

Dr inż. Iwona SITKIEWICZ  
 Mgr inż. Roksana KALINOWSKA  
 Student Bartosz KAMIŃSKI  
 Katedra Inżynierii Żywności i Organizacji Produkcji – Wydział Nauk o Żywności  
 SGGW w Warszawie

## WŁAŚCIWOŚCI REOLOGICZNE KLAROWNYCH SOKÓW: ARONIOWEGO I JABŁKOWEGO®

*W pracy wyznaczono parametry reologiczne klarownych soków aroniowego i jabłkowego o stężeniu pomiędzy 10° a 70° Bx w zakresie temperatury od 10° do 60°C. Badane soki były cieczami niutonowskimi a ich lepkość malała ze wzrostem temperatury i wzrastała ze wzrostem stężenia. Energia aktywacji przepływu lepkiego  $E_a$  dla soku aroniowego przyjmowała niższe wartości niż dla soku jabłkowego, a jej wartość była funkcją stężenia badanego soku i można ją opisać równaniem wielomianu trzeciego stopnia lub wykładniczym. Zastosowane, znane z literatury modele matematyczne opisujące równoczesny wpływ temperatury i stężenia na wartość współczynnika lepkości, nie dały zadowalających wyników zgodności z danymi eksperymentalnymi.*

### WPROWADZENIE

Owoce są produktami bardzo cennymi pod względem spożywczym. Zawierają substancje biologicznie aktywne, w tym związki polifenolowe, które są niezbędne dla zdrowia człowieka. Wykazują działanie antywołnorodnikowe, antybakteryjne, przeciwgrzybicze oraz antywirusowe. Z powodu sezonowości podaży owoców i ich niskiej trwałości przy przechowywaniu, często spożywane są soki owocowe. W produkcji soków owocowych zagęszczonych dominującą rolę w Polsce odgrywa sok jabłkowy, ale w ostatnich latach wzrasta znaczenie produkcji soków z pozostałych – poza jabłkami – owoców, w tym soku z aronii [6, 7].

Znajomość właściwości fizycznych, w tym również parametrów reologicznych, płynnych produktów spożywczych, w tym soków i ich koncentratów, jest niezwykle ważna na etapie projektowania procesów i aparatów, jak również na etapie kontroli jakości półproduktów i gotowych wyrobów.

Parametry reologiczne soków i ich koncentratów, pulp oraz puree owocowych zależą od wielu czynników takich jak: rodzaj i skład chemiczny owoców, obecność cząstek stałych i ich wielkość, temperatura oraz stężenie.

Czynnikiem mającym duży wpływ na parametry reologiczne soków, pulp i puree owocowych jest obecność cząstek stałych i ich wielkość. Soki oraz ich koncentraty są jednorodnymi roztworami zawierającymi rozproszone włókna, komórki, cząsteczki białek oraz pęcherzyki powietrza w fazie ciągłej, którą stanowi roztwór cukrów. Soki klarowne, nie zawierające cząstek stałych o znacznej wielkości są cieczami niutonowskimi, nawet przy wysokim stężeniu i w niskiej temperaturze, i spełniają równanie Newtona [2, 5, 8, 12]:

$$\tau = \eta \cdot \dot{\gamma} \quad (1)$$

gdzie:  $\tau$  – naprężenie ścinające, Pa;  $\dot{\gamma}$  – szybkość ścinania,  $s^{-1}$ ;  $\eta$  – współczynnik lepkości dynamicznej, często zwany po prostu lepkością, Pa·s.

Przy stałym stężeniu lepkość soków maleje ze wzrostem temperatury, a przy stałej temperaturze wzrasta ze wzrostem stężenia suchej substancji. Ponadto, przy danym stężeniu soku, im wyższa jest zawartość sacharozy, tym większa jest jego lepkość w porównaniu do soku zawierającego w składzie więcej cukrów prostych [8].

