

Zanieczyszczenia mikrobiologiczne w produkcji piwa bezalkoholowego – wyzwania związane z bezpieczeństwem i stabilnością produktu

Microbiological contamination in non-alcoholic beer production – challenges to product safety and stability

dr inż. Aneta Pater, mgr inż. Dorota Chrapek

Katedra Technologii Fermentacji i Mikrobiologii, Wydział Technologii Żywności, Uniwersytet Rolniczy w Krakowie

Słowa kluczowe: piwo bezalkoholowe, zanieczyszczenia mikrobiologiczne, stabilność produktu

Keywords: non-alcoholic beer, microbiological contamination, product stability

With the growing popularity of non-alcoholic and low-alcohol beers, the brewing industry is facing new challenges related to the microbiological stability of these beverages. The elimination or reduction of ethanol in NoLo products increases susceptibility to bacterial and yeast contamination, which can lead to reduced sensory quality and shelf life. This article discusses the main microbiological hazards encountered during the production of low-alcohol and non-alcoholic beers, including the presence of lactic acid bacteria, acetic acid bacteria, and wild yeast. Microbiological control strategies such as pasteurization, HACCP systems, and microbiological analysis are also analyzed. Understanding these hazards and effectively implementing preventive measures is crucial to ensuring high quality and safety of beers.

Wraz z rosnącą popularnością piw bezalkoholowych i niskoalkoholowych branża piwowarska staje przed nowymi wyzwaniami związanymi z mikrobiologiczną stabilnością tych napojów. Eliminacja lub redukcja etanolu w produktach NoLo (no-alcohol low-alcohol) zwiększa podatność na zakażenia bakteryjne i drożdżowe, co może prowadzić do obniżenia jakości sensorycznej oraz skrócenia trwałości produktu. W artykule omówiono główne zagrożenia mikrobiologiczne występujące podczas produkcji piw nisko- i bezalkoholowych, w tym obecności bakterii kwasu mlekowego, bakterii kwasu octowego oraz dzikich drożdży. Przeanalizowano również strategie kontroli mikrobiologicznej, takie jak: pasteryzacja, systemy HACCP oraz metody analizy mikrobiologicznej. Zrozumienie tych zagrożeń i skuteczne wdrożenie środków prewencyjnych ma kluczowe znaczenie dla zapewnienia wysokiej jakości i bezpieczeństwa piw bezalkoholowych.

Wprowadzenie

Piwo, będące jednym z najstarszych i najczęściej spożywanych napojów na świecie, przeszło długą drogę od prostego fermentowanego trunku do produktu powstającego w wyniku precyzyjnie kontrolowanych procesów mikrobiologicznych [1]. Postęp technologiczny sprawił, że browarnictwo stało się zaawansowaną dziedziną, w której pożądana aktywność drobnoustrojów jest starannie regulowana, a monokultury drożdży odpowiadają za charakterystyczne profile smakowe i aromatyczne piwa [2]. Jednakże obecność mikroorganizmów w procesie warzenia to nie tylko korzyści – niektóre z nich mogą negatywnie wpływać na jakość produktu, powodując jego psucie. Choć samo piwo jest stosunkowo stabilnym mikrobiologicznie napojem ze względu na obecność etanolu, niskie pH i związki chmielowe, niektóre bakterie i drożdże mogą przetrwać w niesprzyjających warunkach, prowadząc do niepożądanych zmian sensorycznych [3].

