

Monika STERCZYŃSKA*¹⁾, Marta STACHNIK¹⁾, Aleksander POREDA²⁾, Marek JAKUBOWSKI¹⁾¹⁾ Katedra Procesów i Urządzeń Przemysłu Spożywczego, Wydział Mechaniczny, Politechnika Koszalińska²⁾ Katedra Technologii Fermentacji i Mikrobiologii Technicznej, Wydział Technologii Żywności, Uniwersytet Rolniczy im. Hugona Kołłątaja

*autor korespondujący

Osad gorący – surowiec odpadowy w produkcji klarownej brzeczki piwnej

Streszczenie

W wytwarzaniu brzeczki piwnej, podczas gotowania, towarzyszy wytrącanie się tzw. osadu gorącego, zwanego też przełomem. Wykorzystanie w recepturze piw zamienników słodu jęczmiennego wiąże się często ze zmianami składu jonowego i ilości wytrąconych z brzeczki osadów gorących. W pracy omówiono proces tworzenia się konglomeratów białkowo-garbnikowych, ich szczegółowy skład chemiczny oraz powody, dla których osad ten jest usuwany. Powstały, po klarowaniu brzeczki, przełom, to źródło cennych składników odżywczych, w tym przede wszystkim związków mineralnych. W związku, z tym istnieje możliwość wykorzystania tego odpadu w celach konsumpcyjnych, kosmetologii, czy w medycynie.

Słowa kluczowe: brzeczka piwna, osad gorący, białka, polifenole, osad zimny, sedimentacja

Hot trub – by-product of production of clarified beer wort

Summary

In the production of beer wort, during cooking, accompanied by the precipitation of so-called a hot trub precipitation, called also a hot break. Barley malt substitutes used in beer production results in changes in ion composition and the amount of hot deposit. This paper discusses the formation process of the protein-polyphenol compounds, their detailed chemical composition and reasons for which this deposit is being removed. The cold break that appears after wort clarifying is a valuable source of nutrients, above all the mineral compounds. A possibility exists to use this waste for consumer purposes, in relation to cosmetology or medicine application.

Key words: beer wort, hot trub, proteins, polyphenols, cold break, the sedimentation

Wprowadzenie

Podczas produkcji brzeczki, po jej gotowaniu z chmielem, występuje separacja mieszanin heterogenicznych (klarowanie). Powstaje odpad w postaci gorącego osadu, który zawiera wiele cennych substancji odżywczych.

Wykorzystanie w recepturze 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) oraz składu jonowego i ilości wytrąconych z brzeczki osadów gorących (Sterczyńska, 2017). Modyfikacje tego typu wprowadza się ze względów ekonomicznych (tańszy surowiec) i/lub względów smakowych i prozdrowotnych (uzyskanie nowych, lepszych cech gotowego produktu), (Steiner i in., 2012).

Mówiąc o osadzie gorącym, jako surowcu odpadowym, należy wspomnieć o sile oddziaływania na środowisko. Przemysł browarniczy zużywa znaczące ilości wody, co za tym idzie produkuje ogromne ilości ścieków – 3,3 m³ ścieków na 1 m³ piwa (van der Merwe, 2000; Piepiórka-Stepuk i in., 2016; Piepiórka-Stepuk, 2018). Oprócz tego wyzwaniem pozostaje zagospodarowanie odpadów stałych, emisja gazów czy ograniczenie zużycia energii. Na 1 m³ gotowego piwa powstaje 51,2 kg odpadów stałych, w tym osad gorący. Biologiczne zapotrzebowanie na tlen BZT₅ dla wilgotnego osadu

wynosi około 110 000 mg·kg⁻¹ (Fillaudeau i in., 2006). Dla porównania rzekę uznaje się za silnie zanieczyszczoną jeśli jej BZT₅ przekracza 8 mg·l⁻¹, a BZT₅ nieuzdatnionych ścieków wyniosło około 600 mg·l⁻¹ (Sawyer i in., 2003).

Zarządzanie produkcją powinno odbywać się z perspektywy zrównoważonego rozwoju. Dążenie do obniżenia kosztów produkcji musi wiązać się z wydajniejszym przetwarzaniem surowców, a zatem ich zmniejszonym zużyciem. W rezultacie powstanie dużo mniej opadów. Przemysł browarniczy musi poważnie potraktować problem recyklingu surowców odpadowych.

