

Katarzyna KOTARSKA, Anna ŚWIERCZYŃSKA

e-mail: katarzyna.kotarska@ibprs.pl

Zakład Technologii Gorzelnictwa i Odnawialnych Źródeł Energii, Instytut Biotechnologii Przemysłu Rolno-Spożywczego, Bydgoszcz

Charakterystyka płynięcia wywarów gorzelnicznych

Wstęp

Właściwości fizyczne wywarów gorzelnicznych determinują zachowanie się materiału wewnątrz urządzeń technologicznych, a także wpływają na pracę urządzeń i maszyn. Nie bez znaczenia jest fakt, że nawet stosunkowo niewielka poprawa w sposobie operowania tak dużymi ilościami wywaru, jakie powstają w gorzelnii może przynieść znaczne korzyści ekonomiczne.

Straty ciśnienia wzdłuż rurociągu są spowodowane oporami tarcia płynu podczas przepływu, powstają one również przy zmianie kierunku przepływu lub przy zmianie kształtów geometrycznych rurociągu. Opory przepływu występują na całej długości rurociągu i zależą od długości rurociągu, jego średnicy, prędkości przepływu oraz lepkości płynu [Makarewicz 2008].

Określenie właściwości reologicznych wywaru polega na wyznaczeniu wzajemnych zależności pomiędzy naprężeniami ścinającymi, czyli stycznymi (τ) a prędkością ścinania, czyli gradientem prędkości przepływu ($\dot{\gamma}$). Zależności te przedstawia się w formie wykresów reologicznych (płynięcia), [Orzechowski, 1997; Schramm, 1998; Matras, 2001]. W oparciu o kształt uzyskanego wykresu można zakwalifikować badaną ciecz do grupy cieczy newtonowskich lub nielowtonowskich.

Celem pracy było określenie właściwości reologicznych wywarów żytnich o różnych gęstościach. Poznanie właściwości reologicznych wywarów pozwoli w przyszłości zapobiegać różnym problemom technologicznym procesu, jak również służyć pomocą przy modernizacji oraz projektowaniu energooszczędnych linii technologicznych (gorzelnie, biogazownie).

Badania doświadczalne

Materiały

Do badań wykorzystano wywary żytnie uzyskane z przerobu zacierów o różnych gęstościach, przygotowywanych metodą beztęniowego uwalniania skrobi (BUS) zgodnie z technologią stosowaną w gorzelniach rolniczych w procesie produkcji spirytusu.

Aparatura

Badania lepkości oraz pozostałych parametrów reologicznych przeprowadzono przy użyciu reometru cyfrowego *Brookfield DV-III* oraz mieszadła *TUR-8*. Z uwagi na to, że wywary należą do cieczy o złożonej strukturze, w których podczas mieszania dochodzi do rozwarstwienia na część bardziej gęstą i część rzadką, użyto mieszadła własnej konstrukcji *TUR-8*. Mieszadło turbinowe eliminuje zjawisko sedymentacji, a wyliczone stałe uwzględniające jego geometrię wynoszą: $SMC = 16,454$ oraz $SRC = 0,486$ [Czupryński i in., 2003].

Metodyka

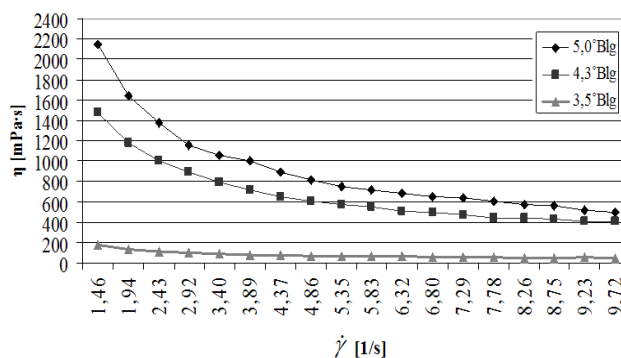
W celu zachowania tych samych warunków badań ustalono i zapisano w oparciu o program *Rheocalc for Windows*: zakres pomiarowy uwzględniający początkową prędkość (SSN), przyrost prędkości (SSI), przedział prędkości jednostajnej (SST), zachowanie danych przy zmianie prędkości (DSC) oraz oczekiwanie na zadaną prędkość końcową (WSP).