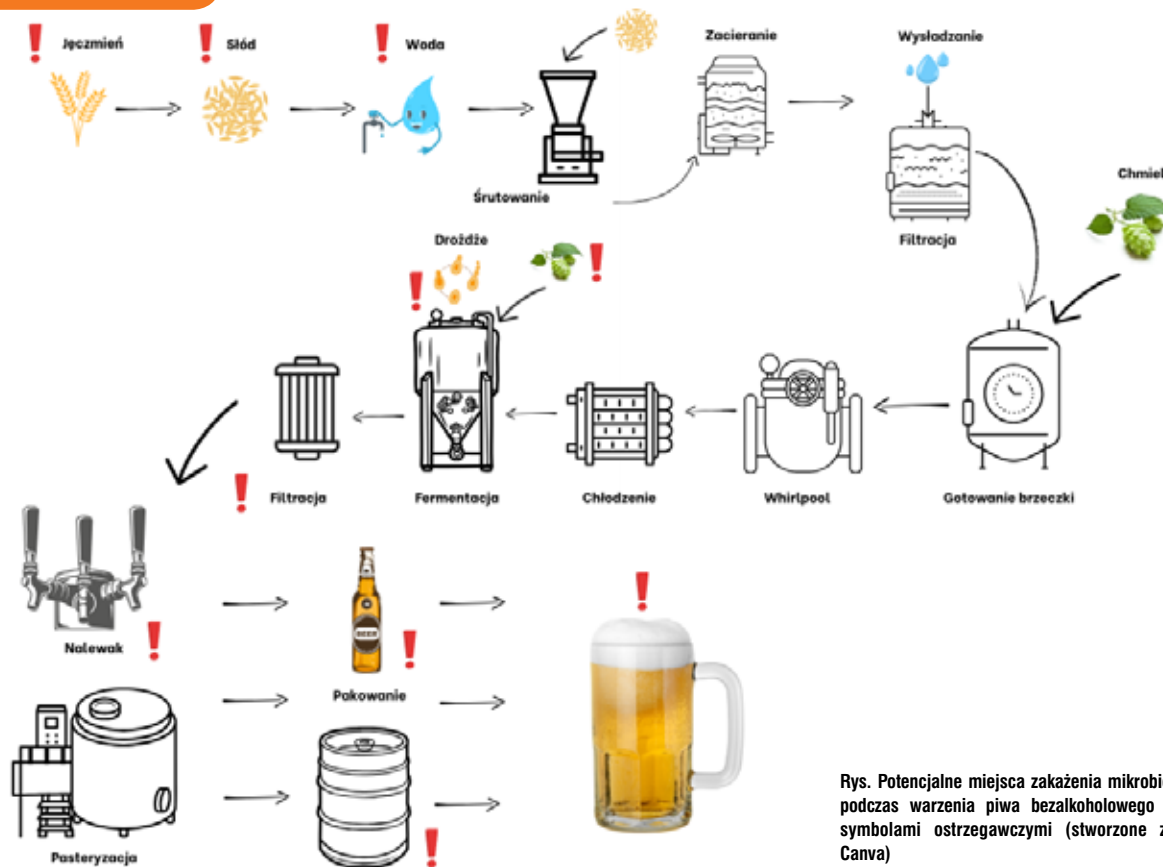
W obliczu rosnącej popularności piw nisko- i bezalkoholowych (NoLo) branża piwowarska staje przed nowymi wyzwaniami związanymi z kontrolą mikrobiologiczną. Proces produkcji tych alternatywnych napojów metodami biologicznymi różni się od tradycyjnego warzenia, co może wpływać na stabilność mikrobiologiczną i podatność na zakażenia. Należy zauważyć, że dokładna definicja piwa bezalkoholowego lub piwa o niskiej zawartości alkoholu (NoLo) nie jest uniwersalna, a wartości definiujące w odniesieniu do zawartości alkoholu różnią się

w Europie, Stanach Zjednoczonych i innych krajach [4]. Na potrzeby tego artykułu zastosowana terminologia będzie odnosić się do norm obowiązujących w Polsce. Piwa bezalkoholowe są oznaczone jako zawierające $\leq 0,5\%$ alkoholu, a piwa o niskiej zawartości alkoholu 0,5-3,5% [5]. **Celem przedstawionego artykułu jest analiza zagrożeń mikrobiologicznych w procesie produkcji piw bezalkoholowych i niskoalkoholowych (NoLo) oraz identyfikacja strategii ich kontroli. Szczególną uwagę poświęcono specyficznym mikroorganizmom odpowiedzialnym za psucie piwa, mechanizmom ich przetrwania w warunkach obniżonej zawartości alkoholu oraz metodom prewencji, takimi jak m.in. pasteryzacja i systemy HACCP.**

