podstawie następującego wzoru [1]:

$$\Delta P = \frac{\mu \cdot u^2 \cdot t \cdot c}{\beta \cdot p} \quad (3)$$

gdzie: ΔP – różnica ciśnień (Pa),
 μ – lepkość piwa (Pas),
 u – współczynnik przepływu ($m^3/m^2 \cdot s$),
 t – czas filtracji (s),
 c – dozowanie ziemi okrzemkowej (kg/m^3),
 β – powierzchnia przepuszczalności warstwy filtracyjnej (m^2),
 p – gęstość dozowanej ziemi okrzemkowej i zaabsorbowanych osadów z piwa (kg/m^3).

Należy jednak pamiętać, że wraz z przebiegiem procesu filtracji zmienia się grubość warstwy na świecy i powierzchnia filtracyjna. Fakt ten ilustruje poniższy schemat (rys. 3).

W wyniku ciągłego dozowania ziemi okrzemkowej do piwa (przed wlotem do filtra), zwiększa się jej oskład na powierzchni świecy, co powoduje zwiększenie promienia przekroju warstwy filtracyjnej z r_1 do r_2 :

- w czasie t_0 , powierzchnia jest równa powierzchni świecy = $2 \cdot 3,14 \cdot r_0$ (m^2),
- w czasie t_1 , powierzchnia filtracyjna = $2 \cdot 3,14 \cdot r_1$ (m^2),
- w czasie t_2 , powierzchnia filtracyjna = $2 \cdot 3,14 \cdot r_2$ (m^2).

W wyniku zmiany powierzchni filtracyjnej na świecach, przyrost ciśnienia można określić na podstawie następującej formuły [1]:

$$\Delta P = \frac{\mu \cdot v \cdot \ln\left(\frac{r_t}{r_0}\right)}{2 \cdot 3,14 \cdot \beta \cdot l} \quad (4)$$

gdzie: μ – lepkość dynamiczna piwa (Pas),
 v – natężenie przepływu filtrowanej cieczy (m^3/s),
 r_0 – promień świecy (m),
 r_t – promień świecy z warstwą filtracyjną (m),
 β – powierzchnia przepuszczalności warstwy filtracyjnej (m^2),
 l – długość świec (m).

Sekwencje przygotowania filtra świecowego do procesu filtracji piwa, a następnie procesu mycia są następujące:

- napełnianie filtra wodą odgazowaną,
- odpowietrzanie,
- dozowanie pierwszej dawki ziemi okrzemkowej do filtra.

Pierwszy układ wykonuje się ziemią o większym stopniu granulacji w stosunku do drugiego i następnie do bieżącego dozowania. W pierwszej kolejności pompowana jest na filtr pod ciśnieniem około 0,2 MPa odgazowana woda z zawieszoną ziemią okrzemkową o grubszej granulacji. Tworzy się w ten sposób odporna na ciśnienie pierwsza warstwa, która powinna zapobiec przedostawaniu się do filtratu najdrobniejszych cząstek w trakcie bieżącego dozowania.

Proces cyrkulacji zawiesiny przez okres 15 minut ma na celu równomierne obłożenie pierwszej warstwy filtracyjnej na świecy, następnie dozowana jest druga dawka ziemi okrzemkowej o drobniejszej granulacji. Taka procedura zapewnia klarowność filtratu i zapobiega utracie drożności podczas filtracji. Po nałożeniu drugiej warstwy następuje odpowietrzenie filtra (około 30 sek.) i ponowna cyrkulacja wodnej zawiesiny ziemi okrzemkowej przez około 15 minut, która ma na celu równomierne obłożenie drugiej dawki.

Po przygotowaniu filtra następuje podawanie (pompowanie) piwa. Strumień piwa wypycha z układu wodę i rozpoczyna się odbiór pierwszego i drugiego strumienia tzw. przedpiwka i popiwka. Po ukazaniu się klarownej cieczy w latarce kontrolnej rozpoczyna się zasadniczy proces filtracji piwa. Upřednio należy jeszcze przygotować filtr z PVPP. Dozowany strumień piwa przepływa przez pierwszy układ (filtr świecowy) na ziemię okrzemkową i drugi moduł – filtr PVPP.

