

Monika STERCZYŃSKA, Aneta PRZYGUDZKA, Joanna PIEPIÓRKA-STEPUK
Katedra Procesów i Urządzeń Przemysłu Spożywczego
Politechnika Koszalińska

Parametry fizykochemiczne brzeczek piwnych wytworzonych z dodatkiem niesłodowanego jęczmienia i owsa

Streszczenie

Wykorzystanie surowców niesłodowanych w technologii browarniczej związane jest z aspektem ekonomicznym, czyli minimalizacją kosztów produkcji. Przyczynia się to do stosowania tańszego zamiennika słołu jęczmiennego. Z drugiej strony, coraz cenniejsze dla przetwórstwa spożywczego staje się zaspokajanie potrzeb konsumenta nowymi, innowacyjnymi, a zwłaszcza prozdrowotnymi produktami, co w konsekwencji prowadzi do wzrostu konkurencji na rynku. Artykuł prezentuje zagadnienia związane z modyfikacją składu surowcowego w technologii produkcji piwa. Materiałem badawczym były kongresowe brzeczki piwne wytworzone z wykorzystaniem różnego udziału procentowego niesłodowanych ziaren zbóż jęczmienia i owsa. Wyniki badań porównano z wartościami uzyskanymi dla brzeczek słodowych. Oceniono zawartość ekstraktu w stopniach Plato oraz wartości pH zacierów i brzeczek. Analiza wyników wykazała, że udział procentowy surowca niesłodowanego wpływa na obniżenie wartości analizowanych parametrów względem klasycznej receptury piwa.

Słowa kluczowe: brzeczka piwna, jęczmień, owies, ekstrakt, pH

Physicochemical parameters of beer wort made with the addition of unmalted barley and oats

Summary

Use of adjuncts brewing technology is associated with the economic aspect, or minimizing production costs. This contributes to use a cheaper substitute barley malt. On the other hand, more and more valuable for the food processing industry becomes to satisfy consumer needs with new, innovative, and especially pro-health products, which in turn leads to increased competition in the market. The article presents issues associated with modification of the composition of the raw material in manufacturing beer technology. The research material was congress beer wort produced using different percentage of unmalted grain barley and oats. The results were compared with the values obtained for malt worts. Rated extract content and pH value of mashes and worts. Analysis of the results showed that the percentage of raw material adjunct reduces the value of the parameters analyzed in relation to the classic recipe of beer.

Key words: beer wort, barley, oats, extract, pH

Wprowadzenie

Średnie roczne spożycie piwa na jednego mieszkańca w Europie wynosi około 74 l (Hager i in., 2014). Polska staje się z roku na rok kluczowym liderem w produkcji piwa, szczególnie rzemieślniczego (Derwnowska, 2016). Ceny słołu z każdym rokiem wzrastają i przewiduje się ich dalszy wzrost związany z rosnącymi kosztami energii (Steiner i in., 2012). W związku z tym wprowadza się zamienniki, głównie pod postacią zbożowego surowca niesłodowanego (Kunze, 2014). Są one coraz powszechniej stosowane w produkcji piwa (Palmer, 1998; Góral, 2007; Salamon, 2013; Kunze, 2014) i traktowane, jako materiał pomocniczy, będący dodatkowym źródłem węglowodanów i białek (Lloyd, 1986; Hornsey, 2003; Goode i Arendt, 2006). W 85 do 90% światowej produkcji piwa opiera się przede wszystkim na wykorzystaniu produktów przemiału kukurydzy (35%), ryżu (20%), jęczmienia (15%) oraz syropów (20%) i innych dodatków, stosowanych zależnie od browarów i 10% (Kunzmann, 2011; Salomon, 2013).