Główne zagrożenia mikrobiologiczne podczas produkcji piwa bezalkoholowego

Piwo tradycyjnie uważane jest za produkt bezpieczny, wolny od patogenów. Przede wszystkim za sprawą obecności alkoholu etylowego, niskiego pH, wysokiej koncentracji izoalfakwasów chmielowych, wysokiej zawartości rozpuszczonego dwutlenku węgla, niskiego stężenia rozpuszczonego tlenu oraz niskiej zawartości substancji odżywczych [6]. Już samo wyeliminowanie etanolu w piwach NoLo stwarza warunki sprzyjające przetrwaniu i rozmnażaniu mikroorganizmów, które zazwyczaj nie występują w tradycyjnych piwach. Metody biologiczne stosowane przy produkcji piw NoLo (przerwana fermentacja, zastosowanie drożdży niefermentujących maltozy) sprawiają, że piwa te zawierają więcej cukrów fermentujących w porównaniu z klasycznymi piwami. Cukry te stanowią doskonałą pożywkę dla innych mikroorganizmów. Ograniczona fermentacja piw NoLo wiąże się też z niższym spadkiem pH w porównaniu z klasyczną fermentacją. Zatrzymanie fermentacji przy pH wyższym niż 4,6 – przy braku lub niskiej zawartości alkoholu – może narażać piwo na wzrost *Clostridium botulinum* i potencjalną produkcję toksyn [6]. Do piw NoLo ze względu na zachowanie balansu w smaku piwa (brak solidnej podbudowy słodowej) nie dodaje się tak dużo chmielu po gorącej stronie procesu jak do piw klasycznych, przez co do piwa przechodzi mniej izoalfakwasów, które chroniłyby piwo przed zakażeniami bakteryjnymi. Często piwa NoLo chmieli się podczas fermentacji lub po jej zakończeniu. Chmiel zarówno w postaci szyszek chmielowych, jak i granulatu nie jest produktem sterylnym i wprowadzony po etapie gotowania brzezki może okazać się źródłem zakażeń [7]. W efekcie piwa NoLo są bardziej narażone na ryzyko mikrobiologiczne, co stanowi wyzwanie dla piwowarów i technologów. Ich zadaniem jest zapewnienie, że produkty wprowadzane na rynek będą cechować się wysoką jakością i stabilnością w czasie [8]. Zanieczyszczenia mikrobiologiczne, które mogą prowadzić do psucia piwa, pochodzą z różnych źródeł i mogą przedostać się do napoju na innych etapach jego produkcji (rys.).

Dzieli się je na pierwotne i wtórne. Zanieczyszczenia pierwotne wynikają bezpośrednio z surowców, takich jak: zboża, chmiel czy woda, a także ze sprzętu wykorzystywanego w produkcji [9]. Z kolei zanieczyszczenia wtórne pojawiają się na etapie pakowania – podczas butelkowania, puszkowania lub nalewania do kegow [10].



Rys. Potencjalne miejsca zakażenia mikrobiologicznego podczas warzenia piwa bezalkoholowego zaznaczone symbolami ostrzegawczymi (stworzone za pomocą Canva)

Podczas produkcji piw bezalkoholowych, zwłaszcza metodami biologicznymi, kluczową rolę odgrywa pasteryzacja. Nieodpowiednio przeprowadzony proces pasteryzacji może prowadzić do zakażeń mikrobiologicznych, co znacząco wpływa na stabilność i trwałość produktu [11, 12]. Szczególne ryzyko stanowią bakterie kwasu mlekowego, bakterie kwasu octowego oraz dzikie drożdże, które mogą powodować zmiany sensoryczne, takie jak: niepożądane aromaty, zmętnienie piwa czy zwiększona kwasowość [13]. Dodatkowym wyzwaniem jest kontrola mikrobiologiczna po pasteryzacji. Jeśli proces ten został przeprowadzony przed etapem pakowania, materiał opakowaniowy może stać się źródłem ponownej kontaminacji, co sprawia, że higiena linii produkcyjnej oraz aseptyczność opakowań są niezwykle istotne [14].

