

LUBOMIRA BRONIARZ-PRESS, JACEK RÓŻAŃSKI, SYLWIA RÓŻAŃSKA,
JOANNA KMIECIK

WŁAŚCIWOŚCI REOLOGICZNE WARSTWY POWIERZCHNIOWEJ CIECZY WYBRANYCH PIW KOMERCYJNYCH

Streszczenie

W pracy przedstawiono wyniki badań reologicznych warstw powierzchniowych piw: Dębowe Mocne, Tyskie Gronie, Żywiec oraz Warka Strong w przepływie oscylacyjnym. Uzyskane zależności międzyfazowego modułu zachowawczego G_s' i międzyfazowego modułu stratności G_s'' w funkcji czasu miały przebieg charakterystyczny dla rozcieńczonych wodnych roztworów białek. We wszystkich użytych w badaniach piwach wartości obu modułów wzrastały, a po pewnym charakterystycznym dla danego rodzaju piwa czasie dochodziło do ich przecięcia na wykresie. Wyniki pomiarów oscylacyjnych świadczą o tym, że w warstwach powierzchniowych piw dochodziło do uformowania się struktury sieciowej. Bardzo długi czas formowania się tej struktury jest dowodem, że w jej tworzeniu ważną rolę odgrywały zawarte w piwach białka. Zaobserwowano także, że najbardziej stabilna piana występowała na powierzchni piwa Żywiec. Zmierzone wartości międzyfazowych modułów G_s' i G_s'' tego piwa były najwyższe. Wyniki te wskazują, że istnieje związek między właściwościami reologicznymi warstwy powierzchniowej piwa a stabilnością piany.

Słowa kluczowe: piwo, właściwości reologiczne, powierzchnia międzyfazowa, warstwa powierzchniowa, piana

Wprowadzenie

Wśród cech sensorycznych piwa bardzo ważne znaczenie dla konsumentów ma, poza smakiem i zapachem, również wygląd. Cechę tę kształtują przede wszystkim trwałość i stabilność piany na powierzchni napoju, związane w pewnym stopniu z właściwościami reologicznymi cieczy, z której zbudowane zostały ścianki pęcherzyków. Wzrost lepkości błonek spowalnia proces opadania piany.

Zarówno surowce wykorzystywane do produkcji piwa, jak i stosowana technologia, wpływają na stabilność piany w piwie. Największe znaczenie ma sład, ponieważ zawiera wiele związków, które decydują o pienistości piwa, m.in. białka, polifenole, melanoidy, węglowodany oraz oddziałujące niekorzystnie lipidy [11]. Na jakość sładu w znacznym stopniu wpływa jakość stosowanego ziarna jęczmienia, a także proces słodowania. Odpowiednie parametry fizykochemiczne sładu zależą przede wszystkim od odmiany jęczmienia browarnego [22].

Piana w piwie jest stabilizowana głównie przez polipeptydy, które powstają podczas rozkładu białek ziarna jęczmienia w trakcie procesu słodowania oraz podczas procesu produkcji piwa. Zagadnienie związane z rodzajem polipeptydów, które w największym stopniu wpływają na stabilność piany, jest do tej pory tematem spornym [11]. Niektórzy uważają [23], że najważniejszą rolę odgrywają polipeptydy hydrofobowe. Według innych autorów zasadniczą rolę pełnią związki azotowe (białko Z czy LTP1) [8]. Zdaniem Bamfortha [1] oraz Bamfortha i Milani [2] istotna jest proporcja między polipeptydami, które są produktami rozkładu dwóch odrębnych grup białek: albumin i hordein. Do albumin należą białka typu Z oraz LTP1. Białka typu Z to suma białek Z4 oraz Z7. Białka te występują oddzielnie, ale pochodzą z tej samej rodziny. W ziarnie jęczmienia i w sładzie dominuje białko Z4 (około 80 % białka typu Z), stąd najbardziej powszechnym rodzajem białka występującym w piwie jest typ Z. Najprawdopodobniej to właśnie ten typ białka przyczynia się w największym stopniu do modyfikacji właściwości powierzchniowych piwa i stabilności jego piany [3, 8].