W niniejszej pracy scharakteryzowano osad gorący, oprócz młóta, jeden z bardziej wartościowych produktów ubocznych. Badania nad składem chemicznym osadów, jako produktów odpadowych, przyczynią się do ich skutecznej utylizacji, a nawet do dalszego wykorzystania, jako cenny surowiec farmaceutyczny i kosmetologiczny (Sterczyńska, 2017).

Brzeczka piwna

Brzeczka piwna to wodny roztwór substancji wyekstrahowanych z surowców (głównie słodu jęczmiennego), podczas zacierania. W czasie fermentacji stanowi ona cenną pożywkę dla drożdży. Brzeczka zawiera jednak niewielkie ilości osadu gorącego (Kühbeck i in., 2006; 2007), w ilości poniżej 0,01 kg·hl⁻¹ (Boulton, 2013). Zmiana barwy, zawartości ekstraktu,

wartości pH czy klarowności brzeczki, zachodzące podczas produkcji na warzelnii, wynikają nie tylko z parametrów technologicznych poszczególnych procesów. Warunkowane one są także właściwościami stosowanych surowców.

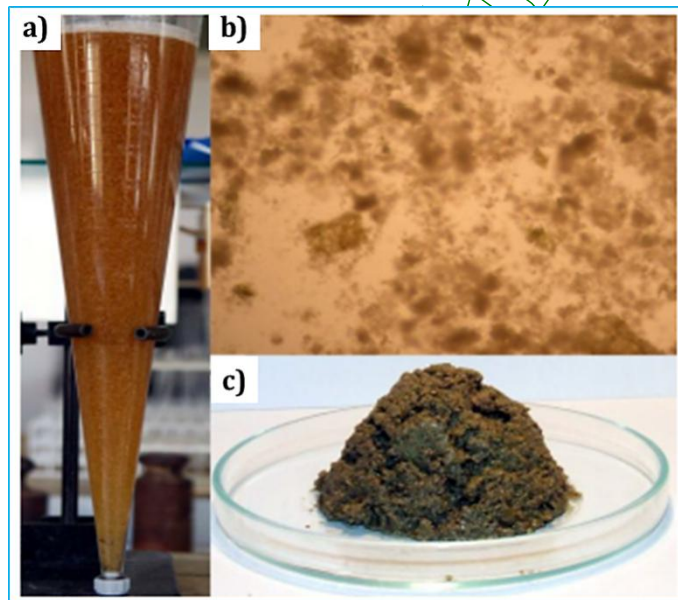
Podczas gotowania i klarowania brzeczki kształtuje się ostateczny skład jakościowy i ilościowy roztworu. Do brzeczki przedostają się związki gorzkie i aromatyczne z dodatku chmielu i wytrącają się substancje białkowo-garbnikowe, w postaci gorącego osadu (Kühbeck i in., 2006; 2007; Evans i in., 2012). Równocześnie następuje nadanie warunków aseptycznych brzeczce, odparowanie wody, inaktywacja enzymów, zakwaszenie oraz zwiększenie intensywności barwy (Briggs i in., 2004; Evans i in., 2012; Stewart, 2016). Swój unikatowy i złożony skład chemiczny brzeczka zawdzięcza rodzajowi surowców, a także procedurom stosowanym do jej wytwarzania (Boulton, 2013). Jedną z najczęściej wytwarzanych jest brzeczka słodowa o zawartości ekstraktu 12% wag. Przybliżony skład jej części skondensowanej (z pominięciem udziału wody w roztworze) to: od 90 do 92% węglowodanów (w tym cukrów fermentujących): maltoza 40%, maltotrioza od 20% i glukoza 15%) i od 4 do 5% (od 950 do 1150 mg l⁻¹) związków azotowych (Eßlinger i Narziß, 2002; Boulton, 2013; Kunze, 2014) i polifenoli od 180 do 250 mg·l⁻¹ (Eßlinger i Narziß, 2012). Pozostałych składników mineralnych w ekstrakcie jest od 1 do 3% (Eßlinger i Narziß, 2002; Boulton, 2013; Kunze, 2014).

W zależności od stężenia ekstraktu i temperatury, brzeczka piwna charakteryzuje się gęstością około 1,043 g·cm⁻³ (O'Rourke, 1999; Alfa-laval, 2009). Brzeczki wytwarzane metodą high gravity mogą posiadać znacznie większą gęstość (Saerens i in., 2008). Wartość jej pH mieści się w przedziale od 5,0 do 5,3 w zależności od zastosowanych surowców i przebiegu poszczególnych etapów. Podczas klarowania w kadzi wirowej najbardziej korzystne jest pH brzeczki o wartości 5,2. Barwa roztworu w dużej mierze zależy od surowców użytych do produkcji, dlatego może mieć jasnobrązowy, słomkowy lub prawie czarny odcień (do 43 EBC). Lepkość dynamiczna natomiast uzależniona jest (poza temperaturą) od zawartości cząstek stałych oraz stężenia β- glukanów, pochodzących ze słodu i wynosić może od około 1,76 do 2,0 mPa·s (Boulton i Quain, 2001; Eßlinger i Narziß, 2002).