Soki mętne wykazują wyższe wartości współczynnika lepkości niż soki klarowne. Soki mętne, tak jak i pulpy oraz puree owocowe są przeważnie cieczami pseudoplastycznymi rozrzedzanymi ścinaniem, a ich krzywe płynięcia najlepiej można opisać równaniami [5, 11]:

– potęgowym Ostwalda- de Waele:

$$\tau = K \cdot \dot{\gamma}^n \quad (2)$$

– równaniem Herschela-Bulkley'a:

$$\tau = \tau_0 + K \cdot \dot{\gamma}^n \quad (3)$$

– równaniem Cassona:

$$\tau^{0,5} = \tau_0^{0,5} + K_c \cdot (\dot{\gamma})^{0,5} \quad (4)$$

w których:  $\tau$  – naprężenie ścinające, Pa;  $\dot{\gamma}$  – szybkość ścinania,  $s^{-1}$ ;  $K$  – współczynnik konsystencji,  $(Pa \cdot s)^n$ ,  $K_c$  – współczynnik lepkości plastycznej,  $(Pa \cdot s)^{0,5}$ ;  $\tau_0$  – granica płynięcia, Pa oraz  $n$  – wskaźnik płynięcia (dla cieczy rozrzedzanych ścinaniem przyjmuje wartości mniejsze od 1).

Krokida i wsp. [5] w wyniku analizy danych literaturowych dla więcej niż 10 rodzajów soków i pulp owocowych oraz warzywnych wykazali, że są one cieczami nieniutonowskimi pseudoplastycznymi rozrzedzanymi ścinaniem, przy czym dla pulp wskaźnik płynięcia przyjmuje wartości bliskie 0,5.

Klarowny sok i koncentrat jabłkowy o stężeniu od 15 do 75° Bx w zakresie temperatury 10-60° C są cieczami niutonowskimi [1, 9]. Naturalnie mętny sok jabłkowy do stężenia 40°Bx jest również cieczą niutonowską natomiast przy stężeniu 50°Bx i powyżej jest cieczą nieniutonowską rozrzedzaną ścinaniem, a wartość wskaźnika płynięcia maleje ze wzrostem stężenia soku [9].

Lepkość płynów niutonowskich, a w przypadku płynów nieniutonowskich współczynnik konsystencji, maleje ze wzrostem temperatury. Wpływ temperatury na współczynnik lepkości dla klarownych cieczy opisuje równanie Arrheniusa [5]:

$$\eta = A \cdot \exp\left(-\frac{E_a}{R \cdot T}\right) \quad (5)$$

gdzie: A – stała niezależna od temperatury nazywana czynnikiem przedwykładniczym;  $E_a$  – energia aktywacji przepływu lepkiego, kJ/g·mol;  $R=8,314$  kJ/mol·K – stała gazowa; T – temperatura absolutna, K.

Energia aktywacji przepływu lepkiego  $E_a$  wyraża energię niezbędną do przezwyciężenia sił międzycząsteczkowych hamujących przesuwanie się warstw cieczy podczas przepływu [12].

Dla cieczy niutonowskich wartość energii aktywacji wzrasta od 14,4 kJ/mol (woda) do więcej niż 60 kJ/mol (stężone klarowne soki owocowe i roztwory cukrów). Energia aktywacji przepływu lepkiego dla cieczy nieniuonowskich jest nieznacznie niższa od wartości uzyskiwanych dla cieczy niutonowskich o takim samym stężeniu. W przypadku zawiesin o wysokim stężeniu cząstek nierozpuszczalnych, takich jak pulpy owocowe i warzywne wartość energii aktywacji przepływu lepkiego może być niższa niż dla czystej wody [5].

Celem pracy zaprezentowanej w artykule było wyznaczenie parametrów reologicznych klarownych soków z aronii oraz jabłek w zakresie stężenia 10÷70°Bx i temperatury 10÷60°C.