Badanie właściwości reologicznych wywarów doświadczalnych przeprowadzono w temperaturach 25 i 60°C, w zakresie pomiarowym 3-20 RPM, w systemie zmian co 1 RPM.

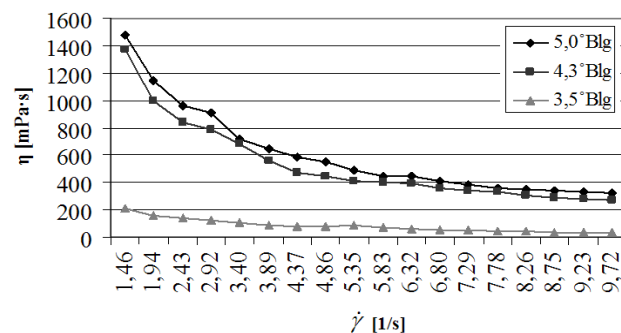
Temperatura badanych wywarów była kontrolowana. W tym celu układy pomiarowe reometru cyfrowego współpracowały z ultratermostatem *GRY14*.

Wyniki i dyskusja

Charakterystykę płynięcia wywarów żytnich (pochodzących z technologii BUS) o różnych gęstościach przedstawiono na rys. 1 i 2.



Rys. 1. Krzywe lepkości wywarów żytnich o różnych gęstościach, uzyskanych w temperaturze 25°C



Rys. 2. Krzywe lepkości wywarów żytnich o różnych gęstościach, uzyskanych w temperaturze 60°C

Porównując krzywe lepkości przedstawione na rys. 1 i 2 można stwierdzić, że lepkość wywaru żytniego o gęstości 5,0 °Błg w niższej temp., tj. 25°C, jest wyższa o 21÷40%, w stosunku do lepkości uzyskanej w temperaturze 60°C, przy zakresie prędkości ścinania 1,46÷9,72 s⁻¹.

Podobną sytuację można zaobserwować dla wywaru żytniego o gęstości 4,3 °Błg – lepkość uzyskana w temperaturze 25°C była wyższa o 7÷33%, w porównaniu z uzyskaną w 60°C. W przypadku wywaru żytniego o najniższej gęstości, tj. 3,5 °Błg uzyskano w temperaturze 25°C lepkość wyższą o 0,37÷32%, w zakresie pomiarowym 5,83÷9,72 s⁻¹, w stosunku do otrzymanej w temperaturze 60°C

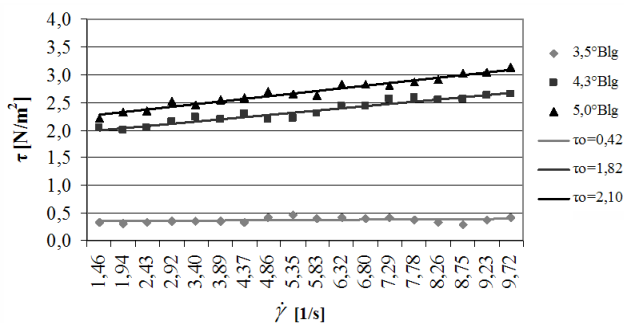
Analizując przebieg uzyskanych krzywych lepkości badanych wywarów można zauważyć, że wyższą lepkością o 81÷90% odznaczał się wywar żytni o gęstości 5,0 °Błg, w stosunku do wyników uzyskanych w odniesieniu do wywaru o gęstości 3,5 °Błg i o 5÷19% w porównaniu z wywarem o gęstości 4,3 °Błg. Najniższą lepkość odnotowano dla analizowanego wywaru o gęstości 3,5 °Błg. Ze wzrostem gęstości wywaru z 3,5 °Błg do 4,3 °Błg następuje podwyższenie lepkości cieczy o 78÷88% w analizowanym zakresie pomiarowym (Rys. 2).