Osad gorący

W dziale warzelnii, po zacieraniu brzeczki piwną gotuje się z preparatami chmielowymi, co powoduje wytrącanie osadu gorącego (rys. 1), nazywanego również przełomem bądź grubym osadem (Lentini i in., 1994; Kunze, 2014). Złożony jest on z nierozpuszczalnych białek, złożonych węglowodanów, lipidów, garbników i innych składników oraz minerałów (Lentini i in., 1994; Kühbeck i in., 2006). Wartość procentowa poszczególnych składników osadu w suchej masie jest różna, w zależności od wykorzystanych surowców (Bamforth, 2003), wynosi zazwyczaj dla: białka (od 40 do 70%), substancji gorzkiej (od 7 do 32%), polifenoli (od 20 do 30%), węglowodanów (od 4 do 8%), tłuszczu (od 1 do 8%) oraz popiołu (około 5%) (Kühbeck i in., 2006; Boulton, 2013). Brzeczka o wysokiej zawartości azotu traci go około 6% w związku z wytrąceniem osadu gorącego podczas gotowania (Barchet, 1993; Priest i Stewart, 2006). Kwasy go-

ryczkowe i tłuszcze (1-2%) znajdują się wyłącznie w osadzie gorącym (Lewis i Bamforth, 2006; Priest i Stewart, 2006), który różni się od zimnego (występującego po schłodzeniu brzeczki) nie tylko ilością, składem, ale także wielkością cząstek (McMurrough i Delacour, 1994). Osad gorący ma większą gęstość od brzeczki i mieści się ona w przedziale od około 1,2-2,25 g·cm⁻³ (O'Rourke, 1999).



Rys. 1. Osad gorący: a) sedymentacja w leju Imhoffa, b) pod mikroskopem (pow. 60×), c) próbka pobrana ze zbiornika przemysłowego (Jakubowski i in., 2014)

Fig. 1. Hot trub: a) sedimentation in the Imhoff cone, b) under the microscope (resolution 60×), c) sample taken from the industrial tank

Wielkość cząstek osadu gorącego, według niektórych źródeł, mieści się w zakresie od 30 do 80 μm (Kühbeck i in., 2006) lub do 200 μm (Kühbeck i in., 2007). Najnowsze badania dowodzą, że cząstki te mogą mieć rozmiary do 500 μm. Ich wielkość zależy od składu surowcowego oraz stężenia ekstraktu brzeczki piwnej. Najwięcej cząstek ma rozmiar od około 30 do 140 μm (Jakubowski i in., 2016). W innych źródłach literaturowych wartość średnicy szacowana jest na około maksymalnie 8000 μm (Lewis i Bamforth, 2006). Ilość wytrąconego przełomu waha się od 0,02 kg·hl⁻¹ do 0,08 kg·hl⁻¹ brzeczki (Narziß, 1992). Większość gorącego osadu usuwana jest z brzeczki piwnej, ponieważ może utrudniać jej klarowanie po schłodzeniu, powodować nadmierne zlepianie drożdży piwnych podczas fermentacji oraz stwarzać problem z filtracją piwa (Kunze, 2010). Ilość osadu gorącego w brzeczce, po wirowaniu w kadzi wirowej, powinna wynosić poniżej 0,01 kg·hl⁻¹. W późniejszym etapie zostaje on wytrącony razem z osadem zimnym (Priest i Stewart, 2006). Inni autorzy (Schisler i in., 1982; Lentini i in., 1994; Kühbeck i in., 2006; Kühbeck i in., 2007; Bamforth, 2011) podają, iż niewielka ilość osadu jest korzystna dla przebiegu fermentacji. Stanowić on może źródło lipidów, zwłaszcza nienasyconych kwasów tłuszczowych, które mają zasadnicze znaczenie dla metabolizmu drożdży (Kunze, 2014). Siebert i in. (1986) sugerują natomiast, że osad może zapewnić nośnik dla komórek drożdży (Briggs i in., 2004; Priest i Stewart, 2006).