## MATERIAŁ I METODYKA BADAŃ

Koncentraty soków aroniowego i jabłkowego o stężeniu 70°Bx zakupiono od krajowych producentów. Koncentraty rozcieńczano wodą destylowaną do uzyskania pożądanych stężeń. Pomiary właściwości reologicznych koncentratu soku z aronii wykonano przy użyciu 2 reometrów rotacyjnych Brookfield DV-III V3.3 RV oraz Brookfield LV TDV-II połączonych z łaźnią wodną pozwalającą na utrzymanie podczas badania zadanej temperatury z dokładnością do  $\pm 0,5^\circ\text{C}$ . Pomiary wykonano w zakresie temperatury od 10°C do 60°C przy skoku temperatury co 10°C. Zarówno sok aroniowy jak i jabłkowy zbadano przy stężeniu od 10°Bx do 70°Bx. Każdy pomiar wykonano w trzech powtórzeniach. Sporządzono krzywe płynięcia i obliczono parametry reologiczne badanych soków aroniowego i jabłkowego.

Obliczono z równania Arrheniusa (5) wartość energii aktywacji przepływu lepkiego badanych soków. Przetestowano dwa modele opisujące zależność energii aktywacji od stężenia badanych soków, jak również dwa modele opisujące zmienność wartości współczynnika lepkości w zależności od zmiany tem-

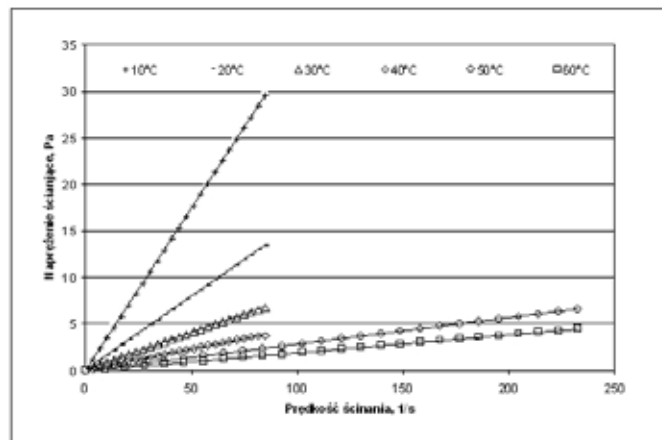
peratury i stężenia soków. Ocenę przydatności równań modeli przeprowadzono analizując wartość średniego błędu kwadratowego RMS.

Wykorzystano programy Table Curve 2D v3 oraz Table Curve 3D (Jandel Scientific).

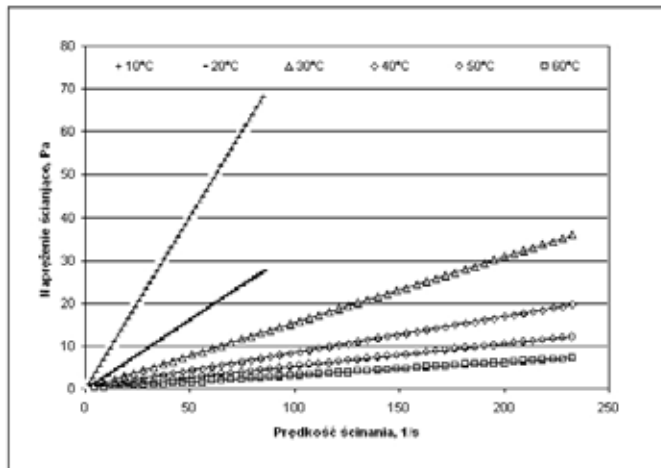
## OMÓWIENIE I DYSKUSJA WYNIKÓW

### Charakterystyka reologiczna soków

Na rysunku 1 przedstawiono otrzymane krzywe płynięcia soku aroniowego o stężeniu 70°Bx przy różnej temperaturze a na rysunku 2 krzywe płynięcia soku jabłkowego.



Rys. 1. Krzywe płynięcia soku aroniowego o stężeniu 70°Bx.



