

Utjecaj udjela suhe tvari na reološka svojstva kaše jabuke pri niskim temperaturama prije i tijekom smrzavanja

KUI 17/2005.
Prispjelo 8. veljače 2005.
Prihvaćeno 21. travnja 2005.

A. Pozderović*, T. Moslavac i A. Pichler

Sveučilište J. J. Strossmayera u Osijeku, Prehrambeno tehnološki fakultet,
F. Kuhača 18, 31000 Osijek, Hrvatska

Poznavanje reoloških svojstava hranidbenih tvari od velikog je značenja za postizanje određenih svojstava hrane i za vođenje procesa pri njezinoj proizvodnji. Konzistencija je jedan od bitnih čimbenika koji određuju kakvoću namirnica, pa tako i onih kojima se smrzavanjem želi očuvati veća stabilnost tijekom skladištenja. Cilj rada je istraživanje utjecaja udjela netopljive i topljive suhe tvari, brzine smicanja i kontinuiranog hlađenja na reološka svojstva kaše jabuke pri niskim temperaturama prije i tijekom smrzavanja. Istraživanja su provedena s kašom jabuke sorte Idared s različitim udjelom netopljive suhe tvari koja je pripremljena miješanjem u različitim omjerima seruma i pulpe, koji su prethodno razdvojeni centrifugiranjem. Kaša s različitim udjelom topljive suhe tvari pripremljena je dodatkom saharoze. Mjerenja reoloških svojstava provedena su na rotacijskom viskozimetru Rheotest 3 povezanom s kriostatskom jedinicom. Reološka svojstva ispitivanih kaša određena su mjerenjem i grafičkim prikazom ovisnosti smičnog naprezanja i brzine smicanja pri 10 °C, te izračunavanjem koeficijenta konzistencije i indeksa tečenja. U ovom radu je istraživana ovisnost smičnog naprezanja i prividne viskoznosti o temperaturi kod kontinuiranog hlađenja od 10 °C do potpunog smrzavanja kaše pri konstantnoj brzini smicanja. Određena je temperatura nakon koje dolazi do naglog povećanja smičnog naprezanja i manje brzine snižavanja temperature (T_k), kao i najniža temperatura pothlađivanja kod koje još dolazi do smicanja (T_m). Ispitivanja su pokazala da reološka svojstva kaše jabuke pri niskim temperaturama, tijekom kontinuiranog hlađenja i temperature T_k i T_m , ovise o udjelu netopljive, topljive suhe tvari i brzini smicanja. Brzina smicanja i hlađenje kod pojedinih tipova kaše različito utječu na reološka svojstva kaše tijekom smrzavanja. Hlađenjem ispitivanih kaša jabuke u području smrzavanja dolazi do pothlađivanja kaše do temperature (T_m), koja je ovisila o brzini smicanja i udjelu suhe tvari. Zamjetne su promjene reoloških svojstava kaše jabuke u području pothlađivanja zbog nastajanja kristala leda kao novih krutih čestica i njihovog rasta, a zapažene su pri temperaturama od –5,55 do –10,50 °C, ovisno o udjelu suhe tvari i brzini smicanja.

Ključne riječi: *Kaša jabuke, reološka svojstva, suha tvar, brzina smicanja, niske temperature*

Uvod

Poznavanje reoloških svojstava hrane važno je u izvedbi procesa tečenja, kontroli kvalitete tijekom proizvodnje i skladištenja, mjerenju stabilnosti procesa i za utvrđivanje potrebitih procesnih parametara.^{1–5} Reološka svojstva hrane pri niskim temperaturama, a posebno u fazi smrzavanja važna su radi provedbe i unapređenja procesa smrzavanja hrane.^{6–10}

Do sada su provedena brojna istraživanja reoloških svojstava hrane pri niskim temperaturama, ali ne i u fazi smrzavanja nakon početne temperature smrzavanja. Istraživan je utjecaj kemijskog sastava, različitih dodataka, temperature skladištenja, smrzavanja, odmrzavanja kao i utjecaj procesnih parametara na reološka svojstva hrane.^{11–17} M. A. Rao i drugi^{12, 15} istraživali su reološka svojstva kaše jabuke, proučavali su utjecaj postupka prerade jabuke, čvrstoće i procesnih veličina na tip tekućine, indeks tečenja i koefici-

jent konzistencije. Odredili su djelovanje udjela pulpe i finoće čestica na prividnu viskoznost kaše jabuke kod brzine smicanja 100 s⁻¹ pri temperaturi 25 °C. U navedenim radovima primijenjena je metoda mjerenja ovisnosti smičnog naprezanja o brzini smicanja kod pojedinih konstantnih temperatura. Za razliku od toga u ovom radu je provedeno istraživanje ovisnosti smičnog naprezanja o temperaturi tijekom hlađenja kod konstantne brzine smicanja.

