

Techniczno-technologiczne aspekty klarowania brzeczki piwnej

Streszczenie

Branża piwowarska jest jedną z prężnie rozwijających się gałęzi przemysłu spożywczego. W związku z przesyleniem rynku piwnymi wyrobami masowej produkcji obserwowany jest wzrost zainteresowania konsumentów piwami niszowymi o wyszukanych recepturach. Oprócz browarów rzemieślniczych, także duże browary przemysłowe celują w ten segment rynku i zainteresowane są niestandardowymi surowcami i technologiami. Taki stan rzeczy przekłada się bezpośrednio na wprowadzanie zmian w technologii wytwarzania piwa, które powodują w konsekwencji modyfikacje konstrukcyjne urządzeń stosowanych do jego produkcji.

Opracowanie koncentruje się na przybliżeniu technologii produkcji brzeczki i piwa. Szczególną uwagę poświęcono procesowi klarowania, istocie procesu oraz znanym metodom usuwania osadów gorących. Scharakteryzowano także rozwiązania konstrukcyjne wykorzystywane do klarowania brzeczki, stosowane na warzelniach od produkcji w manufakturach po współczesną produkcję na masową skalę.

Słowa kluczowe: klarowanie, sedymentacja, whirlpool, konstrukcja separatora, brzeczka, osad gorący

Technical and technological aspects of clarification of beer wort

Summary

The brewing industry is one of more dynamic branches of the food industry. As the market filled with mass production consumers reach toward niche beers based on much more sophisticated recipes. Apart from craft breweries, also big industrial breweries are aiming toward this market segment and are interested in custom raw materials and technologies. Such a turn imposes changes of the processing what in consequence causes alterations of the devices used for the manufacture of beer.

Following paper discusses a production technology of wort and beers. The focus of this work is clarifying, the process and known methods separation of hot trub. Moreover construction solutions applied in manufactories and production for the big scale used for wort clarifying was characterized.

Key words: clarifying, the sedimentation, whirlpool, construction of the separator, wort, hot trub

Technologia produkcji brzeczki piwnej

Wraz z rozwojem nauki i wzrastającą świadomości konsumentów tematyka innowacyjnych surowców oraz optymalizacji poszczególnych procesów staje się coraz bardziej interesująca. Wydajność procesów realizowanych na warzelni zależy głównie od zastosowanych do produkcji surowców i doboru odpowiednich parametrów technologicznych. W celu uzyskania odpowiedniej jakości produktu końcowego istotne jest opracowywanie nowych technologii, urządzeń oraz wykorzystywanie nowych surowców czy materiałów pomocniczych (Goode i Lalor, 2008).

Branża piwowarska jest jedną z prężnie rozwijających się gałęzi przemysłu spożywczego (Lodolo i in., 2008). W szczególności dotyczy to wdrażania nowych receptur pozyskiwania brzeczek piwnych. Spożycie piwa w Polsce w roku 2015 wynosiło 99,1 litrów na osobę (GUS, 2016), a branża browarnicza generuje roczne przychody w wysokości około 25 mld zł. Dla porównania, produkcja mocnych alkoholi daje 18 mld zł przychodu, a wina jedynie 5 mld zł. Jednocześnie, w związku z obserwowanym nasyceciem rynku wyrobami piwnymi, piwa specjalne i o wyszukanych recepturach zdobywają coraz

większy udział w rynku. Nie tylko browary rzemieślnicze, ale również duże browary przemysłowe zainteresowane są innowacyjnymi surowcami i technologiami (Podskoczy, 2016). Wprowadzanie do receptur piw zamienników, słodu, czy wyszukanych surowców wiąże się często ze zmianami podstawowych cech fizyko-chemicznych brzeczek piwnych (między innymi pH, ekstraktu, barwy, zmętnienia czy składu mineralnego). Prowadzone są też próby polegające na całkowitym zastąpieniu słodu jęczmiennego surowcami niesłodowanymi (np.: jęczmieniem, orkiszem, pszenicą, czy kukurydzą). Modyfikacje tego typu wprowadza się ze względów ekonomicznych (tańszy surowiec) i/lub względów smakowych i prozdrowotnych, polegających na uzyskaniu nowych, lepszych cech gotowego produktu (Steiner in., 2012). Klarowność brzeczki piwnej jest bardzo ważna dla prawidłowego przebiegu procesu metabolizmu drożdży. Stężenie zarówno makro-, jak i mikroelementów w brzeczce piwnej nie jest stałe – zależy od rodzaju i ilości użytych surowców. Dobór surowców wpływa też na skład chemiczny i właściwości brzeczki nastawnej oraz na ilość wytrączanych osadów gorących.