Dodatkowo na stabilność piany znaczny wpływ mają związki zawarte w chmielu, przede wszystkim kwasy goryczkowe, zwłaszcza izo- α -kwasy. Wzmocnienie piany następuje poprzez reakcję tych związków z polipeptydami. Im większa ilość zastosowanego chmielu czy produktu chmielowego przeliczonego na zawartość α -kwasów, tym trwałość piany produkowanego piwa jest większa [11, 16]. Ponadto, istotne są również surowce niesłodowane dodawane do piwa, m.in. ziarno pszenicy, ryżu, owsa czy kukurydzy oraz szczepy drożdży. Stosowana woda nieznacznie wpływa na stabilność piany, jednak wnosi ona do piwa jony metali, które są w pewnym stopniu odpowiedzialne za wzmocnienie wiązań pomiędzy polipeptydami i kwasami goryczkowymi [11].

Kordialik-Bogacka i Antczak [12] podjęły próbę analizy wpływu polipeptydów, polifenoli i β -glukanów na stabilność piany. Autorki nie uzyskały jednoznacznej odpowiedzi, który z tych składników może stabilizować pianę na powierzchni piwa. Czynniki fizykochemiczne odpowiadające za tworzenie i stabilność piany w piwie nie są więc do końca poznane. W przypadku piany powstającej na powierzchni międzyfazowej największy problem sprawia nietrwałość układu, przez co jego właściwości reologicznych nie da się zmierzyć. Z tego powodu analiza jest ograniczona do obserwacji układu dynamicznego. Można jednak założyć, że stężenie substancji determinu-

jącej powstanie piany w błonkach pęcherzyków i na powierzchni międzyfazowej są zbliżone, dlatego do analizy czynników wpływających na jej stabilność wykorzystywane są właściwości reologiczne warstw tuż przy powierzchni międzyfazowej gaz-ciecz.

W literaturze przedmiotu znajdują się informacje dotyczące właściwości reologicznych warstw powierzchniowych kaw rozpuszczalnych, w których pianka powstająca podczas parzenia odgrywa istotną rolę ze względu na walory smakowe [19]. Kilka prac poświęcono właściwościom reologicznym powierzchni międzyfazowej roztworów białek [5, 13, 15]. Z przedstawionych w nich danych wynika, że nawet niewielka ilość białek w roztworze prowadzi do znacznych zmian zachowania się powierzchni międzyfazowej w przepływie ścinającym.

Celem pracy było porównanie właściwości reologicznych ciekłych warstw powierzchniowych czterech wybranych piw komercyjnych produkowanych przez Kompanię Piwowarską S.A. (Dębowe Mocne, Tyskie Gronie) oraz Grupę Żywiec S.A. (Żywiec, Warka Strong Dwusłodowy).

Material i metody badań

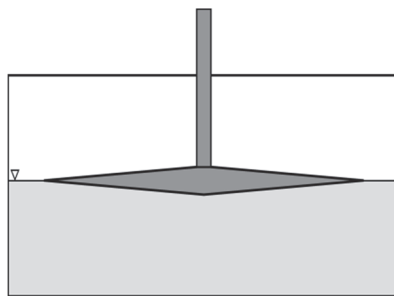
W przypadku badań reologicznych powierzchni międzyfazowej najczęściej wykonywane są pomiary oscylacyjne [21]. Ich zaletą jest jednoczesna możliwość pomiaru właściwości lepkich i sprężystych płynu na granicy faz [7]. Dodatkowo podczas tego typu pomiarów powierzchnia międzyfazowa podlega jedynie nieznacznym zakłóceniom. W przypadku przepływu ścinającego zależność opisująca odkształcenie oscylacyjne powierzchni międzyfazowej przybiera postać [15]:

$$G_s^* = G_s' + iG_s'' \quad (1)$$

gdzie: G_s^* – międzyfazowy moduł zespolony, G_s' – międzyfazowy moduł zachowawczy i G_s'' – międzyfazowy moduł stratności. Ze względu na to, że odkształcenie powierzchni międzyfazowej odbywa się w dwóch wymiarach, jednostką modułów występujących w równaniu (1) jest Pa·m.