Pored topljivih sastojaka i udjela vode na reološka svojstva kaše jabuke utječe i udjel, veličina i razdioba čvrstih čestica. Tijekom smrzavanja tih sustava nastaju kristali leda kao nove čvrste čestice u sustavu, te se povećava koncentracija otopljenih tvari u intersticijskoj otopini. Dinamika tih promjena ovisi o procesnim parametrima i sastavu sustava. Promjene su kontinuirane sve do prelaska sustava iz polutekućeg stanja u čvrsto stanje.

U ovom radu istraživan je utjecaj udjela netopljive i topljive suhe tvari, brzine smicanja kod kontinuiranog hlađenja (konstantna brzina hlađenja) na reološka svojstva kaše jabuke pri niskim temperaturama prije smrzavanja i tijekom

* Autor za korespondenciju: Andrija Pozderović; Tel. +385 31 224 313; Fax: +385 31 207 115; e-mail: Andrija.Pozderovic@ptfos.hr

smrzavanja do temperature T_m na kojoj sustav još ima viskozna svojstva. Ispitivan je utjecaj nastalih kristala leda i uvjeta njihovog nastajanja na reološka svojstva kaše jabuke tijekom smrzavanja.

Eksperimentalni dio

Istraživanja su provedena s kašom jabuke sorte Idared. Kriške jabuke nakon blanširanja pasirane su na laboratorijskoj pasirci te je tako dobivena kaša nazvana osnovna kaša jabuke.

Kaše jabuke s različitim udjelom netopljive suhe tvari pripremljene su centrifugiranjem osnovne kaše jabuke na laboratorijskoj centrifugi TEHTNICA (Centric 322A, Slovenija) kod $n_v = 3000 \text{ min}^{-1}$ u trajanju od 15 min. Odjeljivanjem je dobivena pulpa i serum kaše jabuke. Za mjerenje je poslužila 100 %-tna pulpa i kaša jabuke dobivena miješanjem 1/3 seruma i 2/3 osnovne kaše. Kaše jabuke s različitim udjelom topljive suhe tvari pripremljene su dodatkom saharoze u osnovnu kašu jabuke s masenim udjelom od $w = 20\%$ i 40% .

Mjerenja su provedena pomoću rotacijskog viskozimetra RHEOTEST 3 (WEB MLW, Njemačka) primjenom sustava koncentričnih cilindara. Za ohlađivanje uzorka do temperature smrzavanja primijenjen je optočni tekućinski termostat (Ultra-Kryostat MK 70, MLW) s uređajem za precizno reguliranje i održavanje temperature od 60 °C do -30 °C (max. odstupanje temp. $\pm 0,02\text{ °C}$).

Reološka svojstva ispitivanih kaša određena su praćenjem ovisnosti smičnog naprezanja (τ) i brzine smicanja (D) na temperaturi od 10 °C . Na osnovi te ovisnosti τ/D određen je tip kapljevine gdje je utvrđeno da su sve kaše jabuke imale pseudoplastična svojstva. Stoga je za izračun reoloških varijabla: koeficijenta konzistencije (k) i indeksa tečenja (n) primijenjen Ostwald-Reinerov "stupnjeviti zakon":

$$\tau = k \cdot D^n$$

Izračunavanje prividne viskoznosti obavljeno je primjenom izraza:

$$\mu = k \cdot D^{(n-1)}$$

Utjecaj udjela suhe tvari na reološka svojstva kaše jabuke tijekom hlađenja od 10 °C do temperature T_m istraživan je mjerenjem ovisnosti smičnog naprezanja i prividne viskoznosti o temperaturi tijekom hlađenja pri pojedinim konstantnim brzinama smicanja. Primijenjena je konstantna brzina hlađenja tako da se kaša jabuke hladila konstantnom brzinom odvođenja topline od 10 °C do najniže temperature pothlađivanja pri kojoj je još dolazilo do smicanja (T_m) pri pojedinim konstantnim brzinama smicanja (D).