W trakcie filtracji dozuje się również odpowiednią ilość ziemi okrzemkowej w celu zachowania optymalnej przepustowości (wydajności filtracji).

Niezmienny przepływ objętościowy jest konieczny, ponieważ przy uderzeniach ciśnienia i nieregularnym przepływie, przerywane są uformowane mostki namulonej na świecach warstwy ziemi okrzemkowej i filtrat będzie mętny.

Równomierny przepływ objętościowy powoduje jednak stały wzrost różnicy ciśnienia pomiędzy dopływem i odpływem. Zwraca się uwagę na to, żeby przyrost ciśnienia był stały i powolny, aż do określonego nadciśnienia rzędu 0,6 – 0,7 MPa na króćcu doprowadzającym piwo do filtra. Różnica ciśnienia powinna wzrastać maksymalnie o 0,02 do 0,03 MPa na godzinę.

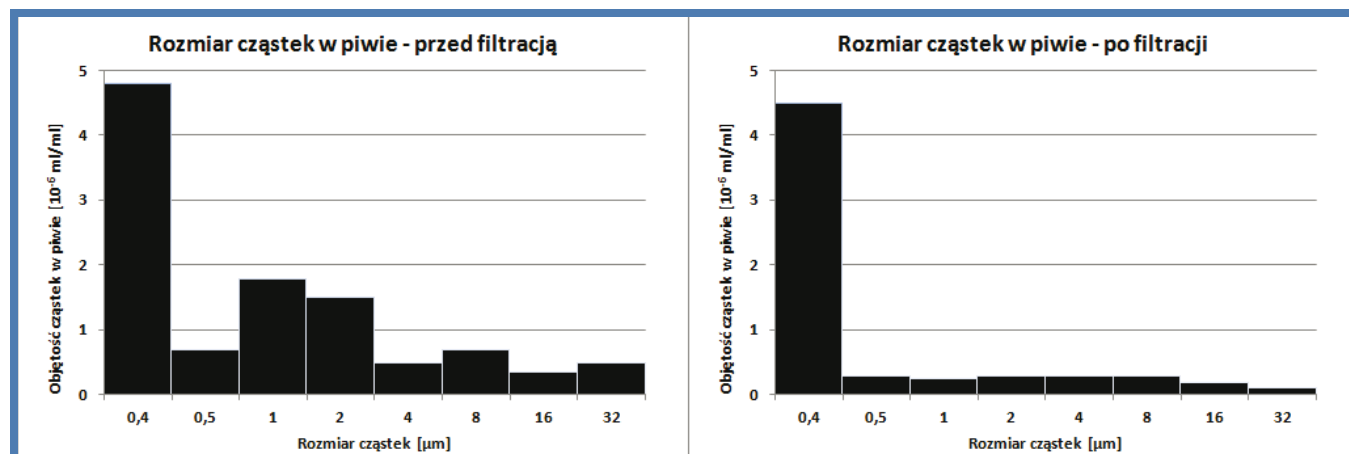
Zużycie ziemi okrzemkowej na bieżące dozowanie waha się od 60 do 120 g/hl piwa. Dzięki ciągłemu dozowaniu ziemi nie dochodzi do tworzenia się nieprzepuszczalnej warstwy osadów na świecach filtra. W wyniku utworzenia i utrzymania właściwej warstwy filtracyjnej, uzyskujemy klarowne piwo w którym zostają odseparowane w większości cząsteczki o wymiarach większych od 0,5 μm (rys. 4).