Produkcja piwa przebiega zasadniczo w dwóch etapach. Najpierw ze słodu jęczmiennego wytwarza się brzeczke,

którą następnie poddaje się fermentacji alkoholowej przy użyciu drożdży (Lewis i Young, 1995; Andrews, 2006; Bamforth, 2010). Literatura wymienia również trzeci etap – filtrację i stabilizację, po których następuje rozlew gotowego piwa do opakowań jednostkowych (Boulton i Quain, 2001). Są to procesy charakterystyczne dla masowej produkcji przemysłowej, rzadko występujące w browarach restauracyjnych czy rzemieślniczych.

W pierwszym etapie, podczas wytwarzania zacieru, następuje przemiana składników nierozpuszczalnych w rozpuszczalne (cukry fermentujące, dekstryny, substancje mineralne, białka rozpuszczalne czy tłuszcze). Aby uzyskać brzeczki o odpowiednim ekstrakcie i klarowności, przeprowadza się filtrację zacieru, której produktem ubocznym jest młóto. Nie jest ono wykorzystywane w dalszej produkcji i stanowi główny produkt uboczny. Wykorzystywane jest najczęściej, jako pasza dla zwierząt (Xiros i Christakopoulos, 2012; Mussatto, 2014; Kunze, 2014; Buffington, 2014). Trwają także badania nad wykorzystaniem młóta, jako składnika diety człowieka (Lynch i in., 2016).

W drugim etapie produkcji brzeczka poddawana jest procesowi gotowania. Dodaje się do niej chmiel w postaci szyszek chmielowych, granulatu bądź ekstraktu. Po gotowaniu brzeczka jest przepompowywana do kadzi wirowej (tzw. wybiecie), w której następuje proces oddzielenia od niej gorącego osadu. Klarowna brzeczka trafia do wymiennika ciepła, gdzie zostaje obniżona jej temperatura do temperatury właściwej dla planowanego procesu fermentacji.

Po schłodzeniu brzeczka poddawana jest procesowi fermentacji z wykorzystaniem drożdży piwowarskich. Warunkiem prawidłowego przebiegu poszczególnych etapów produkcji piwa jest odpowiednia klarowność brzeczki oraz właściwy skład chemiczny (Andrews, 2006; Bamforth, 2010). Obie te cechy zależą w dużej mierze od składu mineralnego użytych surowców, parametrów procesowych śrutowania ziaren i zacierania oraz od przebiegu filtracji zacieru i klarowania brzeczki (Back i Krottenthaler, 1999).

Ostatnimi etapami produkcji piwa są: stabilizacja mikrobiologiczna (najczęściej pasteryzacja) i rozlew (Kunze, 2014).

Klarowanie brzeczki piwnej

Rozdział mieszanin z cząsteczkami fazy stałej może przebiegać na wiele sposobów. W tym celu w przetwórstwie żywności wykorzystuje się filtrację lub sedymentację. W każdym z nich realizowane są zabiegi technologiczne oparte na określonym zapleczu aparaturowym (Boulton, 2013; Kunze, 2014).

Podczas produkcji piwa powstają różnego typu zmętnienia, które mogą tworzyć gorące i zimne osady (Lewis i Bamforth, 2006). Brzeczkę gotuje się z chmielem w temperaturze powyżej 100°C, co powoduje wytrącanie gorącego osadu, nazywanego przelómem bądź grubym osadem (Lentini i in., 1994; Kunze, 2014).