Analizując wywary żytnie w temperaturze 25°C i 60°C można również zauważyć, że odznaczają się taką samą charakterystyką – ze wzrostem prędkości ścinania lepkość wywarów maleje, (Rys. 1 i 2).

Za pomocą programu *Rheocalc for Windows*, na podstawie oceny dopasowania modeli matematycznych do uzyskanych wyników, wybrano model matematyczny *Binghama* (97÷98% ufności), który charakteryzuje ciecze nienewtonowskie.

Zaobserwowano, że dla wyższych lepkości cieczy naprężenie ścinające również przyjmuje wyższe wartości. Ponadto naprężenie, które musi być przyłożone, aby wymusić płynięcie cieczy jest w tym przypadku wyższe dla pomiarów wykonywanych w temperaturze 25°C. Na tej podstawie można wnioskować, iż mniejsze kłopoty przy przepompowywaniu będą sprawiały wywary żytnie podgrzane do odpowiedniej temperatury.

Właściwości reologiczne badanych wywarów przedstawiono za pomocą krzywych płynięcia na rys. 3.

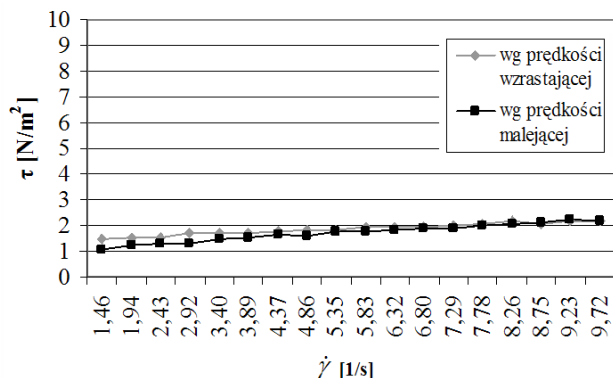


Rys. 3. Krzywe płynięcia wywarów żytnich o różnych gęstościach, uzyskanych w temperaturze 60°C (τ_0 – granica płynięcia, N/m²)

Przeprowadzona analiza wyników wykazała wyraźny wzrost naprężenia ścinającego τ wraz ze wzrostem gęstości wywarów, jak również zaobserwowano uzyskiwanie wyższych jego wartości przy zwiększaniu prędkości ścinania ($\dot{\gamma}$), w odniesieniu do wszystkich rozpatrywanych gęstości wywarów żytnich (Rys. 3).

Krzywe płynięcia poszczególnych wywarów są liniami prostymi, wyprowadzonymi z punktów τ_0 na osi OY, które stanowią tzw. granice płynięcia. Można zauważyć, że wartość naprężenia uplastyczniającego (τ_0) wzrasta wraz ze wzrostem gęstości wywarów. Granica płynięcia dla wywaru żytniego o najniższej gęstości (3,5 °Blg) jest równa 0,42 N/m²; dla wywaru o gęstości 4,3 °Blg wynosi 1,82 N/m², natomiast dla wywaru o najwyższej gęstości (5,0 °Blg) wynosi 2,10 N/m².

Pomiary zależności naprężenia ścinającego od prędkości ścinania, przy zwiększaniu gradientu prędkości, a następnie przy zmniejszeniu gradientu prędkości do najniższej wartości nie wykazały pętli histerezy (Rys. 4).



Rys. 4. Krzywe płynięcia wywaru żytniego o gęstości 5,0 °Blg wyznaczone przez mieszadło *TUR-8*, przy zmniejszaniu gradientu prędkości do najniższej wartości, w temperaturze 60°C.