Badania reologiczne powierzchni międzyfazowej prowadzono przy użyciu przystawki Interfacial Rheology System (IRS), przedstawionej schematycznie na rys. 1., współpracującej z reometrem rotacyjnym Physica MCR 501 firmy Anton Paar (Graz, Austria). Pomiar właściwości reologicznych powierzchni międzyfazowej przy użyciu przystawki IRS odbywał się bezpośrednio za pomocą zaostrej krawędzi podwójnego stożka ustawionego na powierzchni międzyfazowej. Stożkowy kształt górnej i dolnej powierzchni elementu pomiarowego umożliwiał korygowanie wpływu lepkości dynamicznej na wyniki pomiarowe. Górna część stożka jest wykorzystywana jedynie w przypadku pomiarów prowadzonych na granicy faz ciecz-ciecz. Badania reologiczne

warstwy powierzchniowej piw prowadzono w przepływie oscylacyjnym. Rejestrowano zmiany międzyfazowego modułu zachowawczego i stratności w funkcji czasu, amplitudy odkształcenia i prędkości kątowej. Pomiar międzyfazowego modułu zachowawczego i stratności w funkcji prędkości kątowej ($\omega \in \langle 0,06 ; 40 \rangle$ rad/s) prowadzono w zakresie lepkości liniowej przy amplitudzie odkształcenia $e_0 = 1\%$. Zakres lepkości liniowej ustalono na podstawie testu, w którym rejestrowano zmianę modułów G_s' i G_s'' przy stałej częstotliwości wynoszącej 1 Hz i zmiennej amplitudzie odkształcenia e_0 . Pomiar modułów G_s' i G_s'' w funkcji czasu prowadzono przy częstotliwości $f = 1$ Hz i amplitudzie odkształcenia $e_0 = 1\%$. Lepkość dynamiczną wyznaczano przy użyciu układu współosiowych cylindrów z podwójną szczeliną dla piętnastu różnych wartości szybkości ścinania w zakresie jej zmienności od 1 s^{-1} do 1000 s^{-1} . Punkty doświadczalne rejestrowano dla każdej wartości $\dot{\gamma}$ przez 600 s z częstotliwością 60 s. Do pomiaru równowagowego napięcia powierzchniowego płynu zastosowano tensjometr K9 produkcji Krüss GmbH (Hamburg, Niemcy). W pomiarach zastosowano metodę pierścieniową.



Rys. 1. Schemat układu IRS.

Fig. 1. Schematic diagram of IRS system.

Badaniom poddano piwa: Dębowe Mocne, Tyskie Gronie, Żywiec oraz Warka Strong zakupione w sieci handlu detalicznego na terenie Poznania w 2013 roku. Piwa odgazowywano w sposób mechaniczny przez 20-minutowe przelewanie w zlewkach [20]. Następnie przez 12 h, tj. do czasu rozpoczęcia pomiarów, przetrzymywano je w chłodziarce. Tuż przed badaniem piwa doprowadzano do temp. $20\text{ }^{\circ}\text{C}$, w której prowadzono pomiary.

Aby określić stabilność piany powstającej na powierzchni piw przeprowadzono eksperyment, w którym analizowano wygląd zewnętrzny powierzchni międzyfazowej. W tym celu stworzono stanowisko pomiarowe składające się ze styropianowego panelu z czterema otworami o średnicy butelek, w których znajdowały się badane piwa w porcjach o objętości 300 ml. Panel przymocowano do dwóch ruchomych desek, za

pomocą których można było dokonywać równomiernego pochylenia czterech butelek. Piwo wypływało z butelek do zlewek. Pianę fotografowano w różnych odstępach czasu.