Rys. 2. Krzywe płynięcia soku jabłkowego o stężeniu 70°Bx.

Tabela 1. Wartości współczynnika lepkości soku aroniowego

Temperatura [°C]	Współczynnik lepkości, mPa·s						
	Stężenie [°Bx]						
	10	20	30	40	50	60	70
10	1,50±0,01	2,18±0,09	3,45±0,01	9,39±0,12	22,94±0,04	62,98±0,06	349,71±0,57
20	1,37±0,01	2,02±0,00	3,06±0,01	5,29±0,21	14,36±0,07	35,72±0,07	160,45±0,57
30	1,24±0,01	1,72±0,01	2,56±0,01	4,55±0,00	9,33±0,07	21,32±0,35	82,87±0,64
40	1,07±0,01	1,42±0,01	1,98±0,01	3,56±0,06	6,94±0,00	14,50±0,14	48,23±0,64
50	1,03±0,00	1,15±0,01	1,60±0,02	2,62±0,00	5,11±0,07	10,09±0,64	27,91±1,34
60	1,01±0,00	1,04±0,01	1,32±0,01	1,99±0,01	4,20±0,00	7,53±0,14	19,46±0,21

**Tabela 2.** Wartości współczynnika lepkości klarownego soku jabłkowego

Temperatura [°C]	Współczynnik lepkości, mPa·s						
	Stężenie [°Bx]						
	10	20	30	45	50	60	70
10	1,90±0,10	2,70±0,10	4,50±0,10	14,73±0,56	27,53±1,76	112,07±6,95	802,08±08,97
20	1,40±0,10	2,00±0,10	3,31±0,10	10,13±0,61	12,60±3,18	54,20±3,84	325,06±6,19
30	1,10±0,10	1,60±0,10	3,40±0,10	6,75±0,72	10,57±1,15	31,88±3,28	154,15±11,10
40	–	1,30±0,10	2,00±0,10	5,27±0,43	7,48±0,26	24,03±2,54	81,33±3,40
50	–	1,10±0,10	1,60±0,10	4,03±0,12	5,40±0,07	14,00±01,08	47,80±137
60	–	–	1,30±0,10	–	4,85±0,21	10,87±0,61	30,98±1,75

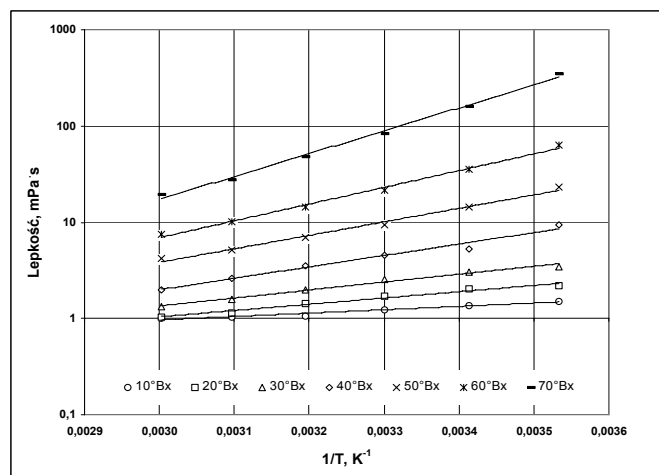
Zarówno sok aroniowy jak i jabłkowy w całym zakresie badanego stężenia i w każdej temperaturze były cieczami niutonowskimi. Wartości otrzymanych współczynników lepkości dla soku aroniowego przedstawiono w tabeli 1, a dla soku jabłkowego w tabeli 2.

Lepkość badanego soku jabłkowego wzrastała ze wzrostem stężenia przy każdej wartości temperatury. Obniżenie temperatury skutkowało wzrostem lepkości soku. Otrzymane wartości lepkości dla badanego soku jabłkowego były nieznacznie niższe od wartości, jakie otrzymali Cepeda i Villaran [1] badając depektynizowany sok jabłkowy.