Najczęściej spotykane zanieczyszczenia mikrobiologiczne w browarze spowodowane są przez bakterie kwasu mlekowego (LAB) [15]. Wśród nich najbardziej znanymi organizmami powodującymi psucie piwa są *Lactobacillus brevis* oraz *Pediococcus damnosus*. Uznawane są one za niebezpieczne w przemyśle piwowarskim, ponieważ odpowiadają za prawie 70% mikrobiologicznych przypadków psucia się piwa [13]. Bakterie te nabyły odporność na chmiel, co sprawia, że wyróżniają się wśród innych mikroorganizmów Gram-dodatnich [16]. Powodują zmętnienie, maślane zapach i kwasność, głównie z powodu tworzenia kwasu diacetylowego, kwasu mlekowego i pozakomórkowego polisacharydu, które czynią napoje niezdatnymi do picia [13]. Zakażenie piwa bezalkoholowego bakteriami kwasu mlekowego może nastąpić na różnych etapach produkcji, szczególnie tam, gdzie warunki sprzyjają ich rozwojowi. Krytycznym momentem jest proces fermentacji, gdzie ryzyko zakażenia wzrasta zwłaszcza w przypadku piw bezalkoholowych, gdzie klasyczna fermentacja jest ograniczona lub zastąpiona innymi metodami (np. kontrolowane zatrzymanie fermentacji lub użycie specjalnych szczepów drożdży). W takich warunkach bakterie kwasu mlekowego mogą łatwiej konkurować z drożdżami [17].

Z kolei Gram-ujemne bakterie często powiązane z piwem to zarówno organizmy tlenowe, jak i fakultatywnie beztlenowe, w tym bakterie kwasu octowego, gatunki *Zymomonas* oraz niektóre *Enterobacteriaceae*. Piwo zakażone przez bakterie kwasu octowego charakteryzuje się kwaśnym smakiem i octowym aromatem, spowo-

dowanym utlenianiem etanolu do kwasu octowego [18]. Oprócz tworzenia nieprzyjemnego smaku gatunki takie, jak: *Acetobacter aceti*, *Acetobacter liquefaciens*, *Acetobacter pasteurianus*, *Acetobacter hansenii* i *Gluconobacter oxydans*, mogą powodować mętność i szorstkość w piwie lub tworzyć błonki na powierzchni piwa [19]. W środowisku browaru bakterie kwasu octowego są wszechobecne: w hali rozlewniczej, na słodzie, w brzezce i warzelni, a także w kulturach drożdży i piwie. Bakterie te wymagają tlenu do wzrostu, dlatego rzadko stanowią problem w odpowiednio pakowanym piwie, gdzie tlen został skutecznie wyeliminowany. Jednak mogą pojawić się po otwarciu opakowania, gdy nie są zachowane właściwe standardy higieny i kontroli dostępu tlenu [20]. Podsumowując, rozmnażają się one wszędzie tam, gdzie drobne pozostałości piwa z powodu złej higieny mają kontakt z powietrzem w zaworach, kurkach, syfonach, liniach piwnych, pod uszczelkami itd. [21].

Dużym wyzwaniem są również drożdże, które przyczyniają się do psucia piwa. Organizmy te stanowią bardzo zróżnicowaną grupę, która ma potencjał wywołania szeregu szkodliwych skutków dla fermentowanych napojów [22]. Drożdże dzikie są ogólnie definiowane jako te mikroorganizmy, które nie są celowo używane i nie są pod pełną kontrolą [23]. Chociaż gotowanie brzezki zabija większość mikroorganizmów i brzezka jest następnie zaszczepiana drożdżami szlachetnymi, inne rodzaje niepożądanych drożdży mogą dostać się do piwa podczas fermentacji [24]. Drożdże tlenowe, takie jak *Debbaromyces*, *Pichia* i *Williposia*, wytwarzają drożdżowe lub estrowe smaki, które są bardzo niepożądane [25]. Z drugiej strony niektóre rodzaje drożdży, takie jak *Kluyveromyces*, *Torulasporea* i *Zygosaccharomyces*, mogą powodować problemy w fermentacji, konkurując z drożdżami *Saccharomyces*. Ich obecność może wpływać na profil sensoryczny produktu oraz jego stabilność mikrobiologiczną [26]. Drożdże te nie mają zdolności do flokulacji ani nie wchodzi w interakcje z substancjami klarującymi, zazwyczaj przechodzą proces kondycjonowania, gdzie mogą mieć szkodliwy wpływ organoleptyczny na piwa po fermentacji, a także powodować zmętnienia i mętność [25]. Drożdże dzikie *Brettanomyces* mogą produkować kwas octowy, estry owocowe, kwasy tłuszczowe, w tym pośrednio kwas izowalerianowy