Konstantnom brzinom odvođenja topline osnovna kaša jabuke se hladila od 10 °C do temperature T_k brzinom od $0,34\text{ °C min}^{-1}$ pri brzini smicanja $5,399\text{ s}^{-1}$. Pri svim mjerenjima primijenjena je uvijek ista brzina odvođenja topline.

Temperatura, smično naprezanje (τ), prividna viskoznost (μ) očitavani su od temperature 10 °C do 0 °C svake minute, a od 0 °C do temperature na kojoj dolazi do naglog povećanja vrijednosti smičnog naprezanja (T_k) svakih 30 s. U

intervalu od temperature T_k do T_m navedene veličine su očitavane svakih 15 s na displeju viskozimetra.

Tijekom konstantne brzine hlađenja utvrđena je temperatura nakon koje dolazi do naglog povećanja smičnog naprezanja i manje brzine snižavanja temperature (T_k), kao i najniža temperatura pothlađivanja kod koje još dolazi do smicanja (T_m).

Rezultati i rasprava

Na osnovi rezultata provedenih reoloških mjerenja pri 10 °C utvrđeno je da su sve ispitivane kaše jabuke pseudo-plastične, nenenewtonske tekućine kojima s povećanjem brzine smicanja prividna viskoznost opada, a vrijednosti za indeks tečenja su manje od 1 (tablica 1).

Povećanjem udjela netopljive suhe tvari u kaši jabuke indeks tečenja ima manje vrijednosti, a povećanje udjela topljive suhe tvari u uzorcima (dodatak saharoze) dovodi do povišenja vrijednosti indeksa tečenja. Konzistencija ispitivanih uzoraka dana vrijednostima koeficijenta konzistencije bila je manja kod kaše jabuke s većim udjelom topljive suhe tvari, a veća povećanjem udjela netopljive suhe tvari. Kod brzine smicanja $146,00\text{ s}^{-1}$ na temperaturi od 10 °C , najnižu prividnu viskoznost imala je kaša jabuke 2 s dodatkom seruma, a najveći kaša jabuke 3 s 100 %-tnom pulpom.

Iz podataka prikazanih na slikama 1, 2 i 3 vidi se da se hlađenjem kaše jabuke od 10 °C na niže smično naprezanje zamjetno ne mijenja sve do temperature T_k . Nakon temperature T_k dolazi do naglog povećanja smičnog naprezanja pri konstantnoj brzini smicanja. To je povećanje smičnog naprezanja na temperaturi T_k zbog početka smrzavanja kaše. Početkom smrzavanja kaše nastaju kristali leda kao nove čvrste čestice u sustavu, povećava se udjel suhe tvari i viskoznost intersticijalne kapljevine zbog čega se naglo povećava smično naprezanje. Daljnjim hlađenjem temperatura se sporije snižava do najniže temperature pothlađivanja T_m kod koje još dolazi do smicanja. Pri toj temperaturi udjel kristala leda je toliki da sustav gubi viskozna svojstva te poprima plastične značajke. Nakon temperature T_m više nije bilo moguće mjeriti smično naprezanje i prividnu viskoznost. Daljnjim hlađenjem dolazi do potpunog skrućivanja sustava. Nakon postizanja temperature T_k temperatura se sporije snižava zbog odvođenja latentne topline smrzavanja. Temperatura smrzavanja nije očekivano konstantna zbog povećanja udjela suhe tvari izdvajanjem leda.

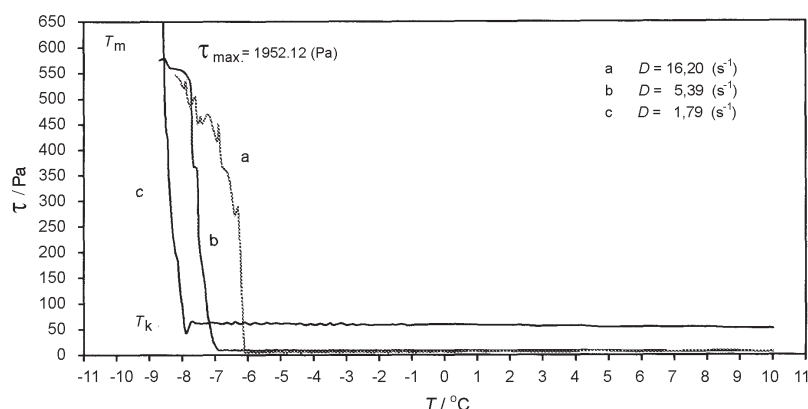
Utjecaj udjela netopljive suhe tvari na reološka svojstva i temperature T_k , T_m