Klarowanie brzeczki w kadzi wirowej czy filtracja zacieru i piwa ukierunkowane są na redukcję nadmiaru substancji o charakterze białkowo-garbnikowym. Ich obecność wpływa niekorzystnie na szereg procesów oraz trwałość handlową gotowego produktu. Gęstość osadu gorącego jest wyższa

od gęstości brzeczki piwnej i mieści się w przedziale od około 1,2-2,25 g·cm⁻³ (O'Rourke, 1999).

W celu wyeliminowania tych substancji wykorzystywane są odpowiednie urządzenia lub metody chemiczne (np. użycie dodatku klarującego w postaci K-karragenu pozyskiwanego z mchu irlandzkiego, który pozwala na przyspieszenie naturalnej sedymentacji cząstek białkowych znajdujących się w brzeczce) (Siebert, 1999; Andrews, 2006). Stosuje się również inne substancje wspomagające usuwanie białek zmętnieniotwórczych (ziemia okrzemkowa) i polifenoli (poliwinylpolipirolidon - PVPP).

Na wielu etapach produkcji piwa występuje separacja mieszanin heterogenicznych. Wyróżnić można tu między innymi filtrację zacieru, klarowanie brzeczki (oddzielenie gorącego osadu) i filtrację piwa (Bamforth, 2003; Priest i Stewart, 2006; Kunze, 2014).

Klarowanie brzeczki, po jej gotowaniu, realizowane jest na wiele sposobów. Najczęściej separacja wytrąconego osadu gorącego odbywa się poprzez sedymentację grawitacyjną, wspomaganą ruchem wirowym mieszaniny i jest realizowana w kadzi wirowej. Oddzielanie gorącego osadu od brzeczki piwnej, przez formowanie się stożka osadu w centralnej części dna zbiornika, to swego rodzaju połączenie kilku zjawisk. Zaliczyć tu można przepływ wirowy i sedymentację grawitacyjną, co w konsekwencji prowadzi do klarowania zawiesiny. Formowanie się stożka gorącego osadu, w centralnej części dna zbiornika, zachodzi w wyniku występowania gradientu ciśnienia hydrostatycznego cieczy w zbiorniku kadzi wirowo-osadowej. Wykorzystanie tego zjawiska do klarowania brzeczki piwnej, jest skutecznym i tanim rozwiązaniem.

W przemyśle browarniczym poszukiwane są nowe, energooszczędne i ekonomiczne technologie do realizacji poszczególnych procesów, od warzenia po rozlew gotowego produktu (Olajire, 2012; Bubacz, 2013).

Klaryfikacją (oczyszczaniem) nazywa się proces usuwania cząstek zawieszonych w cieczy (Bender, 2006). Przeprowadzić ją można za pomocą sedymentacji (Bandrowski i in., 2001; Kunze, 2014), filtracji, wirowania (Bender, 2006) czy też przez dodanie środków klarujących (Landbo i in., 2006; Walker i in., 2007) bądź enzymów (Kirk i in., 2002; Landbo i in., 2006; Boulton, 2013). Przykładem może być klarowanie masła, podczas którego oczyszcza się je z niepożądanych substancji, jak choćby białka. Klarowaniu poddawane są głównie soki, wina czy piwa (Bender, 2006; Landbo i in., 2006).

Sedymentacja to zjawisko, podczas którego następuje opadanie pod wpływem siły ciężkości cząstek ciała stałego, rozproszonych w cieczy (Lewicki, 2008). Różnica gęstości pomiędzy ciałem stałym i cieczą jest warunkiem koniecznym dla tego procesu (Latusek i Stęplewska, 2005). Można wyróżnić sedymentację ciągłą i okresową (Bandrowski i in., 2001). Zjawisko to może występować, np. w odstojnikach (Lewicki, 2008). Jest wykorzystywana także w zbiorniku kadzi wirowej podczas wirowania brzeczki. W tym przypadku pomija się wzajemne oddziaływanie cząstek osadu przy jego koncentracji na poziomie mniejszym niż 1%. Taki poziom koncentracji fazy stałej jest graniczny dla opadania swobodnego (Bandrowski i in., 2001).