oraz związki fenolowe, takie jak 4-etylogwajakol (4-EG), 4-etylofenol (4-EP) i ich prekursorzy 4-winylogwajakol (4-VG) i 4-winylofenol (4-VP) odpowiedzialne są za pojawienie się w piwie aromatów określanych jako medyczne, stajenne, korzenne, goździkowe, dymne [27]. W przypadku piw bezalkoholowych problem dzikich drożdży może być jeszcze bardziej istotny, ponieważ obniżona zawartość alkoholu nie zapewnia naturalnej ochrony antyseptycznej. Niepożądane mikroorganizmy także mogą przyczynić się do powstawania niepożądanych aromatów oraz zmętnienia piwa, co stanowi wyzwanie dla producentów napojów niski- i bezalkoholowych [26].

Strategie kontroli mikrobiologicznej

Produkcja piw bezalkoholowych wiąże się z koniecznością zapewnienia odpowiedniej stabilności mikrobiologicznej, ze względu na brak etanolu i wyższe stężenie cukrów fermentujących, które sprzyjają rozwojowi niepożądanych mikroorganizmów [28]. Pasteryzacja jest kluczowym etapem w tym procesie, jednak jej parametry są zazwyczaj dostosowane do inaktywacji drożdży *Saccharomyces* oraz bakterii powodujących psucie się piwa. Warunki pasteryzacji są określane na podstawie zawartości alkoholu, np. 80-120 jednostek pasteryzacji (PU) (1 PU odpowiada 1 min w 60°C) jest zalecane dla piw bezalkoholowych, podczas gdy 15-20 PU jest używane dla piw alkoholowych [29]. Obecnie brakuje badań dotyczących inaktywacji termicznej drożdży innych niż *Saccharomyces* w produkcji piwa, co może prowadzić do niedostatecznego lub nadmiernego przetworzenia produktu. Dlatego istnieje potrzeba przeprowadzenia badań nad optymalnymi parametrami pasteryzacji ukierunkowanymi na te drożdże, aby zapewnić bezpieczeństwo mikrobiologiczne piw bezalkoholowych bez wpływu na ich jakość sensoryczną [30].

Obecnie w celu zminimalizowania ryzyka zakażenia i zapewnienia wysokiej jakości produktu końcowego, producenci często stosują połączenie pasteryzacji oraz mikrofiltracji [31]. Pasteryzacja skutecznie eliminuje mikroorganizmy, ale może wpływać na smak piwa [32]. Z kolei mikrofiltracja usuwa niechciane mikroorganizmy bez podgrzewania piwa, co minimalizuje ryzyko zmiany lub pogorszenia jego smaku. Połączenie tych metod pozwala na skuteczne zapewnienie stabilności mikrobiologicznej piwa bezalkoholowego przy zachowaniu jego walorów sensorycznych [33].

Monitorowanie jakości mikrobiologicznej

W celu skutecznej kontroli ryzyka mikrobiologicznego w produkcji piwa bezalkoholowego kluczowe znaczenie ma wdrożenie strategii HACCP, tj. Analizy Zagrożeń i Krytycznych Punktów Kontroli. System ten identyfikuje zagrożenia na każdym etapie – od surowców po przetworzenie i dystrybucję. Monitorowanie krytycznych punktów kontrolnych pozwala na skuteczne ograniczanie ryzyka i zapewnienie bezpieczeństwa gotowego produktu [34, 35]. Plan kontroli wewnętrznej powinien być odpowiednio zaprojektowany na potrzeby operacji. Powinien obejmować kontrolę wszystkich dostaw surowców i materiałów opakowaniowych, kontrolę parametrów procesu, skuteczności zabiegów mycia i dezynfekcji maszyn i urządzeń, monitorowanie stanu zdrowia pracowników i ich higieny [36]. W browarze powinno się przeprowadzać testy mikrobiologiczne na zanieczyszczenia, takie jak bakterie i dzikie drożdże badając surowce, dodatki, materiały opakowaniowe mające bezpośredni kontakt z piwem. Stosując pasteryzację przepływową szczegółowej kontroli należy poddać linię rozlewniczą, opracowując skuteczny system dezynfekcji całej linii od pasteryzatora do zamknięcia piwa w opakowaniu. Należy zwrócić uwagę na czystość mikrobiologiczną wody przeznaczoną do płukania, wydajny system wentylacji zapobiegający zakażeniom z otoczenia oraz regularnie szkolić personel obsługujący rozlew [37]. Kluczowe dla zapewnienia bezpieczeństwa produktu jest sprawdzanie parametrów procesu fermentacji. W szczególności należy zwrócić uwagę na pomiary pH piwa. Jeśli pH jest wyższe niż 4,6 wówczas należy go obniżyć, aby zapobiec rozwojowi bakterii, zwłaszcza chorobotwórczej *C. botulinum* [27].

