

Dorota Mickiewicz, Tomasz Kiljański, Adriana Bomba,

e-mail: dorota.mickiewicz@uwm.edu.pl

Katedra Inżynierii i Aparatury Procesowej, Wydział Nauki o Żywności, Uniwersytet Warmińsko-Mazurski, Olsztyn

Charakterystyki reologiczne puree owocowych i warzywnych

Wstęp

Rozwijający się przemysł i coraz częstsze wykorzystanie substancji wielkocząsteczkowych dyktuje potrzebę przeprowadzenia badań i pogłębiania wiedzy z zakresu reologii. Właściwości fizyczne przecierów roślinnych determinują zachowanie się materiału wewnątrz urządzeń technologicznych, a także wpływają na pracę urządzeń i maszyn.

W większości rozwiązań technicznych płyny muszą być przesyłane w zamkniętych przewodach – rurach i rurociągach, tłoczone przez różnego rodzaju pompy dostosowane do linii produkcyjnej. W poruszającej się cieczy jej lepkość powoduje powstawanie sił stycznych skierowanych przeciwnie do kierunku ruchu, co powoduje tzw. liniowy opór przepływu, na którego pokonanie zużywana jest część energii określanej jako strata ciśnienia. Opory przepływu są też spowodowane przez zmiany kierunku przepływu oraz zmiany w geometrii rurociągu – są to tzw. opory lokalne [Matras, 2001].

W praktyce oprócz cieczy newtonowskich występują w znacznej mierze złożone, ciekłe układy nienewtonowskie. Zagadnienia związane z ich przepływem w instalacjach są istotnym elementem wymagającym ciągłych badań.

Określenie właściwości reologicznych badanych materiałów polega na wyznaczeniu zależności pomiędzy występującymi naprężeniami ścinającymi τ a daną szybkością ścinania $\dot{\gamma}$. Analiza otrzymanych wyników pozwoli na zakwalifikowanie ich do konkretnej grupy płynów rzeczywistych, co umożliwi projektantom wyeliminowanie niepożądanych efektów m.in. osadzania się materiału na ściankach lub uzyskanie efektu zmniejszenia strat ciśnienia - zjawisko Tomsa oraz dobór odpowiedniej metody obliczenia oporów przepływu [Schramm, 1998; Matras, 2001; Dziubiński i in. 2009].

Celem pracy było określenie właściwości reologicznych przecierów roślinnych o różnych gęstościach. Poznanie ich pozwoli zapobiegać problemom technologicznym procesów oraz pomóc w modernizacji oraz projektowaniu linii technologicznych (zakłady przetwórstwa koncentratów spożywczych).

Badania doświadczalne

Materiały

Do badań wykorzystano puree spożywcze, owocowe i warzywne o różnych gęstościach o oznaczeniach: KJ_z , KT_z , KM_z , KP_z , - koncentraty zagęszczone oraz KJ_{nz} etc. - koncentraty niezagęszczone - tab.1. Materiał przygotowywany został w oparciu o zastosowanie procesów dekantacji, wirowania oraz ultrafiltracji zgodnie z technologią stosowaną w zakładach przetwórstwa owocowo-warzywnego.

Aparatura

Pomiary reologiczne przeprowadzono przy użyciu reometru rotacyjnego (RheolabQC Anton Paar, Graz, Austria), pracując na układzie cylindrów współosiowych CC27-SN19257) o średnicy cylindra wewnętrznego 26,657 mm, szerokości i długości szczeliny odpowiednio: 2,263 i 40 mm, z zastosowaniem gładkiej oraz szorstkiej powierzchni. Chropowatości nadawano poprzez pokrycie cylindrów warstwą proszku karborundowego z papieru ściernego. Zastosowanie dwóch różnych powierzchni miało na celu skorygowanie efektu poślizgu przyściennego podczas pomiarów. Efekt ten dość często występuje w zawiesinach i spowodowany jest migracją cząstek stałych od ścianki do środka strumienia płynu. Następstwem jest zmniejszenie oporów przepływu przy ściance [Kiljański, 2008].

Tab. 1. Zestawienie gęstości i zawartości suchej masy badanych puree (zagęszczonych / niezagęszczonych).