Główną przyczyną stosowania surowców niesłodowanych jest minimalizacja kosztów produkcji, w wyniku wprowadzenia tańszego surowca. Wraz ze wzrostem konkurencji na rynku, równie ważnym staje się zaspokajanie potrzeb konsumenta nowymi, innowacyjnymi, a zwłaszcza prozdrowotnymi produktami (Palmer, 1998; Góral, 2007; Kunze, 2014). Zamienniki słołu mogą powodować niższą wartość barwy piwa, wzrost lepkości brzeczki i dłuższy czas jej splywu. Różnorodność i rosnący udział surowca niesłodowanego prowadzi do zmian w parametrach fizykochemicznych, w tym zawartości ekstraktu oraz pH zacierów i brzeczek a później piwa (Priest i Stewart, 2006).

Jęczmień jest jednym z najbardziej popularnych zbóż na świecie. Jego światowa produkcja wynosi ponad 170 milionów ton, z czego około 25% stanowi surowiec do wytwarzania słołu browarniczego (Andrews, 2006). Specyficzne typy jęczmienia wykorzystywane są do produkcji różnych gatunków piwa, a każda odmiana nadaje unikalny charakterystyczny smak i aromat (Kunze, 2014).

Innym surowcem browarniczym, który w ostatnich latach wzbudza szerokie zainteresowanie jest owies. Spowodowane jest to jego dużą wartością odżywczą (Kaukovirta-Norja i in., 2004; Hübner i in., 2010; Klose i in., 2011). Samo ziarno odznacza się również wysoką zawartością łuski, co niewątpliwie może ułatwiać filtrację zacieru (Agu i in., 2008). Owies może być bezpiecznie spożywany przez osoby chore na celiakię. W porównaniu z brzezką jęczmienia, brzezka z owsem posiada niższą zawartość ekstraktu i wyższą zawartość białka. Wykazuje również większą lepkość i zmętnienie. Dodanie niesłodowanego owsa podczas produkcji brzezki powoduje znaczne zmiany w parametrach fizykochemicznych brzezki i piwa (Priest i Stewart, 2006). Prowadzone są badania nad jego zastosowaniem w postaci słodu (Klose i in., 2011).

Cel badań

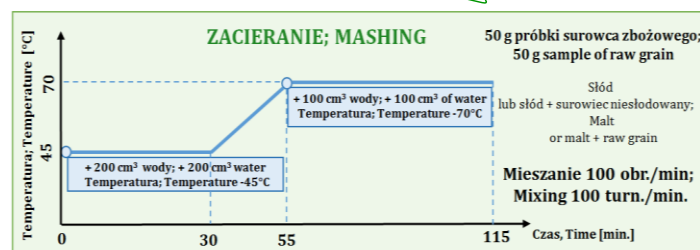
Celem pracy była analiza wpływu różnego udziału procentowego dodatku jęczmienia i owsa, w postaci niesłodowanej, na wybrane parametry fizykochemiczne uzyskanych brzezek nastawnych.

Materiały i metody

Materiałem badawczym były brzezki sporządzone z 5% i 30% dodatkiem jęczmienia i owsa zgodnie z analityką European Brewery Convention (EBC). Za kontrolę przyjęto brzezkię przygotowaną ze 100% słodu jęczmiennego. Brzezki przebadano pod kątem zawartości ekstraktu oraz wartości pH. Oznaczenia wykonano po procesie zacierania, filtracji i oddzieleniu osadu gorącego od brzezki. Badania przeprowadzono w minimum 3 powtórzeniach dla każdego wariantu.

Przygotowanie brzezek kongresowych

Do wstępnej obróbki mechanicznej ziaren, zgodnie z praktyką piwowarską, wykorzystano żeliwny śrutownik ręczny. Po rozdrobnieniu śruta charakteryzowała się małym udziałem mąki a wysokim grysu. Brak było całych bądź uszkodzonych ziaren. Poszczególne zacierania, w laboratoryjnym aparacie zacierającym, przeprowadzono wraz z dodatkiem wody technologicznej pobranej z browaru. Schemat procesu przedstawiono na rysunku 1.