W celu sprawdzenia poprawności procesu gotowania, a przede wszystkim wytrącenia się gorącego osadu, w browarnictwie przeprowadza się test sedymentacyjny brzezki wybitej. Do tego celu wykorzystuje się lej Imhoffa o pojemności 1000 ml (Kunze, 2014). Służy on do wyznaczania zmian objętości osadu sedymentującego w czasie (Bandrowski i in., 2001).

Warto nadmienić, że aparaty mające zastosowanie, jako separatory zawieszin, wykorzystywane są nie tylko w branżach przetwórstwa spożywczego. Możliwe jest ich zastosowanie w przemyśle chemicznym czy w medycynie, np. do separacji czerwonych krwinek z osocza krwi w zminiaturyzowanym urządzeniu (Arifin i in., 2007) czy też w pierwszych etapach oczyszczania wody.

Przegląd metod do oddzielania osadu gorącego

Technika browarnicza znacznie ewoluowała na przestrzeni wieków. Badania archeologiczne sugerują, że początki wytwarzania napoju podobnego do dzisiejszego piwa pochodzą z Azji Środkowej sprzed 12 000 lat. Napój ten wytwarzano z podpieczonego ciasta (mieszanka mąk jęczmiennej i pszennej), które poddawano spontanicznej fermentacji. W Mezopotamii Sumerowie prowadzili dość szczegółową dokumentację produkcji tzw. „złotego trunku” już 6 000 lat temu (Baranowski, 1995; Abdalla, 2001). Opisy produkcji piwa znajdują się w różnych dziełach, także poetyckich, m.in. w hymnie do Ninkasi - bogini piwa. Za produkcję odpowiadały głównie kobiety, a nadzór sprawowali królewscy urzędnicy. Początkowo pracowały one w domach, a później już w działach warzelni. Sumerowie nie filtrowali piwa - trunki pili przez słomki, które pozwalały przebić się przez zawieszinę z resztek zbóż i drożdży. Słomki wytwarzano z trzciny, a dla bogatych mieszkańców ze złota, obie wersje posiadały na końcach małe otworki spełniające rolę filtra (Katz i Voigt, 1986; Abdalla, 2001).

Z większości doniesień literaturowych wynika, iż babilończycy swoje piwo chmielili aczkolwiek są badacze, którzy twierdzą, że jednak nie stosowano chmielu w produkcji. Zacier powstawał z zalania gorącą wodą rozgniecionych chlebów piwnych, rozdrobnionego słoju oraz przypraw, takich jak cynamon czy miód. Stosowanie mieszaniny ziół nie dawało takich właściwości konserwujących jak chmiel i piwo szybko ulegało zepsuciu. Pierwsze zapisy o użyciu chmielu do produkcji piwa pochodzą z IX wieku (Glick i in., 2005).

Z biegiem kolejnych lat powstawało wiele rozwiązań konstrukcyjnych urządzeń, które były wykorzystywane do oddzielania i usuwania gorącego osadu od brzezki (Bamforth, 2003). Początkowo do oddzielania związków białkowo-garbnikowych służyły tace osadowe (Hornsey, 2003). Były to otwarte, płaskie naczynia, do których wybijano brzezkę. Wysokość słupa cieczy, po ich wypełnieniu, wynosiła od 0,15 m do 0,25 m. Wybitą brzezkę piwną pozostawiano na czas od 0,5 do 2,0 h tak, aby rozproszony w niej osad oddzielił się grawitacyjnie.