Wyniki i dyskusja

W celu skorygowania wyników pomiarów uzyskanych za pomocą przystawki IRS zmierzono lepkość dynamiczną badanych piw. Wykazano, że jej wartość nie zależała od szybkości ścinania i była stała w zastosowanym przedziale czasu ścinania (600 s). Taki przebieg krzywej lepkości wskazuje, że piwa są płynami newtonowskimi [10]. Piwa o większej zawartości ekstraktu i alkoholu (Dębowe Mocne i Warka Strong) charakteryzowały się większą lepkością (tab. 1).

Tabela 1. Lepkość dynamiczna, zawartość ekstraktu i alkoholu w badanych piwach.

Table 1. Dynamic viscosity, contents of extract and alcohol in commercial beers tested.

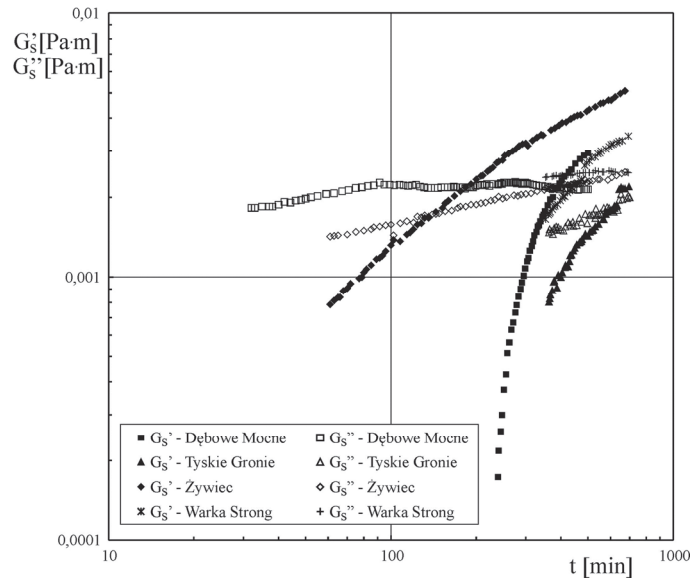
Gatunek piwa Beer styles	Lepkość dynamiczna Dynamic viscosity [mPa·s]	Zawartość ekstraktu Content of extract [° Blg]	Zawartość alkoholu Content of alcohol [% v/v]
Dębowe Mocne	1,696	14,5	7
Tyskie Gronie	1,543	11,7	5,6
Żywiec	1,487	12,5	5,6
Warka Strong	1,575	13,8	6,5

Na rys. 2. przedstawiono zależność międzyfazowego modułu zachowawczego G_s' i międzyfazowego modułu stratności G_s'' badanych piw w funkcji czasu. Badania przeprowadzono przy zadanej częstotliwości oscylacji 1 Hz i amplitudzie odkształcenia wynoszącej 1 %.

Wartości modułów G_s'' były zdecydowanie wyższe niż G_s' na początku pomiarów, co świadczy o przewadze właściwości lepkich nad sprężystymi na powierzchni międzyfazowej. Z upływem czasu właściwości te ulegały zmianie i wyższy niż G_s'' był moduł G_s' , co wskazuje na przewagę właściwości sprężystych nad lepkiemi. O ile jakościowy przebieg omawianej zależności w odniesieniu do wszystkich piw był podobny, to wystąpiły między nimi różnice ilościowe. W przypadku piwa Żywiec zależności G_s' i G_s'' przecięły się już w 142. min pomiaru, a w przypadku piwa Tyskie Gronie punkt przecięcia krzywych wystąpił najpóźniej, tj. w 606. min pomiaru). Ponadto wyniki pomiarów piwa Tyskie Gronie charakteryzowały się dużym rozrzutem.

Różnice ilościowe w zmierzonych wartościach międzyfazowych modułów G_s' i G_s'' wynikają z różnic w składzie użytych w badaniach piw. Skład ten nie jest znany, dlatego nie jest możliwe wyjaśnienie zaobserwowanych zmian. Uzyskane wyniki

wskazują jednak, że piwo, które jest płynem newtonowskim, charakteryzuje się powierzchnią międzyfazową o właściwościach lepkosprężystych.



