

Utjecaj ultrazvuka visoke snage na reološka svojstva i svojstva pjenjenja modelnih sladolednih smjesa

Verica Batur¹, Vesna Lelas², Anet Režek Jambrak²,
Zoran Herceg^{2*}, Marija Badanjak²

¹Prehrambeno-tehnološka škola, Gjüre Prejca 2, Zagreb

²Prehrambeno-biotehnološki fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Pierottijeva 6, Zagreb

Prispjelo - Received: 15.01.2010.
Prihvaćeno - Accepted: 22.02.2010.

Sažetak

U radu je ispitivan utjecaj ultrazvuka visoke snage na reološka svojstva i značajke pjenjenja pojedinih modelnih sladolednih smjesa. Sladoledne smjese pripravljene su prema određenim recepturama, te podvrgnute različitim postupcima homogenizacije: mehaničkom miješanju, tretiranju ultrazvukom te kombinaciji miješanja i ultrazvučnog tretiranja. U radu je korištena ultrazvučna sonda promjera 12,7 mm, amplitude 100% u trajanju pet minuta pri stalnoj temperaturi. Reološka svojstva određivana su na rotacionom reometru i izražena kao indeks tečenja, koeficijent konzistencije i prividna viskoznost. Iz rezultata mjerenja zaključeno je da sve smjese imaju značajke newtonskih kapljevina dilatantnih svojstava. Najveću viskoznost imali su uzorci homogenizirani miješanjem u mikseru, a značajno manju oni tretirani ultrazvukom. Svojstva pjenjenja izražena su kao postotak povećanja volumena pjene, indeks stabilnosti pjene, te maksimalna viskoznost. Utvrđeno je da sladoledne smjese tretirane samo mehaničkim miješanjem pokazuju minimalano povećanje volumena pjene, dok je najveće povećanje volumena pjene zapaženo kod sladoledne smjese tretirane kombinacijom mehaničkog miješanja i ultrazvuka. Isto tako sladoledne smjese s većim udjelom proteina pokazale su veću stabilnost pjene. Optimalnim se pokazalo vrijeme tretiranja od 10 minuta.

Ključne riječi: ultrazvuk, sladoledna smjesa, reološka svojstva, pjenjenje

Uvod

Sladoled je djelomično ili potpuno zamrznuta slastica koja se proizvodi prema određenim recepturama, tako što se nakon miješanja svih osnovnih i dodatnih sastojaka smjesa podvrgava upuhivanju zraka i zamrzavanju. Sirovine koje se koriste u proizvodnji sladoleda mogu biti mliječne i nemliječne, a njihovo podrijetlo, vrsta i udio imaju značajnu ulogu pri postizanju odgovarajućih fizikalno-kemijskih, nutritivnih i organoleptičkih svojstava sladoleda. Povećani udio mliječne masti može utjecati na smanjenje sposobnosti pjenjenja (Marshal i sur., 2003.). Proteini iz mlijeka pospješuju emulgiranje, te povećavaju viskoznost sladolednih smjesa (Abd El-Rahman i sur.,

1997.; Adapa i sur., 2000.). Utvrđeno je također da dodatak glicerola može povećati viskoznost sladolednih smjesa, a jaja ovisno o udjelu i komponenti (bjelanjak, žumanjak, cijela jaja) mogu djelovati različito na viskoznost i na temperaturu zamrzavanja smjesa (Hegeđušić i sur., 1994.). Različiti nemliječni sastojci uglavnom se dodaju zbog njihovog utjecaja na okus, aromu, boju, miris, konzistenciju te stabilizaciju i emulgiranje smjese (Murgić i Božanić, 2008.). Značajnog utjecaja na kvalitetu gotovog proizvoda, osim sastava, ima postupak homogenizacije. Svrha homogenizacije je dobivanje stabilne emulzije u kojoj neće doći do razdvajanja faza, a postići će se i odgovarajuća viskoznost i stabilnost smjese. Uvjeti provođenja i izbor postupka homogenizacije utječu i

*Dopisni autor/Corresponding author: Tel./Phone: +385 1 4605 037; E-mail: zherceg@pbf.hr

na strukturu, čvrstoću, glatkoću, te druga fizikalno-kemijska i senzorska svojstva sladoleda. Homogenizacija se u industrijskim uvjetima provodi najčešće primjenom visokotlačnih homogenizatora. Visina tlaka i vrijeme homogenizacije ovise prvenstveno o sastavu smjesa. Važno je za svaku smjesu odrediti optimalne uvjete jer će pri premalom tlaku globule masti ostati prevelike, a pri prevelikom tlaku globule masti bit će vrlo male te se naknadno mogu grupirati u veće nakupine (Murgić i Božanić, 2008.). Ispitivanja su pokazala da što je veći udio masti to je potreban niži tlak homogenizacije. Isto tako pri upotrebi biljne masti tlakovi homogenizacije niži su nego kod mliječne masti.