Lepkość soku aroniowego była, dla każdej wartości temperatury niższa od lepkości soku jabłkowego, co wynikało z różnic w zawartości i składzie cukrów zawartych w obu sokach. Zawartość cukrów ogółem w owocach aronii wynosiła około 7%, z czego ponad 90% stanowiły cukry redukujące [10], podczas gdy zawartość cukrów w jabłkach wynosiła około 12%, z czego około 3% stanowiła sacharoza [4].

**Wpływ temperatury na lepkość soków**

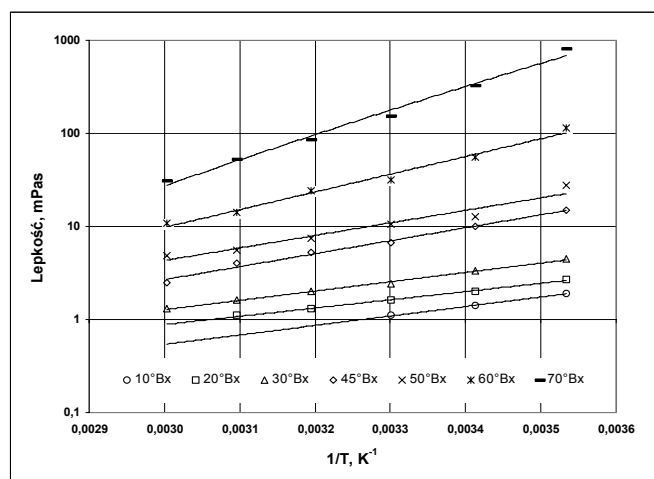
Wpływ temperatury na lepkość soków opisano równaniem Arrheniusa (5), które pozwoliło na wyznaczenie wartości energii aktywacji przepływu lepkiego. Na rys. 3 przedstawiono wykres zależności lepkości soku aroniowego od temperatury a na rys. 4 zależność od temperatury lepkości soku jabłkowego.



**Rys. 3.** Wykres Arrheniusa dla soku aroniowego.

W tabeli 3 przedstawiono wartości parametrów równania Arrheniusa (5) dla badanych soków aroniowego i jabłkowego.

Energia aktywacji przepływu lepkiego  $E_a$  badanych soków aroniowego i jabłkowego wzrastała, a wartość czynnika przedwykładniczego  $\eta_0$  malała ze wzrostem ich stężenia. Generalnie dla soku jabłkowego otrzymano wyższe wartości energii aktywacji przepływu lepkiego. Największe różnice wystąpiły przy niższych stężeniach soków: przy stężeniu 10°Bx energia aktywacji dla soku jabłkowego miała wartość przeszło dwukrotnie wyższą niż dla soku aroniowego. Ze wzrostem stężenia soków różnice te malały i przy stężeniu 30°Bx dla soku jabłkowego energia aktywacji była wyższa o 6,4% niż dla soku aroniowego, a przy stężeniu 70°Bx już tylko o 2,2%.