Rys. 1. Schemat etapu zacierania

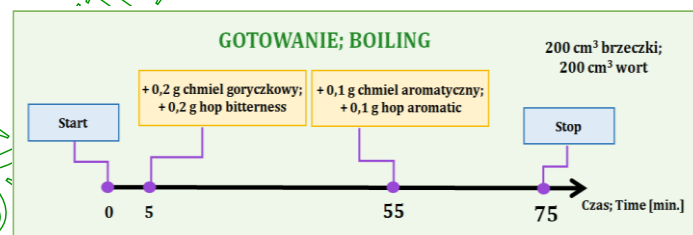
Fig. 1. Scheme stage of mashing

Każdy kubek traktowany był, jako osobny wsad surowcowy (warka). W każdym z nich znajdowało się łącznie 50 g ześrutowanych ziaren, niezależnie od różnorodności surowców (tylko słodu jęczmiennego lub z dodatkiem 5% i 30% surowców niesłodowanych). Podczas pierwszego etapu zacierania metodą kongresową dodano 200 cm³ wody

o temperaturze 45°C. Mieszadło wykonywało 100 obr./min, przez cały proces. Po 30 minutach przerwy, w ciągu kolejnych 25 minut, grzałka w aparacie zacierającym podgrzewała zawartość kubków do temperatury 70°C (z postępowaniem 1°C na minutę). Następnie dodano 100 cm³ wody,

o temperaturze właściwej zacieru. Po upływie 10 minut od dodania wody rozpoczęto oznaczanie czasu scukrzania wytwarzanych zacierów. Aby określić obecność skrobi wykonywano próbę jodową roztworem 0,02M jodu. Szybkość scukrzania szacowano na podstawie obserwacji zaniku granatowego zabarwienia na ceramicznej płytce. Zmiana zabarwienia z granatowego do jasnożółty świadczył o całkowitym scukrzaniu się skrobi. Czas odnotowywano w minutach. Po godzinie zacierania w temperaturze 70°C, proces kończono. Następnie kubki chłodzono do temperatury 20°C i uzupełniano wodą – do masy 450 g. Po pobraniu próbek do analiz, rozpoczynano filtrację zacierów na saczkach karbowanych Whatman 597 ½. Za koniec etapu przyjęto moment uzyskania „suchego” młota.

Brzezkię kongresową w ilości 200 cm³ poddawano procesowi gotowania w czasie 75 minut (rys. 2). Do tego celu wykorzystano chłodnicę zwrotną. Po 5 minutach, od zaobserwowania wrzenia roztworu, dodawano granulaty chmielu gorzkiego (odmiana Junga) w ilości 0,2 g.



Rys. 2. Schemat etapu gotowania

Fig. 2. Scheme stage of boiling

Następnie, na 20 minut przed końcem, dodawano 0,1 g granulatu chmielu aromatycznego (odmiana Lubelski). Łącznie dodawano 0,3 g dodatku chmielu na 200 cm³ brzezki. Po zakończonym etapie próbki chłodzono do temperatury 20°C, a następnie pobierano je do poszczególnych analiz. Osad gorący oddzielono od brzezki poprzez jej odfiltrowanie.

Oznaczanie ekstraktu

Do badania wykorzystano cukromierz BIOWIN ze szkła. Wynik podano w stopniach Plato. Badania prowadzono w temperaturze 20°C.

Oznaczanie pH

Do oznaczenia wykorzystano pH-metr CP-551. Przed każdym pomiarem urządzenie było kalibrowane odpowiednimi buforami. Badania prowadzono w temperaturze 20°C.

Analiza statystyczna

Otrzymane wyniki pogrupowano, wyznaczono wartości średnie oraz odchylenia standardowe. Uzyskane wartości porównano i poddawano interpretacji. Istotność wpływu udziału procentowego surowca niesłodowanego na parametry zmienne takie, jak zmiana stężenia ekstraktu oraz

pH, określono analizą jednoczynnikową i dwuczynnikową ANOVA. Przy czym, istotność różnic między otrzymanymi średnimi, weryfikowano testem Duncana ($p < 0,05$). Obliczenia wykonano przy pomocy programu Statistica 12 firmy StatSoft.