U novije vrijeme sve se više istražuju i drugi mogući postupci homogenizacije sladolednih smjesa, pa se između ostalog istražuje i mogućnost primjene ultrazvuka. Ultrazvuk je oblik energije proizveden pomoću zvučnih valova, frekvencija iznad čujnosti ljudskog uha (iznad 16 kHz). Ultrazvuk niskog intenziteta - frekvencija od 1 do 10 MHz, te vrlo male razine snage (manje od 1 W/cm²), ne uzrokuje fizičke i kemijske promjene u materijalu kroz koji prolazi val. Koristi se u analitičke svrhe, tj. za određivanje teksture, sastava, viskoznosti ili koncentracije pojedinih sastojaka u hrani (Mason i sur., 1996.).

Ultrazvuk visokog intenziteta - frekvencije od 20 do 100 kHz, te visoke razine snage (u rasponu intenziteta od 10-1000 W/cm²), uzrokuje fizički raspad materijala, te određene kemijske promjene na materijalima na kojima je primijenjen (Režek Jambrak i sur., 2009.). Nalazi primjenu u čišćenju

materijala, odzračivanju tekućina i homogenizaciji, a smatra se potencijalnim postupkom netermičkog procesiranja hrane budući da može uzrokovati uništavanje enzima i mikroorganizama, kao i poboljšati stvaranje emulzija i disperzija ili inducirati nukleaciju kod kristalizacije (Režek Jambrak i sur., 2009.).

Kod obrade hrane ultrazvukom važna je činjenica da zbog kavitacije (implozije mjehurića) dolazi do oslobađanja topline, koja uzrokuje promjenu temperature i tlaka materijala (Mason i sur., 1996.). Količina energije koja se oslobodi zbog kavitacije ovisi o kinetici rasta i raspada mjehurića. Ova energija trebala bi se povećati s porastom napetosti površine na međufazi mjehurića, a smanjiti s tlakom pare tekućine. Hrana s velikim udjelom vode, kao što su npr. sladoledne smjese i gdje vlada velika površinska napetost, predstavlja prikladan medij za izazivanje kavitacije primjenom ultrazvuka.

Zbog svega navedenog, svrha ovog rada bila je utvrditi mogućnost primjene ultrazvuka visoke snage u homogenizaciji modelnih sladolednih smjesa, te ispitati njegov učinak na viskoznost i svojstva pjenjenja pojedinih modelnih sladolednih smjesa.

Materijali

Ispitivanja su provedena s tri različite modelne sladoledne smjese koje su pripravljene prema recepturama prikazanim u tablici 1. Sve smjese sadržavale su jednak udio saharoze i glukoze, a različit udio punomasnog mlijeka u prahu, koncentrata proteina sirutke i sirutke u prahu.

Tablica 1. Recepture primijenjene za pripremu sladolednih smjesa
Table 1. Recipes used for ice cream mixtures preparation

Sastojci Constituents	Receptura 1 Recipe 1 (%)	Receptura 2 Recipe 2 (%)	Receptura 3 Recipe 3 (%)
Saharoza/Sucrose	10,0	10,0	10,0
Glukoza/Glucose	8,0	8,0	8,0
Punomasno mlijeko u prahu Whole milk powder	8,0	4,0	4,0
Koncentrat proteina sirutke u prahu Whey protein concentrate	10,0	14,0	10,0
Sirutka u prahu/Whey powder	-	-	4,0
Voda/Water	64,0	64,0	64,0

Kemijski sastav upotrebljenih sirovina deklarirali su proizvođači kako slijedi:

- Koncentrat proteina sirutke u prahu (WPC) ("Meggle" GmbH, Wasserburg, Njemačka); sastav: proteini 60%, laktoza 35%, pepeo 6%, masti 6%, voda 3%;
- Punomasno mlijeko u prahu ("Dukat", Zagreb, Hrvatska); sastav: proteini 26,3%, laktoza 39,8%, masti 26,1%, voda 4,8%, pepeo 3%;
- Sirutka u prahu ("Prolactal" GmbH, Hartberg, Njemačka); sastav: laktoza 72%, proteini 11,5%, masti 1%, voda 1,42%;
- Saharoza p.a. ("Kemika" d.d., Zagreb, Hrvatska);
- Glukoza monohidrat ("Roquette Freres", Francuska); sastav: glukoza 92%, voda 8%.

Metode rada

Svi sastojci izvagani su i stavljeni u staklene čaše od 500 mL te podvrgnuti miješanju na magnetskoj mješalici u trajanju od 10 minuta. Tako homogenizirani uzorci podvrgnuti su daljnjoj homogenizaciji na sljedeći način:

- A - miješanje mikserom (TIP 3228, Gorenje, Slovenija) najvećom brzonom u trajanju 5 minuta;
- B - tretiranje ultrazvučnom sondom promjera 12,7 mm, amplitude 100 u trajanju od 5 minuta;

C - kombinacija miješanja na početku posebno mikserom 5 minuta, a zatim tretman ultrazvučnom sondom, amplitude 100 % tijekom 5 minuta.

Tretiranje ultrazvukom

Ultrazvučni procesor koji je korišten u ovom istraživanju je model S-4000, proizvođač Misonix Sonicators, Newtown, Connecticut, SAD. Značajke procesora su sljedeće: 600 W maksimalne izlazne snage, 100 - 240 V strujnog napona; 50-60 Hz, frekvencija ultrazvuka od 20 kHz.