Rezultati istraživanja utjecaja udjela netopljive suhe tvari u kaši jabuke na temperature T_k i T_m , vremena t_k i t_m , smično naprezanje i prividnu viskoznost tijekom hlađenja prikazani su na slici 1 i tablici 2.

Na slici 1 prikazana je ovisnost smičnog naprezanja o temperaturi tijekom hlađenja i konstantnoj brzini smicanja za kaše jabuke (1, 2 i 3) s različitim udjelom netopljive suhe tvari. Na toj slici i u tablici 2 vidi se da su kod kaše jabuke s većim udjelom netopljive suhe tvari niže temperature T_k i T_m , veća vremena t_k i t_m i veća prividna viskoznost na temperaturi T_m . Za kašu jabuke 2 sa najmanjim udjelom neto-

T a b l i c a 1 – Reološki parametri ispitivanih kaša jabuke pri temperaturi 10 °C (prividna viskoznost pri brzini smicanja 146,00 s⁻¹)T a b l e 1 – Rheological parameters of examined apple puree at temperature of 10 °C (apparent viscosity at shear rate of 146,00 s⁻¹)

Uzorak Sample	Temperatura Temperature <i>T</i> /°C	<i>k</i> /Pa · s ^{<i>n</i>}	<i>n</i>	<i>R</i> ²	<i>μ</i> /mPa · s	Tip tekućine Flow behaviour
1. Osnovna kaša jabuke Basic apple puree	10	3,99	0,37	0,962	277,17	pseudoplastična pseudoplastic
2. Kaša jabuke s 1/3 seruma osnovne kaše 1 +2/3 osnovne kaše 1 Apple puree with 1/3 basic puree serum 1 + 2/3 basic puree 1	10	1,96	0,38	0,794	86,97	pseudoplastična pseudoplastic
3. Kaša jabuke s 100 % pulpe osnovne kaše 1 Apple puree with 100 % basic puree pulp 1	10	46,84	0,19	0,945	905,05	pseudoplastična pseudoplastic
4. Osnovna kaša jabuke Basic apple puree	10	9,61	0,21	0,857	–	pseudoplastična pseudoplastic
5. Osnovna kaša 4 s 20 % saharoze, w/% Basic puree 4 with 20 % sucrose, w/%	10	7,66	0,24	0,903	158,30	pseudoplastična pseudoplastic
6. Osnovna kaša 4 sa 40 % saharoze, w/% Basic puree 4 with 40 % sucrose, w/%	10	5,78	0,31	0,911	180,86	pseudoplastična pseudoplastic

Slika 1 – Ovisnost smičnog napreznja (τ) o temperaturi tijekom kontinuiranog hlađenja kaša jabuke s različitim udjelom netopljive suhe tvari: (a) kaša jabuke 2 s 1/3 seruma osnovne kaše 1 + 2/3 osnovne kaše 1, (b) osnovna kaša jabuke 1, (c) kaša jabuke 3 sa 100 % pulpe osnovne kaše 1, kod različitih brzina smicanja (*D*)Fig. 1 – Shear stress temperature dependence during continuous cooling of apple puree with the different insoluble dry solid fraction: (a) apple puree 2 with 1/3 basic puree serum 1 + basic puree 1; (b) basic apple puree 1; (c) apple puree 3 with 100 % basic puree pulp 1 at different shear rates (*D*)

pljive suhe tvari $T_k = -6,1$ °C, $T_m = -8,2$ °C, a za kašu 3 s najvećim udjelom $T_k = -7,9$ °C, $T_m = -9,5$ °C. Iz navedenog se može zaključiti da je povećanjem udjela netopljive suhe tvari u kaši jabuke potrebno više vremena za odvođenje osjetne topline hlađenja do temperature T_k i da se ta temperatura snižava. Kod kaše jabuke 2 s najmanjim udjelom netopljive suhe tvari zbog najvećeg udjela vode bila je viša temperatura T_k i znatno niža prividna viskoznost pri temperaturi T_m nego kod ostale dvije kaše.