**Rys. 4.** Wykres Arrheniusa dla soku jabłkowego.

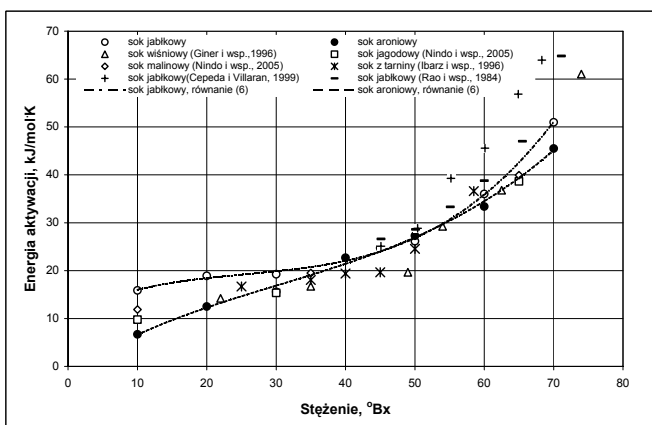
Otrzymane w pracy wartości energii aktywacji przepływu lepkiego soku jabłkowego, zawarte były w przedziale od 15,9 do 51,0 kJ/mol·K i, przy stężeniu soku powyżej 50°Bx, różniły się od wyników otrzymanych przez Cepeda i Villaran [1] dla depektynizowanego soku z owoców jabłoni kwicistej (*Malus floribunda*) (o stężeniu od 45,1°Bx do 71,1°Bx w temperaturze 5-60°C) o 8 ÷ 27%. Jednakże sok z owoców jabłoni kwicistej różni się składem od produkowanych na skalę przemysłową soków jabłkowych, między innymi wyższą zawartością pektyn oraz zawartością cukrów: dla tego soku stosunek fruktozy do glukozy wynosił 1,3, podczas gdy w przypadku handlowych soków jabłkowych wynosił on 3÷4 [1, 4]. Wartości energii aktywacji uzyskane przez Rao i wsp. [9] dla depektynizowanego soku z jabłek odmiany McIntosh (otrzy-

manego w warunkach laboratoryjnych) o stężeniu 45, 1°Bx do 68, 3°Bx w temperaturze -10/-15°C do 40°C były bardziej zbliżone do otrzymanych w niniejszej pracy dla soku jabłkowego do stężenia 60°Bx.

**Tabela 3.** Wartości parametrów równania Arrheniusa (5) dla soków aroniowego i jabłkowego

Stężenie, °Bx	Sok jabłkowy			Sok aroniowy		
	$\eta_0$ [mPa·s]	$E_a$ [kJ/mol·K]	$R^2$	$\eta_0$ [mPa·s]	$E_a$ [kJ/mol·K]	$R^2$
10	$1,7 \cdot 10^{-3}$	15,9	0,9977	$8,5 \cdot 10^{-2}$	6,7	0,9590
20	$9,8 \cdot 10^{-4}$	18,9	0,9950	$1,2 \cdot 10^{-2}$	12,5	0,9765
30	$6,9 \cdot 10^{-4}$	19,3	0,9956	$4,8 \cdot 10^{-3}$	15,6	0,9821
40	–	–	–	$5,3 \cdot 10^{-4}$	22,7	0,9771
45	$3,9 \cdot 10^{-4}$	24,7	0,9949	–	–	–
50	$3,4 \cdot 10^{-4}$	26,1	0,9497	$2,0 \cdot 10^{-4}$	27,3	0,9906
60	$2,2 \cdot 10^{-5}$	36,0	0,9864	$3,9 \cdot 10^{-5}$	33,4	0,9942
70	$2,8 \cdot 10^{-7}$	51,0	0,9934	$1,3 \cdot 10^{-6}$	45,5	0,9952

Dla soku o stężeniu 70°Bx różnica była duża i wynosiła około 25% (Rys. 5). Powodem tej różnicy był zapewne skład chemiczny obu porównywanych soków, jak również zdecydowanie niższe wartości temperatury, w których Rao i wsp. [9] wyznaczyli parametry reologiczne soku jabłkowego.



**Rys. 5.** Wykres zależności wartości energii aktywacji przepływu lepkiego od stężenia badanych soków aroniowego i jabłkowego.

**Tabela 4.** Wartości współczynników w równaniach (6) i (7) opisujących wpływ stężenia na wartość energii aktywacji przepływu lepkiego badanych soków

	Sok aroniowy	Sok jabłkowy
współczynniki w równaniu (6)		
$a_1$	0,0003	0,0002
$b_1$	0,0228	0,0157
$c_1$	0,7200	0,9177
$d_1$	10,8130	1,1571
$R^2$	0,9982	0,9955
RMS, %	2,8	13,0
współczynniki w równaniu (7)		
$a_2$	7,0906	10,0369
$b_2$	0,0265	0,2214
$R^2$	0,9868	0,9304
RMS, %	15,0	13,0

Otrzymane w pracy wartości energii aktywacji przepływu lepkiego soku aroniowego, zawarte w przedziale od 6,7 do 45,5 kJ/mol·K, były podobne do wartości otrzymanych dla klarownych soków jagodowego oraz malinowego [8], klarownego soku wiśniowego [2] oraz soku z tarniny [3].