Rys. 2. Zależność G_s' i G_s'' badanych piw w funkcji czasu t .

Fig. 2. Correlation between G_s' and G_s'' in tested beers as a t function of time.

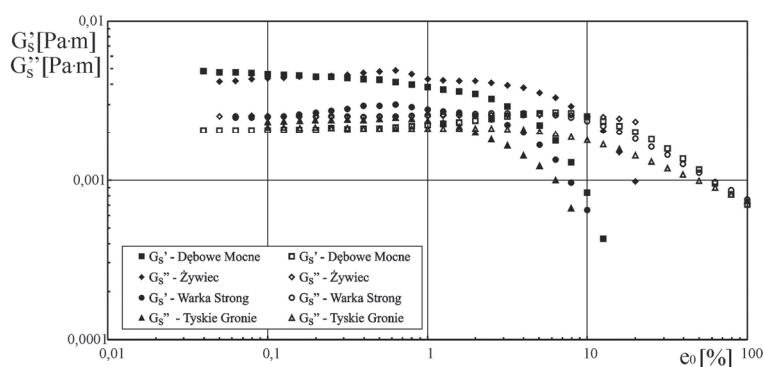
Przebieg zależności $G_s' = f(t)$ i $G_s'' = f(t)$ jest analogiczny do przedstawionych w literaturze [4, 5], a odnoszących się do rozcieńczonych wodnych roztworów białek. Jest oczywiste, że wraz z upływem czasu na powierzchni międzyfazowej piwa dochodzi do formowania się struktury sieciowej. Bardzo długi czas formowania się tej struktury jest dowodem na to, że w jej tworzeniu ważną rolę odgrywają białka. Nie do końca wyjaśnione są przyczyny tak długiego czasu formowania się struktury na powierzchni międzyfazowej w roztworze białek. W literaturze [4] podawane są dwa czynniki. Pierwszy to wzrost liczby zaadsorbowanych cząsteczek protein na powierzchni międzyfazowej wraz z upływem czasu, drugim jest liczba powstających między nimi wiązań. Oba wymienione czynniki są zależne od czasu i powiązane ze sobą, gdyż do uformowania się struktury na powierzchni międzyfazowej w wyniku oddziaływań między proteinami konieczne jest osiągnięcie na niej odpowiednio wysokiego stężenia [17]. Pomiary piw przerywano po około 650 min. W zastosowanym przedziale czasu wartości modułów G_s' i G_s'' nie osiągnęły stabilnej wartości, co świadczy o tym, że struktura powierzchni międzyfazowej nie została w pełni uformowana. Z danych literaturowych [14] wynika, że czas formowania takiej struktury, w zależności od rodzaju białka, może trwać nawet ponad 20 h. Długi czas formowania

się struktury sieciowej na powierzchni międzyfazowej piw wskazuje jednoznacznie, że ważną rolę w tym procesie odgrywają białka, jednak wartości modułów G_s' i G_s'' będą zależały także od innych składników zawartych w piwie, takich jak polisacharydy czy naturalne surfaktanty, które również mogą oddziaływać z białkami [18].

Więcej informacji na temat mechanicznych właściwości warstw powierzchniowych przy granicy faz można uzyskać z pomiarów zmian międzyfazowych modułów stratności i sprężystości w funkcji częstotliwości oscylacji. Pomiarów takich przeprowadzono na piwach, które uprzednio były poddane ścinaniu oscylacyjnemu przez 10 h przy stałej częstotliwości 1 Hz i amplitudzie odkształcenia $e_0 = 1\%$. W celu ustalenia zakresu lepkości sprężystości liniowej przeprowadzono pomiary zmian modułów G_s' i G_s'' w funkcji amplitudy odkształcenia.