Purre	Oznaczenie	Gęstość [kg/m ³]
jabłkowe	KJ_z / KJ_{nz}	1084 / 1053
truskawkowe	KT_z / KT_{nz}	1081 / 1031
malinowe	KM_z / KM_{nz}	1084 / 1044
pomidorowe	KP_z / KP_{nz}	1087 / 1028

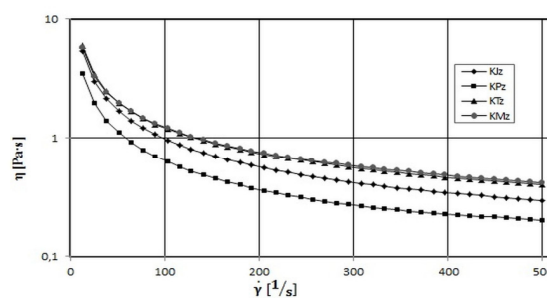
Metodyka

Pomiary przeprowadzono w stałych zakresach szybkości ścinania dla wszystkich próbek, obejmował on następujące po sobie etapy: osiągnięcie szybkości początkowej 0,2 s⁻¹, przyrost szybkości do wartości maksymalnej 500 s⁻¹ i jej utrzymanie przez czas 25 s, spadek prędkości do wartości końcowej 0,2 s⁻¹. Temperatura badanych próbek była jednakowa i wynosiła 23°C.

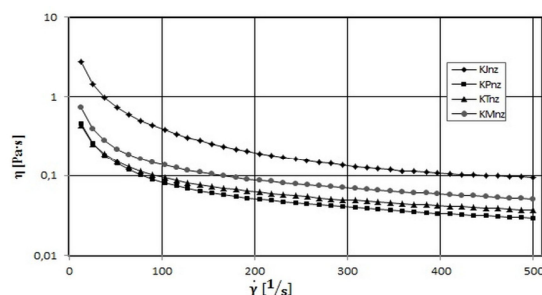
Wyniki i dyskusja

Na rys. 1 do 4 przedstawiono kolejno krzywe lepkości i płynięcia dla wszystkich czterech puree zagęszczonych i niezagęszczonych. Wykonano wstępną analizę na układzie pomiarowym gładkim w celu wykazania znaczących różnic wynikających z efektu poślizgu przyściennego (Rys. 5). Omawiane poniżej wyniki dotyczą układu pomiarowego chropowatego, który skorygował ten efekt.

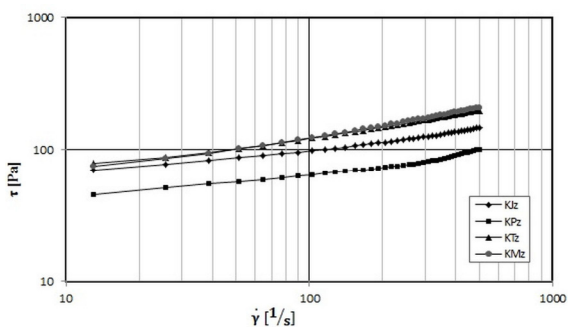
Porównując krzywe lepkości dla puree zagęszczonych można zauważyć, że wartości lepkości dla szybkości ścinania 500 s⁻¹ są najmniejsze dla KP_z : $\eta = 0,172$ Pa·s, średnie dla KJ_z : $\eta = 0,279$ Pa·s i największe dla KT_z i KM_z : $\eta = 0,368 \div 0,349$ Pa·s. Inną sytuację obserwowano w przypadku koncentratów niezagęszczonych. Wartości ich lepkości przy szybkości ścinania 500 s⁻¹ różnią się o rząd wielkości, np. dla KP_{nz} $\eta = 0,0197$ Pa·s; dla KT_{nz} $\eta = 0,0306$ Pa·s; dla KM_{nz} $\eta = 0,0392$ Pa·s.