Obróbka wybitej brzezki była tym szybsza, im mniejsza była wysokość napełniania tacy. W eksploatacji tacy problemem był odbiór mętnej brzezki, której dalsze przetwarzanie wymagało dodatkowych zabiegów oczyszczających (Bamforth, 2003; Jakubowski, 2008). Duża powierzchnia naczynia i na-

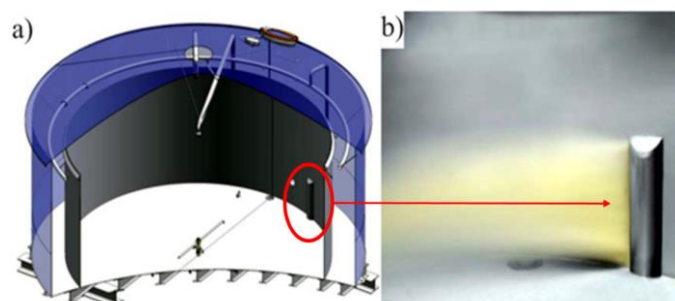
kład pracy, związany z eksploatacją tego aparatu, spowodował, iż rozwiązanie to zostało zastąpione kadzią osadową.

Zbiornik kadzi osadowej zajmował znacznie mniej miejsca. Był zamknięty, co ograniczało ryzyko zakażenia brzezki, a wysokość słupa cieczy wynosiła od 1 do 2 m. Takie rozwiązanie wiązało się jednak z długim czasem sedymentacji osadu (Basařová i Čepička, 1985). Wykorzystanie tego separatora umożliwiało jednocześnie chłodzenie brzezki. Do tego celu wykorzystywano zimną wodę produkcyjną, którą napełniano węzownicę lub płaszcz chłodniczy umiejscowiony w zbiorniku. Brzezka ulegała schłodzeniu, dzięki czemu dodatkowo można było oddzielać wytrącony zimny osad wraz z gorącym. Odbieranie sklarowanej brzezki odbywało się za pomocą przewodu rurowego uzbrojonego w pływak. Umożliwiało to sukcesywny odbiór sklarowanej brzezki z warstwy górnej. Pomimo tego na dnie pozostawało sporo mętnej brzezki, która musiała przejść kolejne zabiegi klarowania, np. poddawano ją wirowaniu.

Z czasem kadź osadową zastąpiono tzw. kadzią do wybicia, do której po gotowaniu spływała brzezka. Takie rozwiązanie stwarzało jednak problemy z odbiorem sklarowanej brzezki (Jakubowski, 2008).

Dzięki postępowi technologicznemu wprowadzono bardziej uniwersalne urządzenie, czyli kadź wirowo-osadową, zwaną również whirlpoolem (Bamforth, 2003). Większość browarów na świecie jest wyposażona w tego typu zbiornik kadzi wirowej. Jest to rozwiązanie powszechnie stosowane, przy tym energooszczędne i skuteczne (Priest i Stewart, 2006). Operacja w kadzi wirowej łączy w sobie wykorzystanie kilku zjawisk występujących po sobie (wirowania mieszaniny, sedymentacji osadu i klarownia). Nie ma także sobie równych pod względem energooszczędności. Tematyka klarowania brzezki w kadzi wirowej nie jest dokładnie poznana, a konstrukcja tego typu separatora od wielu lat nie ulegała znacznym modyfikacjom.

W szerszym ujęciu, w przemyśle spożywczym, stosowane są wirówki filtracyjne, do mleka, klarująco-homogenizujące, miazgowe, samoczyszczące się, sedymentacyjne (bez/z komorą, oddzielczą samoczyszczącą i talerzową), separacyjne i separacyjno-talerzowe oraz wirówki sokownicze (Lewicki, 2008).



Rys. 1 Whilship Calypso: a) widok ogólny zbiornika, b) szczelinowa dysz wlotowa (Steinecker, 2008b)

Fig. 1. Whilship Calypso: a) overall view of the container, b) slotted nozzle inlet (Steinecker, 2008b)

W browarnictwie stosuje się również wirówki z bębnum komorowym lub talerzowym. Służą one do usuwania gorą-

cego osadu z mętnej brzezki, po wirowaniu w whirlpoolu. Odwirowuje się w nich głównie osad pozostały po procesie sedymentacji (Goode i Arendt, 2006). Eksploatacja tych urządzeń jest jednak bardzo energochłonna, co wiąże się ze wzrostem kosztów produkcji piwa (Goode i Arendt, 2006).