Zbyt mała ilość dozowanej ziemi okrzemkowej powoduje znaczne zagęszczenie w niej osadów, a tym samym zwiększenie oporu przepływu, gdyż osad jest nieporowaty. Z kolei zbyt duża ilość dozowanej ziemi również jest przyczyną zwiększenia oporu przepływu oraz kosztów związanych z jej zużyciem.

Pojęcie filtrowalności (wydajności filtracji) łączy się zwykle z objętością piwa, która przepływa przez filtr w jednostce czasu. Na filtrowalność piwa ujemnie wpływają m.in. β -glukany, drożdże i białka. Zawartość β -glukanów powyżej 100 mg/l może już utrudnić proces filtracji piwa. W celu bardziej dokładnego oddzielenia zawiesin, należy zastosować ziemię okrzemkową o drobniejszej granulacji. Takie rozwiązanie przyczynia się do dokładniejszej filtracji, jednak zmniejsza się jej wydajność.

W momencie pojawienia się jednej z poniżej wymienionych sytuacji, program sterujący procesem, przerywa filtrację piwa do tanków pośredniczących i rozpoczyna cyrkulację wewnątrz linii filtracyjnej:

- wysokie zmętnienie,
- brak piwa w zbiorniku buforowym,
- brak dozowania CO_2 ,
- niewłaściwa standaryzacja piwa,
- brak PVPP w dozowniku,
- brak dozowania ziemi okrzemkowej,



Rys. 4. Rozkład wielkości cząstek w piwie.

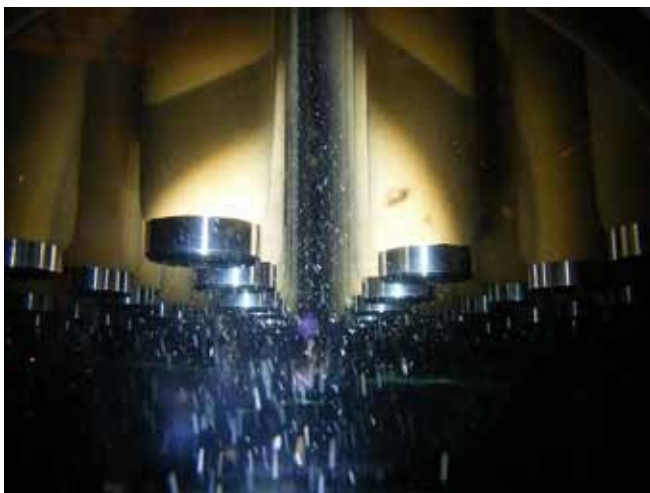
Fig. 4. Particle size distribution in beer.

Źródło: Reed R. 1986 [13]

Source: Reed R. 1986 [13]

- przekroczone obciążenie ziemi okrzemkowej na świecach.

O zakończeniu procesu filtracji decyduje różnica ciśnień na dopływie i odpływie. Filtrację przerywa się, gdy ciśnienie na wlocie wzrośnie do 0,6-0,7 MPa. Wtedy piwo od dołu filtra wypychane jest wodą odgazowaną i odpływa do oddzielnego tanku (przed- i popiwiek). Przed rozpoczęciem mycia (włączenie systemu CIP lub w trakcie tygodnia przepłukanie wodą technologiczną) opróżnia się filtr z wody, a na świecach pozostaje (przylega) ziemia okrzemkowa (rys. 5).



Rys. 5. Widok wnętrza filtra świecowego z obciążeniem ziemi okrzemkowej na świecach.

Rys. 5. View of candle filter interior with diatomaceous earth.

Źródło: Leeder i in. 2011 [7]

Source: Leeder i in. 2011 [7]

Usunięcie ziemi okrzemkowej ze świec następuje automatycznie przy udziale sprężonego powietrza i wody. Mycie odbywa się w odwrotnym kierunku do filtracji i dzięki temu świeca jest dokładnie wypłukana od wewnątrz.

Mieszanina zużytej ziemi i wody zostaje usunięta strumieniem sprężonego powietrza z filtra do tanku osadowego.