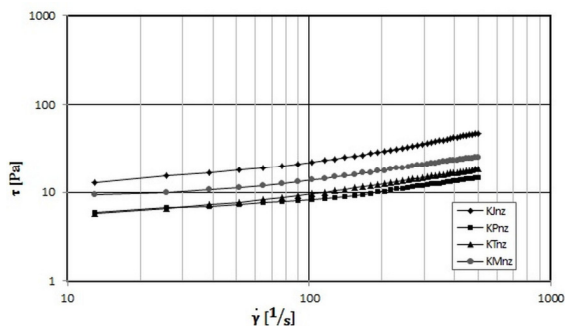
Rys. 1. Krzywe lepkości puree zagęszczonych wyznaczone przy rosnącej szybkości ścinania



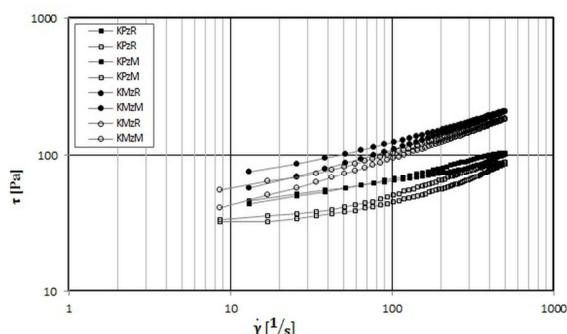
Rys. 2. Krzywe lepkości puree niezagęszczonych wyznaczone przy rosnącej szybkości ścinania



Rys. 3. Krzywe płynięcia koncentratów o wysokiej gęstości



Rys. 4. Krzywe płynięcia puree o niskiej gęstości



Rys. 5. Krzywe płynięcia koncentratów dla powierzchni szorstkiej (znaczniki pełne) i gładkiej (znaczniki puste) wg szybkości ścinania rosnącej i malejącej

Analizując przebiegi krzywych lepkości dla wszystkich próbek można zauważyć malejącą lepkość wraz ze wzrostem szybkości ścinania. Są to więc cieczce rozrzedzane ścinaniem. Porównując rys.1 i 2 można stwierdzić, że końcowa wartość lepkości (zmierzona przy najwyższej szybkości ścinania 500 s⁻¹) jest mniejsza o 91% dla puree KT_{nz} w stosunku do jego odpowiednika zagęszczonego KT_z. Dla produktów niezagęszczonych KM_{nz} oraz KP_{nz} uzyskano podobne wartości lepkości, odpowiednio: 89,3% oraz 88,5% lepkości produktu zagęszczonego.

Przy początkowej szybkości ścinania równej 0,2 s⁻¹ największy spadek lepkości bo aż 94,8 % zaobserwowano dla koncentratu KT niezagęszczonego w stosunku do wartości wyjściowej odpowiednika zagęszczonego. Podobnie jest dla koncentratów niezagęszczonych KM i KP w stosunku do zagęszczonych. Wyraźnie mniejszy spadek lepkości w stosunku do zagęszczonych występuje przy tej szybkości ścinania dla koncentratu niezagęszczonego KJ o 68,6%.

Za pomocą programu Rheoplus (Anton Paar, Graz, Austria), wykonano dopasowanie modeli reologicznych do uzyskanych wyników dla 40 punktów pomiarowych dla wzrastającej szybkości ścinania. Wybrano trzy modele reologiczne: *Bingham*, *Ostwalda-de Waele'a* oraz *Herschela-Bulkleya*. Najmniej dokładne dopasowanie uzyskano do modelu *Bingham* od R² = 0,49 dla KM_z do R² = 0,88 dla KP_{nz}, najlepsze zaś do modelu *Herschela-Bulkleya* (Tab. 1).

Tab. 2. Zestawienie współczynników równań modeli reologicznych oraz granicy płynięcia τ_y dla wybranych puree

Puree	Model							
	<i>Ostwalda-de Waele'a</i> τ = kγ̇ ⁿ			<i>Herschela-Bulkley'a</i> τ = τ _y + kγ̇ ⁿ				
	R ²	k	n	R ²	τ _y	k	n	
zagęszczone	KJ _z	0,98	40,4	0,199	0,99	13,6	26,9	0,251
	KM _z	0,98	33,5	0,288	0,99	4,94	28,37	0,313
	KP _z	0,93	27,6	0,191	0,97	15,8	12,30	0,290
	KT _z	0,98	39,0	0,255	0,99	12,1	26,74	0,310
niezagęszczone	KJ _{nz}	0,91	6,26	0,303	0,98	5,11	1,61	0,518
	KM _{nz}	0,98	3,49	0,312	0,98	0,66	2,75	0,348
	KP _{nz}	0,92	3,36	0,220	0,98	2,67	0,86	0,416
	KT _{nz}	0,98	2,16	0,335	0,99	0,52	1,60	0,383