Większość przypadków psucia się piwa bakteriami kwasu octowego jest związane z występowaniem tlenu, dlatego kluczem do zapobiegania

jest ograniczenie wnikania tlenu w jak największym stopniu i stosowanie dobrych reżimów higienicznych. Przy stosowaniu ograniczonej fermentacji piw NoLo zapotrzebowanie drożdży na tlen jest ograniczone, dlatego należy odpowiednio dobrać stopień napowietrzania brzeczki, aby mieć pewność, że drożdże zużyły cały wprowadzony tlen [20]. Należy zachować dodatkową ostrożność podczas butelkowania w browarze i czyszczenia linii piwa, kranów i systemów dozowania w pubach [38].

Podsumowanie

Produkcja piw bezalkoholowych i niskoalkoholowych wiąże się z licznymi wyzwaniami mikrobiologicznymi, wynikającymi z braku alkoholu jako naturalnego konserwantu. Piwa te są szczególnie podatne na zakażenia bakteriami kwasu mlekowego (*Lactobacillus*, *Pediococcus*), bakteriami Gram-ujemnymi (*Acetobacter aceti*, *Zymomonas*) oraz dzikimi drożdżami, które mogą negatywnie wpływać na smak, zapach i stabilność produktu. Zapewnienie wysokiej czystości mikrobiologicznej w całym procesie produkcji jest kluczowe dla trwałości piwa bezalkoholowego. Sterylność urządzeń, jakość wody oraz odpowiednia higiena podczas pakowania mają istotny wpływ na ograniczenie ryzyka kontaminacji. W celu eliminacji drobnoustrojów producenci stosują metody konserwacji, takie jak pasteryzacja i mikrofiltracja, jednak muszą one być odpowiednio dobrane, by nie pogorszyć walorów sensorycznych piwa.

Dodatkowo stabilność mikrobiologiczna piwa bezalkoholowego wymaga kontroli na etapie przechowywania i dystrybucji. Odpowiednie warunki, takie jak temperatura i wilgotność, wpływają na trwałość produktu. Regularne kontrole laboratoryjne surowców oraz gotowego piwa są niezbędne do wykrywania ewentualnych zanieczyszczeń i zapewnienia bezpieczeństwa konsumentów. Skuteczna kontrola mikrobiologiczna stanowi fundament wysokiej jakości, trwałości i bezpieczeństwa zdrowotnego piwa bezalkoholowego.

Literatura

- [1] Roselli G. E., Kerruish D. W. M., Crow M., Smart K. A., Powell C. D. 2024. The two faces of microorganisms in traditional brewing and the implications for no- and low-alcohol beers. *Frontiers in Microbiology* 15:1-16.
- [2] Suzuki K. 2011. 125th Anniversary Review: Microbiological Instability of Beer Caused by Spoilage Bacteria. *Journal of the Institute of Brewing* 117(2); 131-155.
- [3] Suzuki, K., Iijima, K., Sakamoto, K., Sami, M., Yamashita, H. 2006. A review of hop resistance in beer spoilage lactic acid bacteria. *Journal of the Institute of Brewing* 112: 173-191.
- [4] Quain, D. E. 2021. The enhanced susceptibility of alcohol-free and low alcohol beers to microbiological spoilage: implications for draught dispense. *Journal of the Institute of Brewing* 127; 406-416.
- [5] ROZPORZĄDZENIE PARLAMENTU EUROPEJSKIEGO I RADY (UE) NR 1169/2011 z dnia 25 października 2011 r. w sprawie przekazywania konsumentom informacji na temat żywności, zmiany rozporządzeń Parlamentu Europejskiego i Rady (WE) nr 1924/2006 i (WE) nr 1925/2006 oraz uchynienia dyrektywy Komisji 87/250/EWG, dyrektywy Rady 90/496/EWG, dyrektywy Komisji 1999/10/WE, dyrektywy 2000/13/WE Parlamentu Europejskiego i Rady, dyrektywy Komisji 2002/67/WE i 2008/5/WE oraz rozporządzenia Komisji (WE) nr 608/2004.
- [6] Čobo M., Charles-Vegdahl A., Kirkpatrick K., Worobo R. 2023. Survival of Foodborne Pathogens in Low and Nonalcoholic Craft Beer. *Journal of Food Protection* 86(12), 100183.
- [7] Hill L. E., Quinn E., Takacs P. I. 2018. The microbiological impact of dry hopping beers with pelletized and whole-cone Cascade hops. *Brewing Summit* 2018.
- [8] Zendeboodi F., Jannat B., Sohrabvandi S., Khanniri E., Mortazavian A. M., Khosravi K., Gholian M. M., Sarmadi B., Javadi N. H. S. J. 2021. Detection of non-alcoholic beer spoilage microorganisms at critical points of production by polymerase chain reaction. *Biointerface Research in Applied Chemistry* 11(2) 9658-9668.
- [9] Vaughan A., O'Sullivan T., Sinderen D. 2005. Enhancing the microbiological stability of malt and beer - a review. *Journal of the Institute of Brewing* 111; 355-371.