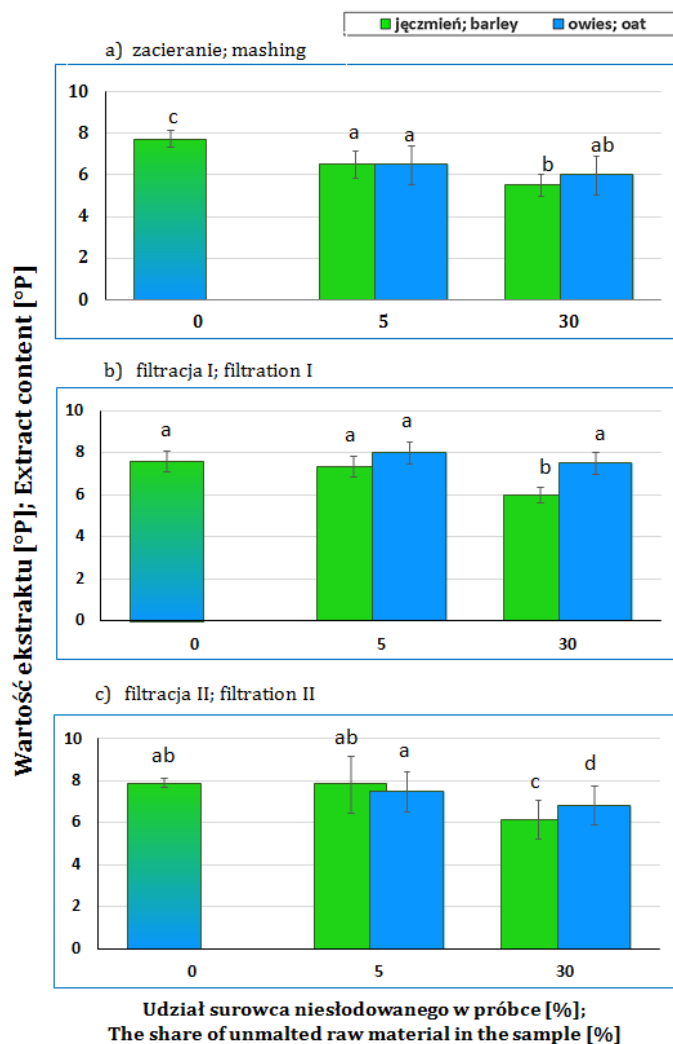
Wyniki i dyskusja

Zaobserwowano, że dodatek surowca niesłodowanego, z różnym udziałem procentowym, wpływa na zmiany ekstraktu i pH zacierów i brzeczek piwnych otrzymywanych w poszczególnych etapach wytwarzania piwa. Zmiany wartości ekstraktu przedstawiono na rysunkach 3 i 4.

Po zacieraniu nastąpił istotny statystycznie spadek wartości ekstraktu w roztworach z niesłodowanymi surowcami względem próby kontrolnej (rys. 3a)

Najwyższy ekstrakt uzyskały zacierzy wyłącznie ze słołu jęczmiennego (7,8°P). Natomiast najniższymi wartościami charakteryzowały się te z udziałem 30% ziaren niesłodowanych, w tym z jęczmieniem 5,5°P.