Po tej operacji, filtr jest gotowy do rozpoczęcia kolejnej szarży filtracyjnej.

PODSUMOWANIE

Filtracja jest jednym z ważnych procesów produkcji piwa, w wyniku którego uzyskuje się klarowny napój, o wysokiej przejrzystości i koloidalnej stabilności. Proces filtracji piwa może przebiegać według różnych metod. Wyróżnia się techniki filtracji powierzchniowej i wgłębnej (nanoszeniowej), która jest stosowana w zdecydowanej większości browarów zarówno w Polsce jak i na świecie.

W filtracji wgłębnej stosuje się pomocnicze środki filtracyjne czyli ziemie okrzemkowe, perlity, itp. Wśród najbardziej popularnych urządzeń stosowanych do filtracji, wyróżnia się filtry świecowe, które charakteryzują się prostotą działania, wysoką wydajnością i trwałością oraz zapewniają

stosunkowo wysoką czystość mikrobiologiczną piwa. Dużą zaletą tych filtrów jest także łatwość ich czyszczenia po każdej szarży oraz możliwość szybkiego przygotowania do kolejnego cyklu filtracyjnego.

Prawie doskonała konstrukcja filtrów świecowych oraz ich systemy elektronicznej regulacji i komputerowego obrazowania, dają dobre podstawy do pełnej optymalizacji przebiegu procesu filtracji.

LITERATURA

- [1] COOTE N., G. FREEMAN, I. McKEOWN, G. LEEDER, R. REED, T. O'RURKE, U. SCHRADER. 1999. Beer Filtration, stabilisation and sterilisation: Manual of good practice. European Brewery Convention, Taschenbuch – 1. Mai 1999.
- [2] DARCY H. 1856. Les fontaines publiques de la ville de Dijon. Paris: Dalmont.
- [3] FRANK B., N. HILDEBRAND, S. WILKINSON, W. BACKS, M. KROTTENTHALER, T. BECKERS. 2011. „Large-scale study on Beer filtration with combined filter aid additions to cellulose fibres”. Journal of the Institute of Brewing 117: 314-328.
- [4] FREEMAN G., M. McKECHNIE. 2003. Filtration and Stabilization of beers. Fermented Beverage Production, Springer Science+Business Media New York.
- [5] KUCHARCZYK K. 2016. „Piwo z odzysku z drożdży”. Kierunek Spożywczy 3: 36–42.
- [6] KUNZE W. 1999. Technology Brewing and Malting. VLB Berlin.
- [7] LEEDER G., T. WEIGAND, J. ZUBER. 2011. „Kieselguhr vs. Cross-Flow Filtration; Economical & Ecological Aspects - Filtrox”. International Brewing Conference Bangkok, VLB Berlin.
- [8] MEIER E. 2014. Filtration in the past, today and tomorrow! MBAA Ontario Technical Conference.
- [9] PASZTALENIEC G. 2006. Tendencje i aspekty filtracji klarującej piwa. Łódź, SzTF: 29-47.
- [10] PASZTALENIEC G. 2008. Filtracja nanoszeniowa – materiały i środki. Kraków-Kocierz, SzTF: 260-277.
- [11] PAZERA T., T. RZEMIENIUK. 1998. Browarnictwo - podręcznik dla technikum. Warszawa: WSiP.
- [12] POREDA A., M. ZDANIEWICZ, M. STERCZYŃSKA, M. JAKUBOWSKI, C. PUCHALSKI. 2015. „Effects of wort clarifying by Rusing carrageenan on diatomaceous earth Osage for Beer filtration”. Czech Journal of Food Science 33: 392-397.
- [13] REED R. 1986. „Centenary review article beer filtration”. Journal of the Institute of Brewing 92: 413-419.
- [14] WITROWA-RAJCHERT D. 2001. „Procesy membranowe w technologii żywności”. Przemysł Spożywczy 8: 52-55.
- [15] <http://bucherfiltrox.com/precoat-candle-filter/secu-jet2.0>