Oddzielenie osadu gorącego można osiągnąć poprzez sedymentację, wirowanie lub filtrację brzeczki piwnej. Najefektywniej osad wytrąca się w przypadku brzeczki chmielonych (Dadic i Van Gheluwe, 1972; Briggs i in., 2004; Priest i Stewart, 2006). W jęczmieniu browarnym, aż 92% związków azotowych stanowią białka. Wśród nich wyróżnia się głównie gluteliny – białka proste, nieprzechodzące do roztworu, ponieważ niemal w całości pozostają one w młócie. Kolejnymi związkami białkowymi są: prolaminy (nierozpuszczalne w wodzie, rozpuszczalne w alkoholu), w znacznej części pozostające w młócie, globuliny nazywane też edestynami, (rozpuszczalne w rozcieńczonych roztworach soli oraz w zacierze, koagulujące na gorąco, nie wytrącają się w całości). Najmniejszy udział w jęczmieniu stanowią albuminy (zaledwie 11% białek), które przy gotowaniu brzeczki wytrącają się całkowicie. Warto zaznaczyć, że podczas słodowania i zacierania ich zawartość maleje (Kuzne, 2014). Podczas procesu gotowania brzeczki, przy wytrącaniu osadu, następuje rozpuszczanie i przemiany składników olejków chmielowych. Są one odpowiedzialne za powstawanie w piwie charakterystycznego zapachu i smaku chmielowego. Prawidłowa realizacja tych przemian zależy od składu chemicznego oraz pH brzeczki (Baca i in., 1998; Lewis i Bamforth, 2006).

Wytrącanie osadu gorącego jest zasadniczo reakcją strącenia białka i zależy od tych reakcji, w których biorą udział grupy tiolowe (SH) i wiązania siarka-siarka (SS) (Ledward, 1979). Zachodzi ona poprzez blokowanie grup tiolowych (Biermann, 1984). Garbniki występujące w słodzie i dodanym chmielu rozpuszczają się całkowicie w brzeczce, a następnie wiążą z substancjami białkowymi obecnymi w roztworze. W wyniku reakcji redukcji, pod wpływem ciepła dostarczanego podczas gotowania, powstają wewnątrzcząsteczkowe mostki dwusiarczkowe, a w rezultacie pojawiają się wolne grupy tiolowe. Mogą one przyczyniać się do powstawania nowych międzycząsteczkowych wiązań disiarczkowych, powodując wzrost masy cząstki. Małe cząstki rozrastają się i jednocześnie spada ich zdolność do rozpuszczania się w wodzie. Ruch wrzącej brzeczki sprzyja łączeniu się cząstek w konglomeraty (Kühbeck i in., 2006). Operacja oddzielania osadu gorącego zależy w dużej mierze od składu chemicznego wody i pH brzeczki, rodzaju surowców i ich proporcji w zasypie (Sterczyńska, 2017).

W wyniku reakcji białka z garbnikami (głównie pochodzenia chmielowego) następuje znaczne obniżenie zawartości związków azotowych. W trakcie gotowania, wytrącenie wszystkich związków białkowych jest niemożliwe, co wynika z budowy aminokwasów, które różnią się między sobą wartością punktu izoelektrycznego (Pazera i Rzemieniuk, 1998). Jest to taka wartość pH, przy której aminokwas nie jest obdarzony żadnym ładunkiem i nie porusza się w polu elektrycznym (Murray i in., 2014). Zbyt długie gotowanie brzeczki skutkuje rozpuszczeniem się wytrąconego wcześniej osadu gorącego, a także wzrostem barwy roztworu (Pazera i Rzemieniuk, 1998). Użycie natomiast nieodpowiedniej dawki chmielu, pozbawionej dostatecznej ilości substancji garbnikowych, odpowiada za niedostateczne klączkowanie gorącego osadu (Kunze, 2014).