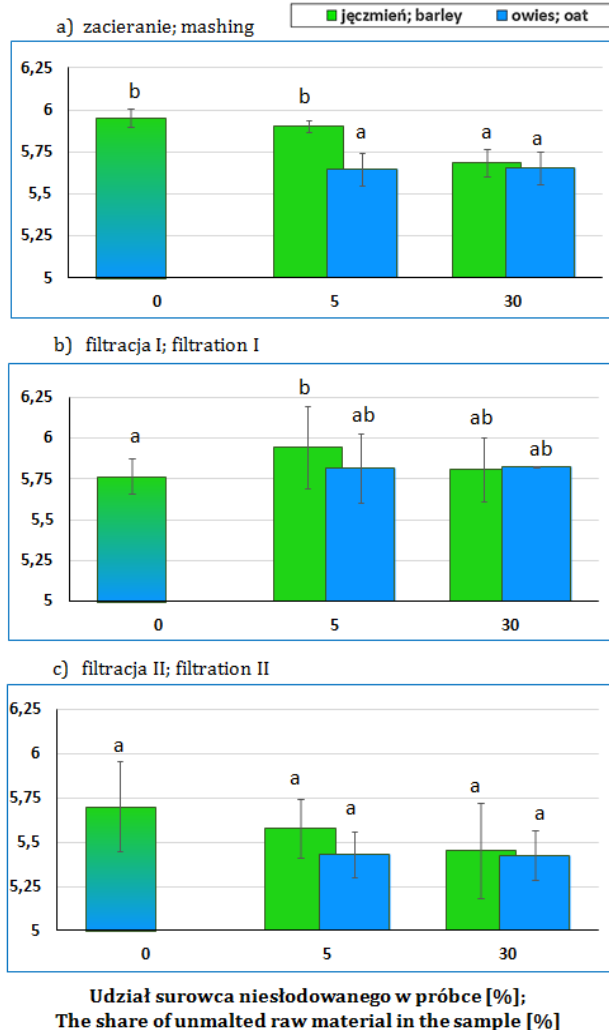
W porównaniu do różnorodności ziaren skrobi jęczmienia to te pochodzące z niesłodowanych ziaren owsa występują pod postacią dużych nieregularnych granulek. W związku, z czym skrobia owsiana może być mniej dostępna dla enzymów (Tang i in., 2001; Schnitzenbaumer i Arendt, 2013).



Rys. 3. Wartość ekstraktu w analizowanych wariantach na poszczególnych etapach wytwarzania bruczki piwnej

Rys. 3. The extract content in the analyzed variants at different stages of production of beer wort

Ekstrakt bruczki piwnej jest jednym z najważniejszych atrybutów jakości słołu (Narziß i Back, 2012) i miarą wydajności warzelní każdego browaru (Zarnkow i in., 2007). Wartość ekstraktu ma zasadnicze znaczenia dla fermentacji i bezpośredni związek z cukrami rozpuszczonymi w roztworze. Przy normalnej amylolitycznej aktywności enzymatycznej podczas zacierania, wartość ta (maksymalny poziom ekstraktu otrzymany przy zacieraniu) oznacza zawartość cukru, a w związku z tym późniejsze stężenie alkoholu w piwie (Zarnkow i in., 2007).



Rys. 4. Wartość pH w analizowanych wariantach na poszczególnych etapach wytwarzania bruczki piwnej

Fig. 4. The pH content in the analyzed variants at different stages of production of beer wort

Przeprowadzenie filtracji uzyskanych zacierów spowodowało spadek (o 0,2°P) wartości ekstraktu w próbce kontrolnej a podwyższenie się w próbkach z surowcami niesłodowanymi w zakresie 0,8-1,5°P (rysunek 3b).