Do opisu zależności energii aktywacji przepływu lepkiego od stężenia soku wykorzystano równanie wielomianu trzeciego stopnia zastosowane przez Cepeda i wsp., [1]

$$E_a = a_1 \cdot C^3 + b_1 \cdot C^2 + c_1 \cdot C + d_1 \quad (6)$$

oraz równanie wykładnicze zastosowane przez Giner i wsp., (1996)

$$E_a = a_2 \cdot \exp(b_2 \cdot C) \quad (7)$$

gdzie: C jest stężeniem wyrażonym w °Bx oraz  $a_p$ ,  $b_p$ ,  $c_p$ ,  $d_p$  wyrazami stałymi. Zastosowanie obydwu modeli dało zadowalające wyniki, przy czym najlepsze dopasowanie stwierdzono w przypadku modelu (6) dla soku aroniowego (Tab. 4).

### Wpływ temperatury i stężenia na lepkość badanych soków

Na lepkość soków wpływa zarówno temperatura, jak i ich stężenie, przy czym ze wzrostem temperatury lepkość maleje, a ze wzrostem stężenia soków lepkość wzrasta.

Do opisu tych zależności wykorzystano dwa modele:

$$\eta = \exp\left(a_3 + b_3 \cdot \left(\frac{1}{T}\right) + c_3 \cdot C\right) \quad (8)$$

$$\eta = a_4 \cdot \exp\left[\frac{b_4 \cdot C^2 + c_4}{8,314 \cdot T} - d_4 \cdot C^2\right] \quad (9)$$

gdzie: C jest stężeniem wyrażonym w °Bx oraz  $a_p$ ,  $b_p$ ,  $c_p$ ,  $d_p$  wyrazami stałymi.

Model (8) zastosował Cepeda i wsp. [1] do opisu równoczesnego wpływu temperatury i stężenia na lepkość soku z jabłoni kwiecistej, a model (9) został wykorzystany przez Nindo i wsp. [8] dla soków malinowego i z czarnych jagód.

Dla soku aroniowego i jabłkowego obydwie zastosowane modele dały wysokie wartości współczynników determinacji rzędu 0,9956-0,9986, jednakże wartości średniego błędu kwadratowego RMS były zbyt wysokie aby można było uznać, że którykolwiek z zastosowanych modeli dobrze opisuje zmienność współczynnika lepkości badanych soków, aroniowego i jabłkowego, przy równoczesnej zmianie temperatury i stężenia (tab. 5).

**Tabela 5.** Wartości współczynników w równaniach (8) i (9) opisujących równoczesny wpływ temperatury i stężenia na lepkość badanych soków

	Sok aroniowy	Sok jabłkowy
współczynniki w równaniu (8)		
$a_3$	-26,311	-31,017
$b_3$	6006,252	993,581
$c_3$	0,1561	0,1855
$R^2$	0,9956	0,9978
RMS, %	75,8	74,6
współczynniki w równaniu (9)		
$a_4$	0,0154	0,0006
$b_4$	8,4339	8,5924
$c_4$	9149,5554	16314,09
$d_4$	0,0023	0,0022
$R^2$	0,9983	0,9986
RMS, %	34,7	43,4

## STWIERDZENIA I WNIOSKI

1. Sok aroniowy i jabłkowy w zakresie stężenia od 10°Bx do 70°Bx i w zakresie temperatury od 10 do 60°C były cieczami niutonowskimi. Wartość współczynnika lepkości tych soków malała ze wzrostem temperatury i wzrastała ze wzrostem stężenia.