Po logarytmowaniu równania tego modelu otrzymuje się:

$$\log(\tau - \tau_y) = \log k + n \log \dot{\gamma}$$

Krzywa płynięcia opisana powyższym równaniem będzie linią prostą w podwójnie logarytmicznym układzie współrzędnych. Wartość τ_y została tak dobrana, aby punkty na wykresie ułożyły się możliwie najlepiej wzdłuż linii prostej [Kiljański i in., 2009]

Analizując powyższe dane można stwierdzić występowanie naprężenia granicznego τ_y dla obu grup puree zagęszczonych i niezagęszczonych. Najniższą wartością granicy płynięcia wśród puree zagęszczonych wykazał się koncentrat KM_z, którego lepkość dla szybkości ścinania 500 s⁻¹ wynosiła 0,368 Pa·s. Spośród koncentratów niezagęszczonych był to KT_{nz}, którego lepkość przy tej samej wartości wyniosła 0,0306 Pa·s. Najwyższą granicę płynięcia uzyskano dla koncentratu zagęszczonego KP_z i niezagęszczonego KJ_{nz}, a ich lepkości przy szybkości ścinania 500 s⁻¹ wynosiły odpowiednio: 0,172 Pa·s oraz 0,0947 Pa·s.

Krzywe płynięcia wszystkich zbadanych koncentratów o różnej gęstości przy wzrastającej szybkości ścinania pokrywają się w znacznej mierze z krzywymi wyznaczonymi przy szybkości malejącej. Wartości naprężenia dla całego zakresu szybkości ścinania nieznacznie różniły się, a utworzone pętle histerezy były bardzo niewielkie.

Podsumowanie i wnioski

Wszystkie zbadane puree są silnie rozrzedzanymi ścinaniem nieliniowymi płynami plastycznolepkimi. Informacja ta jest bardzo istotna dla projektantów instalacji przemysłu spożywczego, ponieważ stosowane w nich pompy wirnikowe (różnych rodzajów, aseptyczne – ponieważ nie może być użyta standardowo stosowana w tych warunkach pompa membranowa) ścinają płyn, a spadająca lepkość powoduje brak uszczelnienia na wirniku, wyrównanie ciśnień po stronach ssącej i tłoczącej, a w konsekwencji do osłabienia tłoczenia.) ścinają płyn, a spadająca lepkość powoduje brak uszczelnienia na wirniku, wyrównanie ciśnień po stronach ssącej i tłoczącej, a w konsekwencji do osłabienia tłoczenia.

W większości przypadków (z wyjątkiem puree KJ_z oraz KP_z) granice płynięcia wyznaczone przez opisanie krzywych płynięcia równaniem *Herschela-Bulkleya* mają niewielkie wartości. Badane koncentraty nie wykazały w istotnym stopniu efektu pamięci płynu czyli zjawiska tiksotropii.

LITERATURA

- Schramm G., (1998). *Reologia: podstawy i zastosowania*. OWN PAN, Poznań.
- Dziubiński M., Kiljański T., Sęk J., (2009). *Podstawy reologii i reometrii płynów*, Wyd. Pol. Łódzkiej, Łódź
- Kiljański T., (2008). Efektywny poślizg przy ścianie podczas pomiarów własności reologicznych jogurtu. *Inż. Ap. Chem.*, 47(6), 105-107
- Matras Z., (2001). *Transport hydrauliczny reologicznie złożonych cieczy nienetonowskich w przewodach*. Wyd. Pol. Krakowskiej, Kraków
- Kiljański T., Dziubiński M., Sęk J., Antosik K., (2009). *Wykorzystanie pomiarów właściwości reologicznych płynów w praktyce inżynierskiej*. EKMA Krzysztof Antosik, Warszawa