Najnowszym rozwiązaniem w zakresie usuwania osadu gorącego w sposób analogiczny jak w separatorze z zawirowaniem, jest opracowany przez koncern Kronos whirlship Calypso (rys. 1).

Aparat realizuje jednocześnie dwie operacje, a mianowicie oddzielenie i późniejsze usunięcie przełomu, a także chłodzenie brzezki piwnej do temperatury nastawnej. Separator ten wyposażony jest we wlot w kształcie szczeliny (Steinecker, 2008a). Brzezka jest równomiernie wprowadzana przez co następuje intensyfikacja jej wirowania i polepszenie warunków formowania się stożka osadu gorącego. Profilowana szczelina nie znalazła jednak zastosowania w warunkach przemysłowych (Steinecker, 2008a; Diakun i Jakubowski, 2009).

Gorąca brzezka, wraz z kłaczującym przełomem, może być poddawana również procesowi filtracji. Przynosi to bardzo dobre rezultaty, jednakże tylko przy bardzo niskim poziomie koncentracji cząstek w brzezce, ze względu na ich osadzanie się na materiale filtrującym. Filtracja może być prowadzona przez warstwę porowatą (Bandrowski i in., 2001) czy tkaniny, ale takie instalacje, są trudne do czyszczenia i utrzymania oraz są podatne na zatory (Priest i Stewart, 2006).

Podsumowanie

W miarę upływu czasu, niejako na naszych oczach dokonuje się postęp w zakresie technologii i techniki przetwarzania żywności. Następują także zmiany preferencji żywieniowych konsumentów. Aspekty powyższe niosą za sobą konieczność wdrażania zmian usprawniających technologię przetwarzania. Idąc dalej, modyfikacje urządzeń produkcyjnych stają się nieuniknione. Wszelkie modyfikacje mają jednak na celu zachowanie prawidłowej realizacji poszczególnych etapów w procesie technologicznym i utrzymanie, bądź poprawę jakości gotowego produktu. Konkurencja na rynku nieustannie doskonali się podążając za zmianą trendów rynku piwnego.

Jedna z najistotniejszych zmian konstrukcyjnych na przestrzeni ostatnich lat w praktyce warzelniowej dotyczyła sposobu klarowania brzezki piwnej. Na przykładzie stosowanych rozwiązań do oddzielenia brzezki od osadu gorącego (od zastosowania tacy osadowej do whirlpoola), widoczny jest znaczący postęp w podejściu do technologii i techniki produkcji.

Bibliografia

- Abdalla, M. (2001). *Kultura żywienia dawnych i współczesnych Asyryjczyków. Uwarunkowania społeczno-kulturowe*. Wyd. Akademickie DIALOG. Warszawa, 430, ISBN: 83-88238-81-7.
- Andrews, J.M.H. (2006). *Brewing New technologies*, pod red. Bamforth C.W. Woodhead Publishing Limited, ISBN 13: 978-1-84569-173-8.