Bruczki nastawne z udziałem słołu jęczmiennego (7,9°P) oraz te z dodatkiem jęczmienia (5%-7,8°P, 30%-6,2°P) charakteryzowały się statystycznie istotnym wyższym ekstraktem niż roztwory po zacieraniu i filtracji (rysunek 3c). Jedyne próbki z udziałem ziarna owsa, po etapie gotowania, uzyskały niższe wartości analizowanego parametru. Wraz

z wzrastającym udziałem procentowym dodatków niesłodowanych nastąpił istotny spadek ekstraktu w brzeczkiach chmielonych po oddzieleniu osadu gorącego. Literatura podaje, że dodatek surowca niesłodowanego, w tym np. jęczmienia, może skutkować spadkiem wartości ekstraktu brzeczki podstawowej (Goode i Arendt, 2003). W niniejszym przypadku udowodniono analogiczny wpływ ziaren owsa na omawiany parametr. Warto zaznaczyć, iż w przypadku 30% udziału owsa (6,8°P) uzyskano ekstrakt wyższy względem próbki z jęczmieniem. Wyniki badań innych autorów sugerowały również spadek ekstraktu w wariantach z dodatkiem niesłodowanego ziarna owsa (22,5 i 45%) nawet o ponad 1°P w porównaniu do brzeczki wyłącznie ze słodu jęczmiennego (Kordialik-Bogacka i in., 2014).

Wartość pH w brzeczce nie jest tylko zależna od zastosowanej wody. Duży wpływ na ten parametr mają wykorzystane do produkcji surowce. W związku, z tym istotne jest kontrolowanie odczynu roztworów na wszystkich etapach produkcji (Stewart i Russell, 1998), a w szczególności podczas zacierania, gotowania i klarowania brzeczki piwnej (Boulton, 2013). Wartość pH brzeczki ma znaczenie dla występowania mechanizmu tworzenia się związków białkowo-garbnikowych. W związku, z czym istotną staje się wiedza na temat zmian pH w wyniku ingerencji w recepturę brzeczki piwnej (Holle i in., 2012).

Zastosowanie surowca niesłodowanego w próbkach, jako zamiennika słodu jęczmiennego, spowodowało niewielkie zróżnicowanie wartości pH względem poszczególnych etapów (rys. 4). W przypadku zacierów przed filtracją, wraz ze wzrostem udziału procentowego wykorzystanych niesłodowanych ziaren, wystąpił istotny statystycznie spadek pH względem próby kontrolnej do 6,0 (rys. 4a). Dla roztworów z owsem otrzymano najniższe wartości analizowanego parametru (5%-5,9 i 30%-5,7).

Filtracja zacierów spowodowała niewielki wzrost pH dla wariantów z surowcami niesłodowanymi (rysunek 4b). W przypadku próbki wyłącznie ze słodu jęczmiennego wartość kwasowości wzrosła do pH 5,8. Oddzielenie osadów gorących istotnie wpłynęło na obniżenie wartości pH względem zacierów, na wszystkich analizowanych etapach (rysunek 4c). Kordialik-Bogacka i in. (2014) w swojej pracy uzyskali wyższe wartości pH brzeczki nastawnych z dodatkiem 22,5 i 45% ziarna owsa. Różnice w wynikach mogą być spowodowane specyfiką odmiany i warunkami uprawy tych zbóż. Ponadto, na podstawie wyników można zaobserwować spadek wartości pH wraz ze wzrostem udziału surowca niesłodowanego w próbce. Dla brzeczki słodowej wartość pH wynosiła 5,7 natomiast w przypadku pozostałych wariantów doświadczenia mieściła się w przedziale 5,6-5,4.

Wnioski

Na podstawie zrealizowanych badań i ich interpretacji sformułowano następujące wnioski:

1. Dodatek owsa (zarówno 5 jak i 30%) przyczynił się do uzyskania wyższej wartości ekstraktu po filtracji zacieru względem innych wariantów.
2. Zastępowanie słodu jęczmiennego surowcem niesłodowanym w zasypie powoduje zmniejszenie ekstraktu oraz

podwyższenie kwasowości zacieru i brzeczki po oddzieleniu osadu gorącego.

3. Dodatek zbożowych surowców niesłodowanych przyczynił się do zmian wartości ekstraktu oraz pH brzeczki przedniej i nastawnej na poszczególnych etapach wytwarzania.