Utjecaj udjela topljive suhe tvari na reološka svojstva i temperature T_k i T_m

Rezultati istraživanja utjecaja udjela topljive suhe tvari u kašama jabuke na temperature T_k i T_m , vremena t_k i t_m ,

smično napreznje i na prividnu viskoznost pri hlađenju, prikazani su u tablici 2 i na slikama 2 i 3.

U tablici 2 prikazane su vrijednosti prividne viskoznosti na temperaturi T_m tijekom hlađenja kaše jabuke s različitim udjelom topljive suhe tvari kod različitih brzina smicanja. Povećanjem udjela topljive suhe tvari u kaši jabuke 4 (dodatkom saharoze) uočava se veće snižavanje temperatura T_k i T_m nego pri povećanju udjela netopljive suhe tvari.

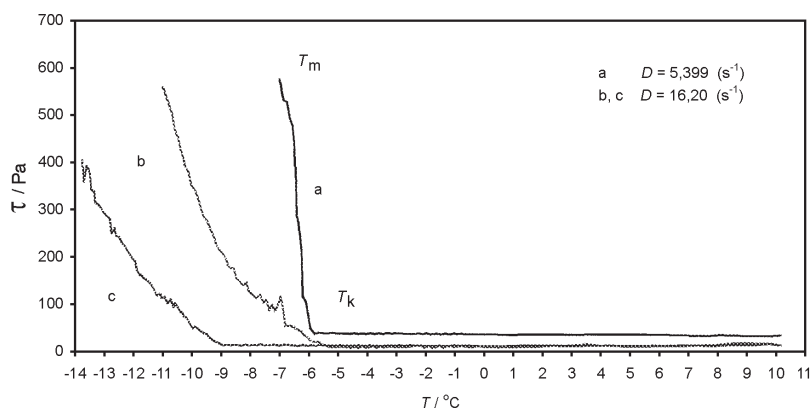
Na slikama 2 i 3 prikazana je ovisnost smičnog napreznja o temperaturi tijekom kontinuiranog hlađenja kaše jabuke s različitim udjelom topljive suhe tvari pri konstantnim brzinama smicanja. Iz podataka u tablici 2 i slikama 2 i 3 vidi se da su kod kaše jabuke s većim udjelom topljive suhe tvari kod manjih i kod većih brzina smicanja niže temperature T_k i T_m , veća vremena t_k i t_m i niža prividna viskoznost. Dodatkom 20 %-tne saharoze u osnovnu kašu jabuke pri manjoj i pri većoj brzini smicanja temperatura T_k se znatno ne snižava; već je sniženje ispod 1 °C. Međutim, dodatkom 40 %-tne saharoze temperatura T_k se snižava za više od 3 °C pri većim i manjim brzinama smicanja. Dodatkom saharoze ($w = 20$ % i 40 %) u osnovnu kašu jabuke više se snižava temperatura T_m nego T_k . Pri manjim brzinama smicanja, T_m je niža za 4 °C (20 %-tne saharoze) i za 6 °C (40 %-ne saharoze), pri većim brzinama smicanja sniženje je za oko 1 °C i 3 °C. Na slikama 2 i 3 vidi se da pri manjim brzinama smicanja dodatkom 20 %-tne i 40 %-tne saharoze u kašu jabuke krivulja ovisnosti τ o T -u nema oštar prijelom pri temperaturi T_k i da je pothlađivanje znatno niže (niža temperatura T_m , $-11,2$ °C i $-13,25$ °C) nego pri većim brzinama smicanja. Kod većih brzina smicanja krivulje ovisnosti τ o T -u imaju oštar prijelom na temperaturi T_k i manje pothlađivanje. Dodatkom $w = 20$ i 40 %-tne saharoze u kašu jabuke smanjuje se prividna viskoznost na temperaturi T_m u odnosu na osnovnu kašu. Kod

T a b l i c a 2 – Ovisnost temperature T_k i T_m , vremena hlađenja t_k i t_m o udjelu netopljive i topljive suhe tvari kaše jabuke i brzini smicanja, pri kontinuiranom hlađenju