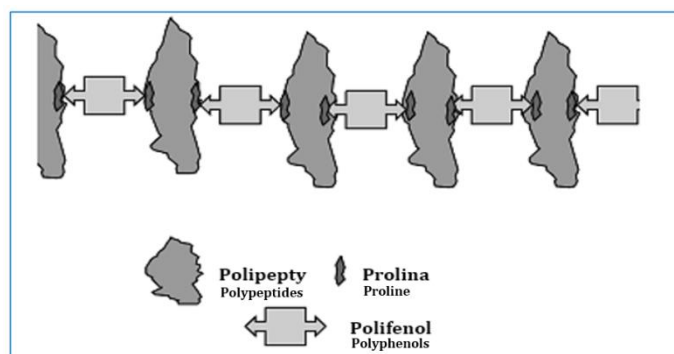
Podczas gotowania brzeczki z chmielem, niezależnie od jego postaci, następuje rozpuszczanie i izomeryzacja substancji goryczkowych, przede wszystkim α -kwasów. Przy pożądanym dla wybicia brzeczki pH równym 5,2-5,4, zdecydowanie zaczynają dominować α -kwas w formie koloidalnej (Baca i in., 1998; Lewis i Bamforth, 2006; Priest i Stewart, 2006). Wyższe wartości pH brzeczki powodują zwiększenie stopnia izomeryzacji, ale pogarszają wytrącanie białek (Kühbeck i in., 2006). W konsekwencji słabego ich wytrącania powstaje mniej przełomu i jest on mniej zbity. W związku z tym zostaje obniżona wydajność całej warzelnicy, ponieważ nie uzyskuje się pożądanego ilości klarownej brzeczki piwnej. Niedostateczne wytrącenie osadu gorącego może powodować problemy związane z trwałością koloidalną gotowego piwa. Podczas procesu gotowania następuje także rozpuszczanie polifenoli i związków białkowych, które mają wpływ na smak i trwałość koloidalną piwa. Przyjmuje się, że godzina gotowania może zwiększyć intensywność barwy o ok. 1,5 jednostek EBC (Lewis i Bamforth, 2006). Przy wyższym pH jest możliwe większe wyekstrahowanie do brzeczki garbników z chmielu i jego produktów. Może to powodować wyraźne przyciemnienie barwy brzeczki, a w konsekwencji piwa oraz pogorszenie jego cech sensorycznych. Antocyjanogeny obecne w brzeczce i piwie, są nadal aktywne, i mogą tworzyć z białkami związku nierozpuszczalne, w konsekwencji pogarszając trwałość piwa (Baca i in., 1998; Lewis i Bamforth, 2006). Podczas oddzielania osadu gorącego od brzeczki, oprócz jonów metali, odseparowane zostają także tłuszcze pochodzące ze słodu, surowców niesłodowanych oraz chmielu (Boulton i Quain, 2001). Jako aspekt pozytywny pozostałości gorącego osadu w brzeczce piwnej, należy zaznaczyć, że na metabolizm i wzrost drożdży piwowarskich, oprócz cynku, pozytywnie wpływają inne składniki odżywcze, znajdujące się w osadzie (Lentini, 1994).

Kompleksy białkowo-polifenolowe

Koloidalne zmętnienia występujące w postaci zawiesiny to głównie białka, węglowodany, polifenole oraz inne składniki (McMurrough i in., 1999). Pomędzy białkami i polifenolami tworzą się kompleksy w postaci cząstek koloidalnych. Białka tworzące zmętnienia zawierają dużo aminokwasu proliny, do której przyłączają się związki polifenolowe (Siebert i in., 1996; Siebert i Lynn, 1998). Połączenia te powstają w wyniku międzycząsteczkowych oddziaływań van der Walsa, wzmocnionych wiązaniami wodorowymi pomiędzy grupą karbonylową monomerów proliny a grupami hydroksylowymi związków fenolowych. Wiązania jonowe i kowalencyjne mogą występować wspólnie. Połączenie białek i polifenoli początkowo jest odwracalne. Jednak, gdy kompleks osiągnie dostateczną wielkość, staje się nierozpuszczalny (Siebert, 2006).

W przypadku niskich stężeń proliny związki białkowe tworzą wiązania w miejscach aktywnych na swojej powierzchni (rys. 2). W rezultacie następuje zmniejszenie ładunku elektrycznego białka oraz zwiększenie jego masy cząsteczkowej (Mierczynska-Vasilev i Smith, 2015). Występowanie różnic w ładunkach związków (polifenole – dodatnie, białka – ujemne), jest powodem tworzenia między nimi wiązań semi wodorowych (Derbourg, 1997). W wyniku tego cząstki mogą się łączyć i flokulować. Większa zawartość związków biał-

kowych powoduje sieciowanie wiązań pomiędzy cząsteczkami białka, a fenole służą, jako cząsteczki mostkujące.