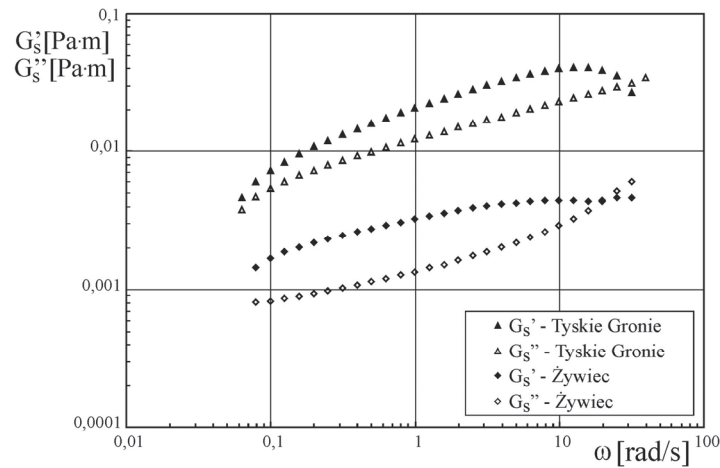
Wyniki tego testu (rys. 3) dowiodły, że moduły G_s' i G_s'' były w przybliżeniu stałe do wartości amplitudy odkształcenia $e = 1\%$. Dla tej wartości amplitudy odkształcenia przeprowadzono pomiary zmian modułów G_s' i G_s'' w funkcji prędkości kątowej piw Żywiec oraz Tyskie Gronie (rys. 4) W przypadku obu napojów, w szerokim zakresie zmian prędkości kątowej, wartości modułów G_s' były większe od modułów G_s'' .

Dodatkowo w układzie podwójnie logarymicznym zależności $G_s' = f(\omega)$ i $G_s'' = f(\omega)$ w przybliżeniu przebiegają równoległe. Zgodnie z klasyfikacją zaproponowaną przez Clarka i Ross-Murphy'ego [6], taki przebieg może świadczyć o tym, że uformowana struktura na powierzchni międzyfazowej ma właściwości reologiczne zbliżone do słabego żelu fizycznego. Przecięcie na wykresie obu zależności przy stosunkowo wysokich wartościach prędkości kątowej (około 25 rad/s) było najprawdopodobniej wynikiem niszczenia tej struktury.



Rys. 3. Zależność $G_s' = f(e_0)$ i $G_s'' = f(e_0)$ w odniesieniu do użytych w badaniach piw.

Fig. 3. Correlation between $G_s' = f(e_0)$ and $G_s'' = f(e_0)$ referred to beers in examinations.



Rys. 4. Spektre mechaniczne piw Żywiec i Tyskie Gronie.

Fig. 4. Mechanical spectra of Żywiec and Tyskie Gronie beers.

Pod względem praktycznym istotne jest, czy istnieje zależność pomiędzy właściwościami reologicznymi powierzchni międzyfazowej a stabilnością piany. Analizowane wzrokowo napoje w różnym czasie charakteryzowały się bardziej lub mniej stabilną pianą. Po nalaniu piwa do zlewki najszybciej podnosił się poziom klarownej cieczy w przypadku piwa Warka Strong, a najwolniej – w przypadku piwa Żywiec. Po 10 s piwo Żywiec nadal miało najmniej klarownej cieczy, a zatem najwięcej piany. W pozostałych przypadkach ilość piany na powierzchni cieczy była bardzo podobna. Po 6 min stwierdzono, że najwięcej piany utrzymywało się na powierzchni piwa Żywiec, a pozostałe próbki miały zbliżoną jej ilość. Zmierzone wartości międzyfazowych modułów G' piwa Żywiec, które charakteryzowało się najbardziej stabilną pianą, były najwyższe, dodatkowo zależności $G'_s = f(t)$ i $G''_s = f(t)$ ulegały najszybciej przecięciu na wykresie. Wyniki te mogą wskazywać, że istnieje związek między właściwościami reologicznymi powierzchni międzyfazowej a stabilnością piany.