- Arifin, D.R., Yeo, L.Y., Friend, J.R. (2007). Microfluidic blood plasma separation via bulk electrohydrodynamic flows, *Biomicrofluidics*, 1: 014103, [doi: 10.1063/1.2409629](https://doi.org/10.1063/1.2409629).
- Back, W., Krottenthaler, M. (1999). Neue regelung für den abläutervorgang im läuterbottich. *Brauwelt*, 139, 1666-1668.
- Bamforth, C.W. (2003). *Beer: Tap into the Art and Science of Brewing*, Second Edition, Oxford University Press, Inc. ISBN 0-19-515479-7.
- Bamforth, C.W. (2010). *Beer Is Proof God Loves Us Reaching for the Soul of Beer and Brewing*, Pearson education, 213-217, ISBN-10: 0-13-706507-8.
- Bandrowski, J., Merta, H., Ziolo, J. (2001). *Sedymentacja zawiesin – zasady i projektowanie*. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice. ISBN 8373350004.
- Baranowski, K. (1995). O piwie epoki starożytnej. *Przemysł Fermentacyjny i Owocowo-Warzywny*, 10, 25-27
- Basařová, G., Čepička, J. (1985). *Sladařství a pivovarství*, SNTL, Praha, ISBN 05-025-85.
- Bender, D.A. (2006). *Benders' dictionary of nutrition and food technology*. Eighth edition, Woodhead Publishing Limited. ISBN 10: 1-84569-165-2.
- Boulton, C. (2013). *Encyclopaedia of brewing*. John Wiley & Sons, Ltd. ISBN 978-1-4051-6744-4.
- Boulton, C., Quain, D. (2001). *Brewing Yeast and Fermentation*, Blackwell Science Ltd. ISBN 0-632-05475-1.
- Bubacz, M., McCreanor, P.T., Jenkins, H.E. (2013). *Engineering of Beer: Hard Work or Too Much Fun?* materiały z American Society for Engineering Education, Southeast Section Conference.
- Buffington, J. (2014) The economic potential of brewer's spent grain (BSG) as a biomass feedstock. *Advances in Chemical Engineering and Science*, 4, 308-318.
- Diakun, J., Jakubowski, M. (2009). Analiza funkcjonalna konstrukcji kadzi wirowo-osadowych whirlpool. *Inżynieria i Aparatura Chemiczna*, 48(1), 22-23.
- Glick, T.F., Livesey, S., Wallis, F. (2005). *Medieval Science, Technology, and Medicine: An Encyclopedia*. New York: Routledge Taylor & Francis, first edition, 102. ISBN-13: 978-0415969307.
- Goode, D.L., Arendt, E.K. (2006). *Developments in the supply of adjunct materials for brewing*, pod red. Bamforth C.W. *Brewing. New technologies*. CRC Press LLC, Woodhead Publishing Limited, doi.org/10.1533/9781845691738.30.
- Goode, D.L., Lalor, E. (2008). The malt and hop crisis technologies to maximise proces ability and cost efficiency. *The Brewer and Distiller International*, 4(3), 37-40.
- GUS. (2016). Dostawy na rynek krajowy oraz spożycie niektórych artykułów konsumpcyjnych na 1 mieszkańca w 2015 roku. <https://stat.gov.pl/obszary-tematyczne/ceny-handel/handel/dostawy-na-rynek-krajowy-oraz-spozycie-niektorych-artykulow-konsumpcyjnych-na-1-mieszkanca-w-2015-roku,9,6.html> (dostęp grudzień, 2016).
- Hornsey, I.S. (2003). *A History of Beer and Brewing*. The Royal Society of Chemistry, ISBN 0-85404630-5.
- Jakubowski, M. (2008). *Wpływ wybranych parametrów konstrukcyjnych na proces zawirowania w kadzi wirowo-osadowej podczas klarowania zawiesin*. Rozprawa doktorska, Politechnika Koszalińska.
- Katz, S.H., Voigt, M.M. (1986). Bread and Beer: The Early Use of Cereals in the Human Diet. *Expedition*, 28(2), 22-34.