- [10] Obi C.N. 2017. Brewery Contaminants, Challenges and Remedies – A Review. *Nigerian Journal of Microbiology* 31(1): 3926-3940.
- [11] Greifenstein M.; White D.W., Stubner A., Hout J. Whelton A.J. 2013. Impact of temperature and storage duration on the chemical and odor quality of military packaged water in polyethylene terephthalate bottles. *Science of The Total Environment* 456-457, 376-383.
- [12] Bellut K., Michel M., Zarnkow M., Hutzler M., Jacob F., Atzler J.J., Hoehnel A., Lynch K.M., Arendt E.K. 2019. Screening and Application of *Cyberindera* Yeasts to Produce a Fruity, Non-Alcoholic Beer. *Fermentation* 5(4), 103.
- [13] Bevilacqua A., Corbo M., Sinigaglia M. 2016 Antonio Bevilacqua. 1st Ed. Maria Rosaria Corbo and Milena Sinigaglia; Foggia, Italy. *The Microbiological Quality of Food: Foodborne Spoilers* 247–248
- [14] Flouros A., Apostolopoulou A., Demertzis P., Akrida-Demertzi K. 2003. Influence of the packaging material on the major volatile compounds of tsipouro, a traditional Greek distillate. *Food science and technology international* 9, 371-378.
- [15] Bergsveinson J., Ziola B. 2017. "Investigation of beer spoilage lactic acid Bacteria using Omic approaches" in Ed Bokulich, N.A, Bamforth, C.W. *Brewing microbiology: Current research, omics and microbial ecology* Norfolk, UK: Caister Academic Press 245–288.
- [16] Suzuki K., Sami M., Ozaki K., Yamashita H. 2005b. Comparative study of two plasmids, Prh45 and Prh20690, isolated from beer-spoilage *Lactobacillus Brevis* Abbc45 and *L. lindneri* Dsm20690 T. *Journal of the American Society of Brewing Chemists* 63, 11–16.
- [17] Pilarski D., Gerogiorgis D. 2020. Progress and modelling of cold contact fermentation for alcohol-free production: A review. *Journal of Food Engineering* 273, 109804.
- [18] Magnus C. A., Ingledew M. W., Casey G. 1986. High-gravity brewing: influence of high-ethanol beer on the viability of contaminating brewery bacteria. *Journal of the American Society of Brewing Chemists* 44; 158–161.
- [19] Paradh A. D. 2015. "Gram-negative spoilage bacteria in brewing," in *Brewing Microbiology Managing Microbes, Ensuring Quality and Valorising Waste*. ed. A. E. Hill (Sawston: Woodhead Publishing), 175–194.
- [20] Ziola B., Bergsveinson J. 2017. "Brewery- and beer spoilage-related Gram- negative Bacteria: the unpleasant the malodorous and the outright fetid" in Ed Bokulich, N.A, Bamforth, C.W. *Brewing microbiology: Current research, omics and microbial ecology* (Norfolk, UK: Caister Academic Press), 275–288.
- [21] Back, W. 2005. Brewery. In: *Colour Atlas and Handbook of Beverage Biology*. W. Back, Ed. Verlag Hans Carl W. 10-112.
- [22] Suiker I, M., Wosten H. AB. 2022. Spoilage yeasts in beer and beer products. *Current Opinion in Food Science* 44, 100815.
- [23] Gilliland R. B. 1967. Wild yeast spoilage. *Brewery Guardian*. 96:37-45.
- [24] Deák T. 2008. *Handbook of Food Spoilage Yeasts*, 2nd edition. CRC Press. Taylor and Francis Group. Pp. 152-158.