T a b l e 2 – Dependence of temperatures T_k , T_m and cooling time t_k , t_m of insoluble and soluble dry solid fraction of apple puree and shear rate at continuous cooling

Uzorak Sample	D/s^{-1}	T_k °C	T_m °C	μ (kod temp. T_m) (at temp. T_m)	$t_k/\text{min.}$	$t_m/\text{min.}$
				Pa · s		
1. Osnovna kaša jabuke Basic apple puree	5,399	-6,90	-8,70	104,16	43,0	50,5
2. Kaša jabuke s 1/3 seruma osnovne kaše 1 +2/3 osnovne kaše 1 Apple puree with 1/3 basic puree serum 1 +2/3 basic puree 1	16,20	-6,10	-8,20	33,80	42,0	49,7
3. Kaša jabuke s 100 % pulpe osnovne kaše 1 Apple puree with 100 % of basic puree pulp 1	1,79	-7,90	-9,50	1084,62	47,5	53,5
4. Osnovna kaša jabuke Basic apple puree	5,399 242,975	-5,6 -6,5	-7,05 -6,65	98,01 1,97	41,5 1,97	50,25 43,7
5. Osnovna kaša jabuke 4 sa 20 % saharoze, w/% Basic apple puree 4 with 20 % sucrose, w/%	16,20 729,00	-5,85 -6,9	-11,20 -7,25	34,61 0,66	45,5 45,0	66,0 46,5
6. Osnovna kaša jabuke 4 sa 40 % saharoze, w/% Basic apple puree 4 with 40 % sucrose, w/%	16,20 729,00	-9,1 -9,85	-13,25 -10,0	34,50 0,72	66,0 54,0	94,3 54,5

manjih brzina smicanja prividna viskoznost na temperaturi T_m je znatno veća nego kod većih brzina smicanja. Pri manjim brzinama smicanja, nakon temperature T_k , smično naprezanje (τ) se postupno povećava. To znači da je stvaranje kristala leda i povećanje prividne viskoznosti kaše jabuke sporije nego pri većim brzinama smicanja. Pri većim brzinama smicanja smično naprezanje (τ) se nakon temperature T_k naglo povećava i krivulja ima oštar prijelom. Pri ovim brzinama smicanja brža je izmjena topline pa je veća brzina nastajanja kristala leda, nastaju sitniji kristali leda, prividna viskoznost je na temperaturi T_m manja.



S l i k a 2 – Ovisnost smičnog naprezanja (τ) o temperaturi pri različitim brzinama smicanja (D) tijekom kontinuiranog hlađenja osnovne kaše jabuke 4 s različitim udjelom topljive suhe tvari: (a) osnovna kaša 4, (b) osnovna kaša 4 s 20 % saharoze, (c) osnovna kaša 4 s 40 % saharoze

F i g. 2 – Shear stress (τ) temperature dependence at different shear rates (D) during continuous cooling of basic apple puree 4 with different soluble dry solid fraction: (a) basic puree 4; (b) basic puree 4 with 20 % sucrose; (c) basic apple 4 with 40 % sucrose

Zaključci

Hlađenjem kaše jabuke smično naprezanje i prividna viskoznost naglo se povećavaju nakon početka smrzavanja kaše na temperaturi T_k . Do naglog povećanja smičnog naprezanja i prividne viskoznosti na temperaturi T_k dolazi zbog nastajanja kristala leda i povećanja viskoznosti intersticijalne kapljevine.

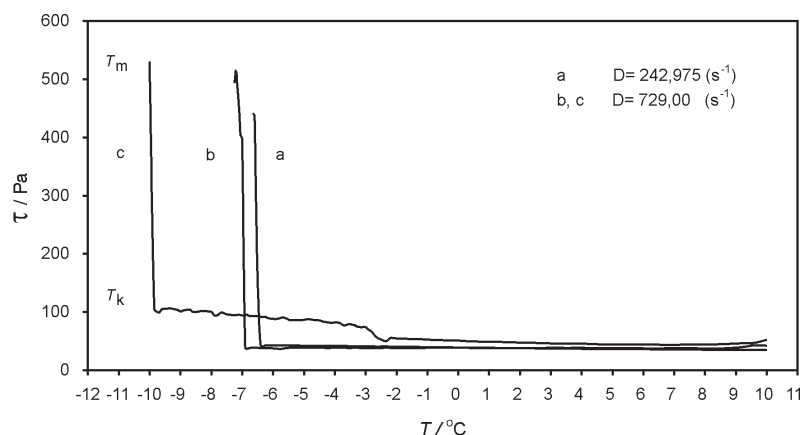
Tijekom smrzavanja kaša zadržava viskozna svojstva do najniže temperature pothlađivanja T_m na koji još dolazi do smicanja. Nakon T_m kaša ima plastična svojstva sve do potpunog skrućivanja (smrzavanja).