Rys. 2. Model powstawania zmętnienia wg Siebert i Lynn (1998), (Lewis i Bamforth, 2006)

Fig. 2. The model of haze formation according to Siebert and Lynn (1998)

Ostatnim etapem produkcji brzezki piwnej po jej klarowaniu w whirlpoolu, jeszcze przed fermentacją, jest chłodzenie i napowietrzanie. Chłodzenie prowadzi się z wykorzystaniem wymienników ciepła (Bamforth, 2003; Kunze, 2014). Warto zaznaczyć, że po klarowaniu w kadzi wirowej, gdy temperatura brzezki spada poniżej 60°C, w wyniku wytrącania się cząstek wielkości od 0,5 µm do 1 mm powstaje jeszcze inne zmętnienie nazywane zimnym osadem (Priest i Stewart, 2006). Osad ten po ponownym podgrzaniu częściowo się rozpuszcza. W głównej mierze w zimnym osadzie występują białka, garbniki oraz niektóre lipidy. W skład niego wchodzi przede wszystkim białka wysokocząsteczkowe o masie od 30 000 do 100 000 Da. Tworzą one kompleksy ze spolimeryzowanymi polifenolami, takimi jak katechiny i proantocyjanidyny. Frakcja białkowa stanowi od 31 do 50%, polifenolowa od 13 do 17%, a węglowodanowa od 39 do 57% zimnego osadu (Kuchciak i Antkiewicz, 2003). Tak jak w przypadku gorącego osadu, niewielka ilość osadu zimnego w brzezce może działać pozytywnie (od 120 do 160 mg·dm⁻³): fermentacja jest bardziej burzliwa, poprawia się stabilność i struktura piany oraz stabilność smaku piwa. W celu usunięcia nadmiernej ilości zimnego osadu z brzezki piwnej wykorzystywane są dodatkowe zabiegi technologiczne np.: filtracja, flotacja, sedymentacja oraz wirowania (Andrews, 2006).

Środki pomocnicze klarujące brzezke

Jedną z najważniejszych cech piwa jest jego klarowność. Wiąże się ona ściśle ze stabilnością koloidalną piwa i odnosi do tworzenia w nim zmętnienia niebiologicznego, będącego skutkiem interakcji pomiędzy polifenolami a białkami (Priest i Stewart, 2006; Boulton, 2013).

Środki wspomagające uzyskanie pożądaných cech produktu stosowane są nie tylko przy dojrzewaniu czy pakowaniu piwa, ale często już na etapie warzelnii. Dla piwowara istotne jest uzyskanie klarownej brzezki piwnej w celu przeprowadzenia poprawnej fermentacji i dalszych etapów przetwarzania (Boulton, 2013). Konieczne jest zatem szybkie i efektywne oddzielenie osadów białkowo-garbnikowych od gotującej się

brzezki podczas wirowania i sedymentacji w kadzi wirowej (Priest i Stewart, 2006).

Większość środków do klarowania brzezki i młodego piwa stosowana jest po chłodzeniu czy fermentacji, w czasie leżakowania oraz w procesie filtracji gotowego piwa. Przykładami takich środków mogą być: taniny, ziemia okrzemkowa, poliwinylopolipirolidon (PVPP), klej rybi (karuk), preparaty enzymatyczne (papaina) czy bentonit (Antkiewicz i Tuszyński, 1997; Debouge, 1997; Priest i Stewart, 2006). Jednakże im wcześniej nastąpi klarowanie (np. podczas gotowania brzezki), tym łagodniej i sprawniej będą przebiegać następne etapy produkcji (Kunze, 2014).

Preparaty i związki wspomagające klarowanie brzezki piwnej przed jej fermentacją to głównie karagen (Poreda i in., 2014c), mech irlandzki i żel krzemowy (Antkiewicz i Tuszyński, 1997; Debouge, 1997; Priest i Stewart, 2006). Możliwe jest wprowadzanie koagulantów i adsorbentów (np. karageniany czy gumy) w celu zwiększenia ilości i efektywności wytrącania osadu gorącego (Barchert, 1993).

Podsumowanie

Interesującym kierunkiem prac badawczych okazać się może podjęcie badań nad obróbką i innym wykorzystaniem odpadów poprodukcyjnych podczas wytwarzania brzezki piwnej i piwa (w szczególności osadu gorącego). Powstały, po klarowaniu brzezki, przełom to źródło cennych składników odżywczych, w tym przede wszystkim związków mineralnych. W związku z tym zasadne staje się opracowanie metod obróbki i wykorzystania osadu gorącego w celach konsumpcyjnych, kosmetologii czy w medycynie. Takie badania w przyszłości nie wykluczają nawiązania współpracy z przemysłem farmaceutycznym.