4. Wraz ze wzrostem udziału procentowego zarówno jęczmienia, jak i owsa w próbkach zawartość ekstraktu i pH obniżała się w porównaniu do brzeczki wyłącznie ze słodu jęczmiennego.

Bibliografia

Na podstawie zrealizowanych badań i ich interpretacji sformułowano następujące wnioski:

5. Dodatek owsa (zarówno 5 jak i 30%) przyczynił się do uzyskania wyższej wartości ekstraktu po filtracji zacieru względem innych wariantów

6. Zastępowanie słodu jęczmiennego surowcem niesłodowanym w zasypie powoduje zmniejszenie ekstraktu oraz podwyższenie kwasowości zacieru i brzeczki po oddzieleniu osadu gorącego.

7. Dodatek zbożowych surowców niesłodowanych przyczynił się do zmian wartości ekstraktu oraz pH brzeczki przedniej i nastawnej na poszczególnych etapach wytwarzania.

8. Wraz ze wzrostem udziału procentowego zarówno jęczmienia, jak i owsa w próbkach zawartość ekstraktu i pH obniżała się w porównaniu do brzeczki wyłącznie ze słodu jęczmiennego.

Bibliografia

Agu, R.C., Bringhurst, T.A., Brosnan, J.M. (2008). Performance of husked, acid dehusked and hull-less barley and malt in relation to alcohol production. *Journal of the Institute of Brewing*, 114, 62-69, [doi:10.1002/j.2050-0416.2008.tb00306.x](https://doi.org/10.1002/j.2050-0416.2008.tb00306.x).

Analytica-EBC, (2004). *European Brewing Convention*. Fachverlag Hans Carl, Nürnberg.

Andrews, J.M.H. (2006). *Brewing New technologies*. pod red. Bamforth C.W. Woodhead Publishing Limited. ISBN-13: 978-1-84569-173-8.

Boulton, C. (2013). *Encyclopaedia of brewing*. John Wiley & Sons, Ltd. ISBN 978-1-4051-6744-4.

Drewnowska, B. (2016). Trwa wielki szturm małych browarów. *Rzeczpospolita*, 9 sierpnia, B2-B3.

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.

Goode, D.L. Arendt, E.K. (2003). Effects of addition of exogenous enzymes when mashing with 100% unmalted barley, *Recent Advances in Enzymes in Grain Processing*, ACCO, Leuven, Belgium, 341-346, ISBN 9090166718, 9789090166711.

Góral, C. (2007). *Zastosowanie preparatów enzymatycznych w sytuacji produkcji piwa ze słodów o słabej jakości i/lub używania surowców niesłodowanych*. XII Szkoła Technologii Fermentacji Piwowarstwo polskie w Unii Europejskiej. 21-24 marca, Kliczków.