Povećanjem udjela netopljive suhe tvari u kaši jabuke snižavaju se temperature T_k i T_m , veća su vremena t_k i t_m te je prividna viskoznost kaše pri temperaturi T_m veća.

Povećanjem udjela topljive suhe tvari u kaši jabuke snižavaju se temperature T_k i T_m , veća su vremena t_k i t_m te je pri-

vidna viskoznost pri temperaturi T_m manja. Povećanjem udjela topljive suhe tvari u kaši jabuke veće je sniženje temperature T_k i T_m nego povećanjem udjela netopljive suhe tvari.

Pri većim brzinama smicanja brže je odvođenje topline, sitniji su kristali leda, manja je prividna viskoznost, brže smrzavanje kaše (manja su vremena t_k i t_m). Povećanje udjela topljive suhe tvari dolazi više do izražaja kod manjih brzina smicanja.



Slika 3 – Ovisnost smičnog naprezanja (τ) o temperaturi pri različitim brzinama smicanja (D) tijekom kontinuiranog hlađenja osnovne kaše jabuke 4 s različitim udjelom topljive suhe tvari; (a) osnovna kaša 4, (b) osnovna kaša 4 s 20 % saharoze, (c) osnovna kaša 4 s 40 % saharoze

Fig. 3 – Shear stress (τ) temperature dependence at different shear rates (D) during continuous cooling of basic apple puree 4 with different soluble dry solid fraction; (a) basic puree 4; (b) basic puree 4 with 20 % sucrose; (c) basic apple 4 with 40 % sucrose

Popis simbola List of symbols

- τ – smično naprezanje, Pa
– shear stress, Pa
- D – brzina smicanja, s^{-1}
– shear rate, s^{-1}
- μ – prividna viskoznost, $Pa \cdot s$
– apparent viscosity, $Pa \cdot s$
- k – koeficijent konzistencije, $Pa \cdot s^n$
– consistency coefficient, $Pa \cdot s^n$
- n – indeks tečenja
– flow index
- n_v – brzina vrtnje, min^{-1}
– rotation speed, min^{-1}
- R^2 – koeficijent korelacije
– correlation coefficient
- w – maseni udjel, %
– mass fraction, %
- T_k – temperatura nakon koje dolazi do naglog povećanja smičnog naprezanja i manjeg snižavanja temperature, °C
– temperature after fast increase of shear stress and lower temperature decrease, °C
- T_m – najniža temperatura pothlađivanja kod koje još dolazi do smicanja, °C
– the lowest sub-cooling temperature at which still shear occurs, °C
- t_k, t_m – vrijeme hlađenja za koje se postiže temperatura T_k i T_m , min.
– time of cooling which is needed to achieve temperatures T_k and T_m , min

Literatura References

- S. S. Davis, *J. Texture Studies* **4** (1973) 15.
- J. M. De Man, P. W. Voisey, V. F. Rasper, D. W. Stanley, "Rheology and texture in food quality", Avi Publishing Company, INC. Westport (1975).
- J. L. Kokini, *J. Food Eng.* **6** (1987) 51.
- J. D. Dziezak, *Food Technol.* **45** (1991) 118.
- A. A. Vitali, M. A. Rao, *J. Food Sci.* **49** (1984) 876.
- C. Ferrero, M. N. Martino, N. E. Zairitzky, *Intern. J. Food Sci. and Tech.* **28** (1993) 481
- V. Hegedušić, T. Lovrić, J. Zolić, M. Banović *Prehrambeno-tehnol. biotehnol. rev.* **29** (1991) 127.
- V. Hegedušić, V. Piližota, D. Šubarić, *Prehrambeno-tehnol. biotehnol. rev.* **32** (1994) 67.
- V. Hegedušić, M. Carić, Z. Herceg, D. Rade, *Mljekarstvo* **45** (1995) 191.
- A. Ibarz, J. Segales, *Alimentaria* **266** (1995) 69.
- V. Hegedušić, T. Lovrić, *Kem. Ind.* **39** (1990) 377.
- C-G Qiu, M. A. Rao, *J. Food Sci.* **53** (1988) 1165.
- H. S. Ramaswamy, S. Basak, F. R. Voort, *Canadian Agricultural Engineering* **36** (1994) 109.
- S. P. Suely, F. C. Da Silva, R. C. A. Largo, R. Y. Qassim, *Intern. J. Food Tech.* **31** (1996) 319.
- M. A. Rao, H. J. Cooley, J. N. Nogueira, M. R. McLellan, *J. Food Sci.* **51** (1986) 176.
- S. Saeed, N. K. Howell, *J. Sci. Food Agric.* **84** (2004) 1216.
- M. Ishihara, H. Moritaka, *J. Jap. Soc. Food Sci. Tech* **51** (2004) 382.