Bibliografia

- Alfa Laval, (2009). Dane materiałowe – program doboru pomp do brzezki i piwa.
- Andrews, J.M.H. (2006). *Brewing New technologies*, pod red. Bamforth C.W. Woodhead Publishing Limited, ISBN 978-1-84569-173-8.
- Antkiewicz, P., Tuszyński, T. (1997). *Stabilizacja piwa – zalety i wady*. II Szkoła Technologii Fermentacji, 53 – 64.
- Baca, E., Pawlikowska, B., Michałowska, D., Gołębiewski, T. (1998). Jakość jęczmienia, warunki słodowania a zawartość β-glukanu w brzezce (cz.2.) *Przemysł Fermentacyjny i Owocowo-Warzywny*, 9, 34-36.
- 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. (2011). *Beer A Quality Perspective*. Academic Press, 304. ISBN 978-012-669-20-13
- Barchert, R. (1993). Hot Trub: Formation and removal. *Brewing Techniques and Advice*, 1, 4.
- Biermann, U.K. (1984). *Übermenge und Zusammensetzung des kochtrubes in abhängigkeit von technologischenverfahren*. Ph.D. Diss. TU München, Freising-Weihenstephan, 9-91.
- 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.
- Briggs, D.E., Boulton, C., Brooks, P., Stevens, R. (2004). *Brewing Science and practice*. Woodhead Publishing Limited, ISBN 0-8493-2547-1.
- Dadic, M., Van Gheluwe, J.E.A. (1972). Experiments with a whirlpool tank, *Brewing Dig.*, 47(9), 120–126.
- Debourg, A. (1997). Improvements in organoleptical and physico-chemical stabilities of beer. II *Szkoła Technologii Fermentacji*, 5 – 29.
- Eßlinger, H.M., Narziß, L. (2002). Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry. *Beer*, Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, doi:10.1002/14356007.a03_421.pub2.
- Eßlinger, H.M., Narziß, L. (2012). Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry. *Beer*. doi:10.1002/14356007.
- Evans, E., Goldsmith, M., Redd, K.S., Nischwitz, R., Lentin, A. (2012). Impact of Mashing Conditions on Extract, Its Fermentability, and the Levels of Wort Free Amino Nitrogen (FAN), β -Glucan, and Lipids. *Journal of the American Society of Brewing Chemists*, 70(1), 39-49, doi.org/10.1094/ASBCJ-2012-0103-01.
- Fillaudeau, L., Blanpain-Avet, P., Daufin, G. (2006). Water, wastewater and waste, management in brewing industries. *Journal of Cleaner Production*, 14, 463-471, doi:10.1016/j.jclepro.2005.01.002
- Jakubowski, M., Antonowicz, A., Janowicz, M., Sterczyńska, M., Piepiórka-Stepuk, J., Poreda, A. (2016). An assessment of the potential of Shadow Sizing analysis and Particle Image Velocimetry (PIV) to characterise hot trub morphology. *Journal of Food Engineering*, 173, 34-41., doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2015.10.033.
- Jakubowski, M., Sterczyńska, M., Antonowicz, A. (2014). Shadow Sizing as a hot trub particles identification method. *Pomiary Automatyka Kontrola*, 10, 893-896.
- Kühbeck F., Schütz M., Thiele F., Krottenthaler M., Back W. (2006). Influence of Lauter Turbidity and Hot Trub on Wort Composition, Fermentation, and Beer Quality. *American Society of Brewing Chemists*, 64(1), 16-28, doi:10.1094/ASBCJ-64-0016.
- Kühbeck, F., Müller, M., Back, W., Kurz, T., Krottenthaler, M. (2007). Effect of hot trub and particle addition on fermentation performance of *Saccharomyces cerevisiae*, *Enzyme and Microbial Technology*, 41(6-7), 711–720. doi:10.1016/j.enzmictec.2007.06.007.
- Kuchciak, T., Antkiewicz, P. (2003). *Przemiany w procesie starzenia się piwa*. VIII Szkoła Technologii Fermentacji, 221–256.
- Kunze, W. (2010). *Technology Brewing and Malting*, 4th English Edition. ISBN 978-3-921690-64-2.
- Kunze, W. (2014). *Technology Brewing and Malting*, 5th English Edition. ISBN 978-3-921690-77-2.
- Ledward, D.A. (1979). *Effects of Heating on Foodstuff*. R.J. Prestley, Ed. Applied Science Publishers Ltd, London. 1-34.
- 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 Pacific Section), Sydney, 23, 89-95.
- Lewis, M.J., Bamforth, C.W. (2006). *Essays in Brewing Science*, Springer Science+Business Media, LLC, e-ISBN 978-0387-33011-2.