Wyznaczona krzywa płynięcia wywaru żytniego o gęstości 5,0 °Blg, przy zwiększaniu gradientu prędkości, pokrywa się w znacznej mierze z krzywą wyznaczoną przy prędkości malejącej (Rys. 4). Wartości naprężenia ścinającego przy zwiększanej prędkości ścinania w większości punktów pomiarowych, były takie same jak przy malejącej prędkości – nie tworzyły pętli histerezy.

Wyniki analizy wykazują brak nieodwracalnej deformacji, która byłaby związana z naruszeniem wiązań tworzących strukturę cieczy. Uzyskane powtarzające się wartości naprężenia ścinającego, przy zmniejszającej się prędkości ścinania, świadczą o tym, że płynięcie wywarów żytnich nie jest zależne od czasu, a także wykluczają występowanie zjawiska żelowania i rozrzedzania w badanych cieczach.

Z uwagi na powyższe oraz ze względu na występowanie dodatniego odcinka na osi OY można stwierdzić, że badane wywary żytnie nie wykazują zjawiska pseudoplastyczności ani reopeksji.

Przeprowadzone badania stwarzają możliwość wykorzystania wyników w obliczeniach konstruktorskich, przy poprowadzeniu nowej instalacji, czy też modernizacji w gorzelniach rolniczych, które uwzględniałyby zagospodarowanie wywarów, co stanowi ważny aspekt w zakresie ochrony środowiska.

Podsumowanie i wnioski

Na podstawie uzyskanych wyników stwierdzono, że lepkość wywarów żytnich zależna jest od ich gęstości oraz temperatury.

Lepkość wywarów żytnich w przypadku wszystkich rozpatrywanych gęstości zależy również od prędkości płynięcia, która charakteryzuje zachodzące ścinanie – ze wzrostem szybkości ścinania maleją opory przepływu cieczy, co wskazuje na nienewtonowskie właściwości reologiczne badanych cieczy.

Krzywe płynięcia wywarów charakteryzowały się dodatnim odcinkiem odłożonym na osi naprężenia ścinającego, czyli posiadały tzw. granicę płynięcia, co potwierdza nienewtonowską charakterystykę płynięcia badanych wywarów żytnich. Z uwagi na występujący dodatni odcinek na osi OY badane wywary żytnie nie wykazują zjawiska pseudoplastyczności.

Wysoki stopień dopasowania modelu matematycznego *Binghama* do uzyskanych wyników dla wszystkich wywarów żytnich potwierdza ich nienewtonowską charakterystykę płynięcia.

Wywary gorzelnicze nie wykazały efektów pamięci wynikających z tiksotropii oraz reopeksji. Nie ulegały zatężaniu ani rozrzedzaniu wraz ze zmianą prędkości ścinania. Nie stwierdzono zmian płynięcia ze względu na czas prowadzonego pomiaru.

Wyznaczone w niniejszej pracy właściwości reologiczne wywarów żytnich o różnych gęstościach mogą być wykorzystane m.in. w obliczeniach konstruktorskich i projektowaniu linii technologicznej produkcji metanu w biogazowni, modernizacji gorzelnii (np.: przy zastosowaniu recykulacji wywaru, w procesie produkcji spirytusu).

LITERATURA

- Czupryński B., Kotarska K., Kłosowski G., Wolska M., 2003. Rheological properties of rye mash prepared by the method of pressureless liberation of starch in mashing and fermentation. *Pol. J. Food Nutr. Sci.*, 12/53, 2, 19-26.
- Makarewicz E., 2008. *Stabilizacja i reologia polimerycznych układów dyspersyjnych*. Wyd. UTP, Bydgoszcz
- Matras Z., 2001. *Transport hydrauliczny reologicznie złożonych cieczy nienewtonowskich w przewodach*. Wyd. Pol. Krakowskiej, Kraków
- Orzechowski Z., Prywer J., Zarzycki R., 1997. *Mechanika płynów w inżynierii środowiska*. WNT, Warszawa
- Schramm G., 1998. *Reologia. Podstawy i zastosowania*. Wyd. PAN, Poznań