SUMMARY

Influence of Dry Solid Fraction on the Rheological Properties of Apple Puree at Low Temperatures Before and During the Freezing*A. Pozderović, T. Moslavac, and A. Pichler*

The knowledge of rheological properties is very important either for achieving specific food properties, or for designing production procedure. The consistency is one of the significant factors, which specifies the quality of foodstuffs, including those, which are kept by freezing in order to preserve their stability for a longer period. The aim of this work was to research the influence of soluble and insoluble matter before and during freezing. Investigation was carried out with apple puree of Idared sort by different insoluble dry solid fraction. The apple puree was made by mixing serum and pulp at different rates that had been previously separated in the process of centrifuge. The puree with varied soluble dry solid fraction was prepared by adding the sucrose.

Measures were carried out using the rotary viscosimeter Rheotest 3 (VEB MLW, Germany) with application of concentric cylinder systems. Thermostat "Ultra-Kryostat MK70" with temperature regulation from 60 °C to –30 °C was used for cooling the sample to the freezing temperature. The rheological properties of purees were measured and shown by graphic representation showing relation between shear stress and shear rate at the temperature of 10 °C and by calculating the consistency coefficient and the flow behaviour index. Results of these measurements (Table 1) showed that all of analysed apple purees were pseudoplastic, Non-Newtonian fluids. The consistency of examined samples (given with consistency coefficient) was lower in apple purees with bigger fraction of soluble matter. By increasing fraction of insoluble matter, examined samples consistency was increased. Shear stress, apparent viscosity temperature, dependence of apple puree with the different dry solid fraction, was investigated at the constant shear rate (Fig. 1–3). The apple purees were continuously cooling from 10 °C to the complete puree freezing. It was measured the temperature at which shear stress increases and the temperature at which (T_k) falls. The lowest temperature of cooling at which the shear (T_m) is still present was also measured. During cooling of the apple puree, the shear stress and apparent viscosity is suddenly increased after initial puree freezing at temperature T_k because of ice crystals growth. The examinations showed that during continuous cooling at low temperatures, the rheological properties of apple puree as well as temperatures T_k and T_m depended on soluble and insoluble dry solid fraction and shear rate (Table 2). Temperatures T_k and T_m were reduced by an increase of insoluble matter fraction. At the same effect of insoluble matter fraction, apparent viscosity as well as times t_k and t_m were increased. Temperatures T_k and T_m were decreased with soluble matter fraction increase in apple puree. At the same effect of soluble matter fraction, apparent viscosity at temperature T_m was decreased and times t_k and t_m were increased. Decrease of temperatures T_k and T_m was greater with soluble matter fraction increasing than with an increase of insoluble matter fraction. It was also clear that the shear rate and cooling of certain puree sorts influenced the puree rheological properties during the freezing process in different ways. If the apple purees were cooled at a freezing temperature, their temperature (T_m) depended on the way of cooling, shear rate, and dry solid fraction. There were some significant changes of rheological properties of apple puree while being cooled due to ice crystals formation and growth. They were formed as solid particles and observed at temperatures ranging from –5.55 to –10.50 °C, depending on dry solid matter and shear rate.

*University J. J. Strossmayer in Osijek,
Faculty of Food Technology,
F. Kuhaća 18, P. O. box 709, HR-31107 Osijek, Croatia*

*Received February 8, 2005
Accepted April 21, 2005*