- McMurrough, I., Delacour, J.A. (1994). Wort polyphenols. *Fermentation*, 7, 175.
- McMurrough, I., Madigan, D., Kelly, R.J., O'Rourke, T. (1999). Haze formation and shelf life prediction for lager beer. *Food Technology*, 53(1), 85-62.
- Mierczynska-Vasilev, A., Smith, P.A. (2015). Current state of knowledge and challenges in wine clarification, *Australian Society of Viticulture and Oenology*, 645-625. doi:10.1111/ajgw.12198.
- Murray, R., Granner, D., Rodwell, V. (2014). *Biochemia Harpera*. Wydawnictwo Lekarskie PZWL, ISBN 978-832-004-55-43.
- Narziß, L. (1992). Die Technologie der Würzebereitung. *Ferdinand Enke Verlag, Stuttgart*, 2, 319-320.
- O'Rourke, T. (1999). Back to basics 10 — wort boiling (part 2), *Brew Guard* 128(9), 38–41.
- Pazera, T., Rzemieniuk, T. (1998). *Przemysł fermentacyjny. Piwowarstwo*. Podręcznik dla szkół średnich, Wydawnictwa Szkolne i Pedagogiczne, Warszawa, ISBN 8302069302.
- Piepiórka-Stepuk J. (2018). Analysis of physical impurities in regenerated solutions used in cleaning brewing systems. *Journal of the Institute of Brewing*. w druku. doi:10.1002/jib.545.
- Piepiórka-Stepuk J., Diakun J., Mierzejewska S. (2016). Poly-optimization of cleaning conditions for pipe systems and plate heat exchangers contaminated with hot milk using the Cleaning In Place method. *Journal of Cleaner Production*, 112, 946-954. doi:10.1016/j.jclepro.2015.09.018.
- Poreda, A., Sterczyńska, M., Jakubowski, M., Zdaniewicz, M. (2014). Klarowanie brzezki piwnej przy użyciu karagenu – aspekty technologiczne i jakościowe. *Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych*, 576, 89–98.
- Priest, F.G., Stewart, G.G. (2006). *Handbook of Brewing*, Second Edition Editorial © by Taylor & Francis Group, LLC. ISBN 978-0-8247-2657-7.
- Saerens, S.M.G., Verbelen, P.J., Vanbeneden, J N., Thevelein, M., Delvaux, F.R. (2008). Monitoring the influence of high-gravity brewing and fermentation temperature on flavour formation by analysis of gene expression levels in brewing yeast. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 80(6), 1039–1051. doi:10.1007/s00253-008-1645-5.
- Sawyer, C.N., McCarty, P.L., Parkin G.F. (2003). *Chemistry for Environmental Engineering and Science* (5th ed.). New York: McGraw-Hill. ISBN 0-07-248066-1.
- Schisler, D.O., Ruocco, J.J., Mabee, M.S. (1982). Wort trub and its effect on fermentation and beer flavour. *Journal of the American Society of Brewing Chemists*, 40, 57-61.
- Siebert, K. J. (2006). Haze formation in beverages. *LWT* 39, 987 – 994.
- Siebert, K.J., Blum, P.H. Wisk, T.J., Stenroos, L.E. Anklam, W.J. (1986). The effect of trub on fermentation. *Technical Quarterly of the Master Brewers Association of the Americas*, 23, 37-43.
- Siebert, K.J., Carrasco, A. Lynn, P.Y. (1996). Formation of protein-polyphenol haze in beverages. *The Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 44, 1997-2005.
- Siebert, K.J., Lynn, P.Y. (1998). Comparison of polyphenol interactions with polyvinylpyrrolidone and haze-active protein. *American Society of Brewing Chemists*, 56, 24-31.

- Siebert, K.J., Lynn, P.Y. (1998). Mechanisms of beer colloidal stabilization. *Journal of the American Society of Brewing Chemists*, 55, 73-78.
- 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).
- Sterczyńska M. (2017). Technologiczne aspekty klarowania brzezki piwnej z uwzględnieniem zmodyfikowanej metody separacji osadów w kadzi wirowej. Rozprawa doktorska, Uniwersytet Rolniczy im. Hugona Kołłątaja w Krakowie.
- Stewart, G.G. (2016). *Encyclopedia of Food and Health, Beer: Raw Materials and Wort Production*, 355-363. eBook ISBN: 9780123849533
- van der Merwe, A.I., Friend, J.F.C. (2002). Water management at a malted barley brewery. *Water SA*, 28(3), 313-318.

Monika Sterczyńska
Politechnika Koszalińska
Katedra Procesów i Urządzeń Przemysłu Spożywczego
ul. Raclawicka 15-17, 75-620 Koszalin,
e-mail: monika.sterczynska@tu.koszalin.pl