- Hager, A.S., Taylor, J.P., Waters, D.M., Arendt, E.K. (2014). Gluten free beer – a review. *Trends in Food Science & Technology*, 36, 44-54, [doi:10.1016/j.tifs.2014.01.001](https://doi.org/10.1016/j.tifs.2014.01.001).
- Holle, A.V., Machado, M.D., Soares, E.V. (2012). Flocculation in ale brewing strains of *Saccharomyces cerevisiae*: re-evaluation on the role of cell surface charge and hydrophobicity. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 93(3), 1221-1229, [doi: 10.1007/s00253-011-3502-1](https://doi.org/10.1007/s00253-011-3502-1).
- Hornsey, I.S. (2003), *A History Of Beer And Brewing*. The Royal Society of Chemistry, ISBN 0-85404630-5.
- Hübner, F., O'Neil, T., Cashman, K.D. Arendt, E.K. (2010). The influence of germination conditions on beta-glucan, dietary fibre and phytate during the germination of oats and barley. *European Food Research and Technology*, 231, 27-35, [doi:10.1007/s00217-010-1247-1](https://doi.org/10.1007/s00217-010-1247-1).
- Kaukovirta-Norja, A., Wilhelmson, A., Poutanen, K. (2004). Germination: a means to improve the functionality of oat. *Agricultural and Food Science*, 13, 100-112, [doi:10.2137/1239099041838049](https://doi.org/10.2137/1239099041838049).
- Klose, C., Mauch, A., Wunderlich, S., Thiele, E., Zarnkow, M., Jacob, F., Arendt, E.K. (2011). Brewing with 100% Oat Malt. *Journal of the Institute of Brewing*, 117(3), 411-421, [doi:10.1002/j.2050-0416.2011.tb00487.x](https://doi.org/10.1002/j.2050-0416.2011.tb00487.x).
- Kordialik-Bogacka, E., Bogdan, P., Diowksza, A. (2014). Malted and unmalted oats in brewing. *Journal of the Institute of Brewing*, 120, 390 – 398.
- Kunze, W. (2014). *Technology Brewing and Malting*, 5th English Edition. ISBN: 978-3-921690-77-2.
- Kunzmann, C. (2011). *Brewing with various adjuncts. Brewing Conference Bangkok Time to Go Green – Challenges for the Asia-Pacific Brewing Industry*, 14 – 17 June Bangkok, Thailand.
- Lloyd, W.J.W. (1986). Adjuncts. *Journal of the Institute of Brewing*, 92(4), 336-345, [doi:10.1002/j.2050-0416.1986.tb04420.x](https://doi.org/10.1002/j.2050-0416.1986.tb04420.x).
- Narziß, L., Back, W. (2012). *Die Bierbrauerei: Band 2. Technologie der Würzebereitung*, 8 ed., Wiley-VCH, Weinheim.
- Palmer, G.H. (1998). *Dodatki niesłodowane w piwowarstwie i gorzelnictwie*. Materiały III Szkoły Technologii Fermentacji, Kraków-Zakopane 64-78.
- Priest, F.G., Stewart, G.G. (2006). *Handbook of Brewing*. Second Edition, Taylor&Francis Group, LLC. ISBN 13: 978-0-8247-2657-7.
- Salamon, A. (2013). Zalety i wady stosowania surowców niesłodowanych w aspekcie jakości piwa. *Przemysł Fermentacyjny i Owocowo-Warzywny*, 12, 8-10.
- Schnitzenbaumer, B., Arendt, E.K. (2013). A comparative study of oat (*Avena sativa*) cultivars as brewing adjuncts. *European Food Research and Technology*, 236, 1015 – 1025.
- 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).
- Stewart, G.G., Russell, I. (1998). *Brewer's Yeast: An Introduction to Brewing Science and Technology*. Series III, The Institute of Brewing London, 41-46.
- Tang, H., Ando, H., Watanabe, K., Takeda Y., Mitsunaga, T. (2001). Physicochemical properties and structure of large, medium and small granule starches in fractions of normal barley endosperm. *Carbohydrate Research*, 330, 241 – 248, [doi:10.1016/S0008-6215\(00\)00292-5](https://doi.org/10.1016/S0008-6215(00)00292-5).
- Zarnkow, M., Mauch, A., Back, W., Arendt, E.K., Kreis, S. (2007). Proso millet (*Panicum miliaceum* L.), An evaluation of the micro- structural changes in the endosperm during the malting process by using scanning-electron and confocal laser microscopy. *Journal of the Institute of Brewing*, 113(4), 355-364, [doi:10.1002/j.2050-0416.2007.tb00762.x](https://doi.org/10.1002/j.2050-0416.2007.tb00762.x).

Część badań stanowi zakres rozprawy doktorskiej finansowanej przez Narodowe Centrum Nauki w ramach stypendium doktorskiego, na podstawie decyzji nr DEC-2015/16/T/NZ9/00400.

Monika Sterczyńska

Politechnika Koszalińska

Katedra Procesów i Urządzeń Przemysłu Spożywczego

ul. Raclawicka 15-17, 75-620 Koszalin,

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