W tab. 2. przedstawiono wartości równowagowego napięcia powierzchniowego wybranych piw komercyjnych. Piwo Dębowe Mocne i Warka Strong, zawierające większą ilość ekstraktu i alkoholu, charakteryzowały się niższą wartością napięcia powierzchniowego niż piwa Tyskie Gronie i Żywiec, w których zawartość ekstraktu była mniejsza.

Na temat trwałości piany na powierzchni piw znacznie więcej informacji dostarczają pomiary właściwości lepkością warstw powierzchniowych cieczy przy granicy faz niż badania napięcia powierzchniowego i wzrokowa ocena piany.

Tabela 2. Napięcie powierzchniowe badanych piw.

Table 2. Surface tension of beers analyzed.

Badane piwo / Analyzed beer	Napięcie powierzchniowe / Surface tension [mN·m]
Dębowe Mocne	43,1
Tyskie Gronie	46,6
Żywiec	45,7
Warka Strong	43,8

Wnioski

1. Badane piwa komercyjne są płynami newtonowskimi, natomiast warstwy powierzchniowe cieczy przy granicy faz gaz - ciecz mają właściwości lepkosprężyste, co jest wynikiem różnicy stężeń substancji aktywnych na powierzchni piwa i w jego objętości.
2. Istnieje zależność pomiędzy trwałością piany a wartościami modułów G_s' i G_s'' . W przypadku piwa Żywiec moduły te najszybciej wyrównują się w czasie, co może być związane z największą stabilnością piany.
3. Piwa o większej zawartości ekstraktu i alkoholu charakteryzują się mniejszym napięciem powierzchniowym.

Praca wykonana w ramach badań statutowych prowadzonych w Politechnice Poznańskiej (nr 32/442/2014 DS-PB.).

Literatura

- [1] Bamforth C.W.: The relative significance of physics and chemistry for beer foam excellence: theory and practice. *J. Inst. Brew.*, 2004, **110**, 259-266.
- [2] Bamforth C.W., Milani C.: The foaming of mixtures of albumin and hordein protein hydrolysates in model systems. *J. Sci. Food Agric.*, 2004, **84**, 1001-1004.
- [3] Bamforth C.W., Russell I., Stewart G.C.: Handbook of Alcoholic Beverages Series. Beer: A Quality Perspective. Academic Press, Elsevier, United States 2009.
- [4] Benjamins J., Lucassen-Reynder E.H.: Interfacial rheology of adsorbed protein layers. In: *Interfacial Rheology*. Eds. by: Miller R., Liggieri L. BRILL, Leiden, 2009, pp. 253-302.
- [5] Bos M.A., Vliet T.: Interfacial rheological properties of adsorbed protein layers and surfactants: a review. *Adv. Colloid Interface Sci.*, 2001, **3 (91)**, 437-471.
- [6] Clark A.H., Ross-Murphy S.B.: Structural and mechanical properties of biopolymer gels. *Adv. Polym. Sci.*, 1987, **83**, 57-192.
- [7] Dziubiński M., Kiljański T., Sęk J.: *Podstawy reologii i reometrii płynów*. Wyd. Politechniki Łódzkiej, Łódź 2009, pp. 211-215.
- [8] Evans D.E., Bamforth C.W.: Beer foam: achieving a suitable head. Academic Press, Elsevier, United States 2009, pp. 1-60.
- [9] Evens D.E., Hejgaard J.: The impact of malt derived proteins on beer foam quality. Part I. The effect of generation and kilning on the level of protein Z4, protein Z7 and LTP1. *J. Am. Soc. Brewing Chem.*, 1997, **60**, 47-57.