- [25] Priest F. G., Stewart G. G. 2006. Microbiology and Microbiological Control in the Brewery.16. 607-626. In: *Handbook of Brewing*. CRC Press Taylor and Francis Group,16: 607-626.
- [26] Müller M., Kötzt J. 2016. Fermentation and spoilage yeasts in food and beverages. *Fungal Diversity*, 79(1), 1-13.
- [27] Steensels J., Daenen L., Malcorps P., Derdelinckx G., Verachtert H., Verstrepen K.J., 2015. *Brettanomyces* yeasts - From spoilage organisms to valuable contributors to industrial fermentations. *International Journal of Food Microbiology* 3(206);24-38.
- [28] Bellut K., Arendt E. K. 2019. Chance and challenge: non-saccharomyces yeasts in nonalcoholic and low alcohol beer brewing – a review. *Journal of the American Society of Brewing Chemists* 77; 77-91.
- [29] Rachon G., Rice C. J., Pawlowsky K., Raleigh C.P. 2018. Challenging the assumptions around the pasteurization requirements of beer spoilage bacteria. *Journal of the American Society of Brewing* 124; 443-449.
- [30] Milani E.A., Gardner R.C., Silva F.V.M. 2015. Thermal resistance of *Saccharomyces* yeast ascospores in beers. *International Journal of Food Microbiology* 206;75-80.
- [31] Liu, C., Shen, Y., Yin, X., Peng, L., & Li, Q. 2014. Influence of Pasteurization and Microfiltration on Beer Aging and Anti-Aging Levels. *Journal of the American Society of Brewing Chemists*, 72(4), 285–295.
- [32] Dos Santos Bernardi G., Dal Magro J., Mazutti M.A., Oliveira J.V., Di Luccio M., Zabot G.L., Tres M.V. 2019. Microfiltration for filtration and pasteurization of beers Engineering Tools in the Beverage Industry, *Elsevier* 405-434
- [33] Suzuki, K. 2020. Emergence of New Spoilage Microorganisms in the Brewing Industry and Development of Microbiological Quality Control Methods to Cope with This Phenomenon: A Review. *Journal of the American Society of Brewing Chemists*, 78(4), 245–259.
- [34] Khaniki, G.R.J., Mahdavi M., Mohebbi M.R. 2009. HACCP application for treatment of drinking water for Germi in Iran. *Journal of food, agriculture & environment* 7, 709-712.
- [35] Dzwolak, W. 2019. Assessment of HACCP plans in standardized food safety management systems – the case of small-sized Polish food businesses. *Food Control* 106, 106716.
- [36] Bryan, F.L. 1988. Risks of practices, procedures and processes that lead to outbreaks of foodborne diseases. *Journal of food protection* 51, 663-673.
- [37] S.A. Kim, N.H. Kim, S.H. Lee, I.G. Hwang, M.S. Rhee 2014. Survival of food-borne pathogenic bacteria (*Bacillus cereus*, *Escherichia coli* O157:H7, *Salmonella enterica* serovar *Typhimurium*, *Staphylococcus aureus*, and *Listeria monocytogenes*) and *Bacillus cereus* spores in fermented alcoholic beverages (beer and refined rice wine). *Journal of Food Protection* 77(3): 419-426.
- [38] Vriesekoop F., Krahl M., Hucker B., Menz G. 2012. 125th anniversary review: Bacteria in brewing: the good, the bad and the ugly. *Journal of the Institute of Brewing* 118, 335–345.



Znajdź nas na FB oraz na Stronie Internetowej
www.pfiow.pl

@PrzemyslFermentacyjnyIOWocowoWarzywny

Prenumerata
www.sigma-not.pl, prenumerata@sigma-not.pl