- Kirk, O., Borchert, T.V., Fuglsang, C.C. (2002). Industrial enzyme applications. *Current Opinion in Biotechnology*, 13(4), 345–351. [doi.org/10.1016/S0958-1669\(02\)00328-2](https://doi.org/10.1016/S0958-1669(02)00328-2).
- Kunze, W. (2014). *Technology Brewing and Malting*, 5th English Edition. ISBN 978-3-921690-77-2.
- Landbo, A.-K.R., Pinelo, M., Vikbjerg, A.F., Let, M.B., Meyer, A.S. (2006). Protease-Assisted Clarification of Black Currant Juice: Synergy with Other Clarifying Agents and Effects on the Phenol Content. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 54(18), 6554–6563, doi 10.1021/jf060008d
- Latusek, A., Stęplewska, M. (2005). *Chemia*. Wydawnictwo Zielona Sowa, Kraków. ISBN 83-7389-995-2.
- Lentini, A. Takis, S., Hawthorne, D.B. Kavanagh, T.E. (1994). *The influence of trub on fermentation and flavour development*. Proceedings of the 23rd Convention Institute of Brewing (Asia Pacifik Section), Sydney, 23, 89-95.
- Lewicki, P. (2008). *Leksykon nauki o żywności i żywieniu człowieka oraz polsko-angielski słownik terminów*. Wydawnictwo SGGW. ISBN 978-83-7244-988-7.
- Lewis, M.J., Young, T.W. (1995). *Brewing*. Chapman & Hall, London, ISBN-13: 978-0306472749.
- Lewis, M.J., Bamforth, C.W. 2006. *Essays in Malting and Brewing*. Springer. ISBN-13 978038733010.
- Lodolo, E.J., Kock, J.L.F., Axcell, B.C., Brooks, M. (2008). The yeast *Saccharomyces cerevisiae* — The main character in beer brewing. *FEMS Yeast Research* 8:1018–1036. [doi:10.1111/j.1567-1364.2008.00433.x](https://doi.org/10.1111/j.1567-1364.2008.00433.x).
- Lynch, K.M., Steffen, E.J., Arendt, E.K. (2016). Brewers' spent grain: a review with an emphasis on food and health, *Journal of the Institute of Brewing*, 122, 553–568, [doi 10.1002/jsfa.6486](https://doi.org/10.1002/jsfa.6486).
- Mussatto, S.I. (2014). Brewer's spent grain: A valuable feedstock for industrial applications, *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 94, 1264–1275, [doi 10.1002/jsfa.6486](https://doi.org/10.1002/jsfa.6486).
- O'Rourke, T. (1999). *Back to basics 10 - wort boiling (part 2)*, *Brew Guard*, 128(9), 38–41.
- Olajire, A.A. (2012). The brewing industry and environmental challenges, *Journal of Cleaner Production*, [doi:10.1016/j.jclepro.2012.03.003](https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2012.03.003).
- Podskoczy, A. (2016). Piwo króluje wśród wakacyjnych trunków, *Ogólnopolski dziennik społeczno-polityczny i ekonomiczno-prawny Rzeczpospolita*.
- Priest, F.G., Stewart, G.G. (2006). *Handbook of Brewing*. second edition Editorial by Taylor & Francis Group, LLC. ISBN 13: 978-0-8247-2657-7.
- Siebert, K. J. (1999). Effects of protein-polyphenol interactions on beverage haze, stabilization, and analysis. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 47(2), 353–62, [doi 10.1021/jf980703o](https://doi.org/10.1021/jf980703o).
- Steinecker. (2008a). Materiały informacyjne ze strony internetowej firmy Steinecker, <http://www.bidonequipment.info.pl> (dostęp maj 2008).
- Steinecker. (2008b), materiały informacyjne ze strony internetowej firmy Steinecker, <http://www.bidonequipment.info/pdf%20files/KRONES%20STEINECKER%20Calypso.pdf> (dostęp: maj 2013).
- Steiner, E., Auer, A., Becker, T., Gastl, M. (2012), Comparison of beer quality attributes between beers brewed with 100% barley malt and 100% barley raw material, *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 92, 803–813, [doi 10.1002/jsfa.4651](https://doi.org/10.1002/jsfa.4651).
- Walker, S.L., Donet, M.C, Freeman, G. (2007). Alternatives to Isinglass for Beer Clarification. *Journal of the Institute of Brewing*, 113(4), 347–354. [doi 10.1002/j.2050-0416.2007.tb00761.x](https://doi.org/10.1002/j.2050-0416.2007.tb00761.x)
- Xiros, C., Christakopoulos, P. (2012). Biotechnological potential of brewers spent grain and its recent applications, *Waste Biomass Valorization*, 3, 213–232.
- Przegląd stanowi część pracy finansowanej w ramach działalności statutowej „młodzi naukowcy”. Temat badawczy: „Techniczne i technologiczne aspekty wytwarzania brzezki piwnej w skali półtechnicznej”.

Monika Sterczyńska

Politechnika Koszalińska

Katedra Procesów i Urządzeń Przemysłu Spożywczego

ul. Raławicka 15-17, 75-620 Koszalin,

e-mail: monika.sterczynska@tu.koszalin.pl