- [10] Khattab I.S., Bandarkar F, Fakhree M.A.A., Jouyban A.: Density, viscosity, and surface tension of water + ethanol mixtures from 293 to 323K. *Korean J. Chem. Eng.*, 2012, **29** (6), 812-817.
- [11] Kordialik-Bogacka E.: Surowce a stabilność piany piwa. *BMP Agro Przemysł*, 2005, **3**, 33-35.
- [12] Kordialik-Bogacka E., Antczak N.: Prediction of beer foam stability from malt components. *Czech J. Food Sci.*, 2011, **29** (3), 243-249.
- [13] Krägel J., Derkatch S.R.: Interfacial shear rheology. *Curr. Opin. Colloid Interface Sci.*, 2010, **4** (15), 246-255.
- [14] Krägel J., Derkatch S.R.: Interfacial shear rheology – an overview of measuring techniques and their applications. In: *Interfacial Rheology*. Eds. by: Miller R., Liggieri L. BRILL, Leiden, 2009, pp. 373-420.
- [15] Krägel J., Derkatch S.R., Miller R.: Interfacial shear rheology of protein – surfactant layers, *Adv. Colloid Interface Sci.*, 2008, **1-2** (144), 38-53.
- [16] Lusk L., Ting P., Goldstein H., Ryder D., Navarro A.: Foam tower fractionation of beer proteins and bittering acid. *Proc. Eur. Brew. Conv. Symp. Beer Foam Quality*, Amsterdam 1988, pp. 166-187.
- [17] Murray B.S., Dickinson E.: Interfacial Rheology and the Dynamic Properties of Adsorbed Films of Food Proteins and Surfactants. *Food Sci. Technol. Int.*, 1996, **2** (3), 131-145.
- [18] Patino J.M.R., Pilosof A.M.R.: Protein-polysaccharide interactions at fluid interfaces. *Food Hydrocoll.*, 2011, **25**, 1925-1937.
- [19] Piazza L., Gigli J., Bulbarello A.: Interfacial rheology study of espresso coffee foam structure and properties. *J. Food Eng.*, 2008, **3** (84), 420-429.
- [20] Smith P.A., Marinelli L.J.: Evaluation of Established Methods of Decarbonating Beer. *American Society of Brewing Chemists*, 1992, pp. 102-105.
- [21] Sosnowski T.: Analiza reologiczna procesów dynamicznych na powierzchni międzyfazowej ciecz-gaz, I. Część teoretyczna. *Inż. Chem. Proc.*, 2003, **1** (24), 93-101.
- [22] Szwed Ł., Błazewicz J., Zembold-Guła A., Pelak M., Dawidowicz A.: Wpływ frakcjonowania i czasu słodowania ziarna jęczmienia na liczbę Kolbacha słodów oraz zawartość wolnego azotu alfa-aminokwasowego w brzezczkach. *Żywność. Nauka. Technologia. Jakość*, 2009, **6** (67), 119-128.
- [23] Yokoi S., Yamashita K., Kunitake N., Koshino S.: Hydrophobic beer proteins and their function in beer foam *J. Am. Soc. Brewing Chem.*, 1994, **52** (3), 123.

RHEOLOGICAL PROPERTIES OF LIQUID SURFACE LAYER IN SELECTED COMMERCIAL BEERS

S u m m a r y

In the paper, the results are presented of a rheological examination of surface layers of the Dębowe Mocne, Tyskie Gronie, Żywiec, and Warka Strong beers in an oscillatory flow. The obtained interfacial correlations between the interfacial storage modulus G_s' and interfacial loss modulus G_s'' , expressed as a function of time, had a form characteristic for diluted aqueous protein solutions. For all the beers examined, the values of the two moduli increased and, after some time, that was characteristic for the given type of beer, intersected at one point on the graph. The results of oscillatory measurements prove that a network structure was formed in the surface layers of the beers examined. A very long time necessary for that structure to form proves that the proteins in beer played an important role in forming the structure. Furthermore, it was found that the most stable froth foam occurred on the surface of the Żywiec beer. The values of the measured values of the G_s' and G_s'' interfacial moduli were the highest. Those results show that there is a correlation between the rheological properties of the liquid surface layer and the stability of the beer froth foam.

Key words: beer, rheological properties, interfacial surface, liquid surface layer, froth foam 