2. Zależność lepkości soków aroniowego i jabłkowego od temperatury była zgodna z równaniem Arrheniusa. Energia aktywacji przepływu lepkiego soku aroniowego wyniosła od 6, 7 kJ/mol·K przy stężeniu 10°Bx do 45, 5 kJ/mol·K przy stężeniu 70°Bx, natomiast soku jabłkowego od 15, 9 kJ/mol·K przy stężeniu 10°Bx do 51, 0 kJ/mol·K przy stężeniu 70°Bx. Zależność wartości energii aktywacji przepływu lepkiego badanych soków od ich stężenia można było z dużą dokładnością opisać równaniem wielomianu stopnia trzeciego lub równaniem wykładniczym.

3. Przetestowane w pracy równania do opisu równoczesnego wpływu temperatury i stężenia na wartość współczynnika lepkości nie dały zadowalających wyników zgodności z danymi eksperymentalnymi.

## LITERATURA

- [1] Cepeda E., Villarán M.C.: Density and viscosity of Malus floribunda juice as a function of concentration and temperature, J. Food Eng., 1999, 41, 103-107.
- [2] Giner J., Ibarz A., Garza S., Xhian-Quan S.: Rheology of clarified cherry juices, J. Food Eng., 1996, 30, 147-154.
- [3] Ibarz A., Garvin A., Costa J.: Rheological behaviour of sloe (Prunus spinosa) fruit juices, J. Food Eng., 1996, 60, 423-430.
- [4] Karadeniz F., Eksi A.: Sugar composition of apple juices, Eur. Food Res. Technol., 2002, 215, 145-148.
- [5] Krokida M.K., Maroulis Z.B., Saravacos G.D.: Rheological properties of fluid fruit and vegetable puree products: compilation of literature data, Inter, J. Food Prop., 2001, 4 (2), 179-200.
- [6] Kubiak K.: Rynek zagęszczanego soku jabłkowego w Polsce i na świecie, Przemysł Fermentacyjny i Owocowo-Warzywny, 2001, 9, 13-18.

- [7] Mierwiński J. (2001): Produkcja i eksport soków z owoców „pozostałych” Przemysł Fermentacyjny i Owocowo-Warzywny, 2001, 9, 19.
- [8] Nindo C.I., Tang J., Powers J.R., Singh P.: Viscosity of blueberry and raspberry juices for processing applications, J. Food Eng., 2005, 69, 343-350.
- [9] Rao M.A., Cooley H.J., Vitali A.A.: Flow properties of Concentrated Juice at Low Temperatures, Food Technol., 1984, 38, 3, 113-119.
- [10] Skupień K., Ochman I., Grajkowski J.: Influence of mineral fertilization on selected physical features and chemical composition of aronia fruit, Acta Agrophysica, 2008, 11 (1), 213-226.
- [11] Steffe J.F.: Rheological methods in food process engineering, Second edition (second printing), Freeman Press, East Lansing, MI, USA, 1992.
- [12] Zuritz C.A., Muñoz Puntos E., Mathey H.H., Pérez E. H., Gascón A., Rubio L.A., Carullo, Chernikoff R.E., Cabeza M.S.: Density, viscosity and coefficient of thermal expansion of clear grape juice at different soluble solid concentrations and temperatures. J. Food Eng., 2005, 71, 143-149.

## RHEOLOGICAL PROPERTIES OF CLARIFIED JUICES: CHOKEBERRY AND APPLE

### SUMMARY

*In this work the rheological properties of clarified juices: chokeberry and apple with different soluble solid content (10-70°Bx) at range of temperatures 10-60°C were studied. The examined juices behaved as Newtonian fluids and their viscosity decreased with an increase in temperature and increased with an increase in soluble solid content. The chokeberry juice showed slightly lower activation energy  $E_a$  than clarified apple juice. The effect of soluble solids on energy activation can be described by an polynomial or an exponential equations. The mathematical models known from the literature describing the combined effect of temperature and soluble solids content on juices viscosity has not given satisfactorily results of the accuracy with experimental data.*