Pripremljeno je 200 mL modelne sladoledne smjese prema odgovarajućoj recepturi. Modelna smjesa tretirana je ultrazvučnom sondom frekvencije 20 kHz, promjera 12,7 mm, a izlazna snaga ultrazvuka kontrolirana je amplitudom. Amplituda od 100 % korištena je u tretmanu. Tretiranje je trajalo 5 minuta sa konstantnim ciklusom.

Opis pripremljenih receptura prikazan je u tablici 2, a kemijski sastav ispitivanih sladolednih smjesa koji je prikazan u tablici 3 izračunat je iz deklaracija dodanih komponenti dobivenih od proizvođača.

Određivanje reoloških svojstava

Mjerenja reoloških svojstava vršena su na rotacionom reometru Rheometric Scientific RM - 180

Tablica 2. Opis pripreme uzoraka

Table 2. Description of samples preparation

Mark	Opis uzorka Description of sample
1 A	receptura 1, tretirano mikserom 5 minuta recipe 1, mixed by mixer 5 minutes
1 B	receptura 1, tretirano ultrazvukom 5 minuta recipe 1, ultrasound treated for 5 minutes
1 C	receptura 1, tretirano mikserom 5 minuta + ultrazvuk 5 minuta recipe 1, mixed by mixer 5 minutes + ultrasound treated for 5 minutes
2 A	receptura 2, tretirano mikserom 5 minuta recipe 2, mixed by mixer 5 minutes
2 B	receptura 2, tretirano ultrazvukom 5 minuta recipe 2, ultrasound treated for 5 minutes
2 C	receptura 2, tretirano mikserom 5 minuta + ultrazvuk 5 minuta recipe 2, mixed by mixer 5 minutes + ultrasound treated for 5 minutes
3 A	receptura 3, tretirano mikserom 5 minuta recipe 3, mixed by mixer 5 minutes
3 B	receptura 3, tretirano ultrazvukom 5 minuta recipe 3, ultrasound treated for 5 minutes
3 C	receptura 3, tretirano mikserom 5 minuta + ultrazvuk 5 minuta recipe 3, mixed by mixer 5 minutes + ultrasound treated for 5 minutes

(Model RM 180, Rheometric Scientific, Inc., Piscataway, USA), pri temperaturi od 20 °C. Mjerenje je vršeno u rasponu brzina smicanja od 100 do 1290 1/s. Na osnovi izmjerenih podataka za brzinu i napon smicanja izračunati su reološki parametri (koeficijent konzistencije i indeks tečenja) primjenom metoda linearne regresije. Koeficijent konzistencije k (Pa s^n) jednak je antilogaritamskoj vrijednosti konstante linearne regresije vrijednosti smičnog naprezanja i brzine smicanja, a indeks tečenja odgovara koeficijentu linearne regresije. Prividni viskozitet (Pa s) pri 1290 s^{-1} izračunat je primjenom Newtonovog zakona:

$$\tau = \mu * \gamma \quad (1)$$

gdje je: τ - napon smicanja (Pa), μ - viskoznost (Pa s), γ - brzina smicanja (s^{-1}).

Za izračunavanje reoloških parametara upotrijebljen je Ostwald-de Waele-ov zakon:

$$\tau = k * \gamma^n \quad (2)$$

gdje je: τ - napon smicanja (Pa), k - koeficijent konzistencije (Pa s^n), γ - brzina smicanja (s^{-1}), n - indeks tečenja.

Određivanje značajki pjenjenja

100 mL modelne smjese miješa se u mikseru (TIP 3228, Gorenje, Slovenija) ukupno 15 minuta. U intervalima od po 5 minuta uzima se po 100 mL pjene koja se potom izvaže. Nakon vaganja pjena se vraća u posudu miksera i miješanje se nastavlja dalje, dok se ne izvrše sva tri mjerenja (nakon 5, 10 i 15 minuta). Nakon 15 minuta izračuna se postotak povećanja volumena na sljedeći način (Weeb i sur., 2002.):

$$\% \text{ povećanja} = \left(\frac{\text{masa 100 mL suspenzije proteina} - \text{masa 100 mL pjene}}{\text{masa 100 mL pjene}} \right) \times 100 \quad (3)$$

Značajke stabilnosti pjene:

Indeks stabilnosti pjene - vrijeme (min) kad je pala prva kap tekućine iz lijevka (Webb i sur., 2002.);

Maksimalna stabilnost pjene - vrijeme (min) potrebno da se ocijedi sva pjena (Morr i Foegeding, 1990.).

Rezultati i rasprava

Cilj ovoga istraživanja bio je ispitati utjecaj različitih postupaka homogenizacije na reološke značajke i svojstva pjenjenja sladolednih smjesa pripremljenih prema tri različite recepture. Razlike u recepturama odnosile su se uglavnom na udio laktoze, proteina i masti, a kao posljedice različitih udjela mlijeka u prahu, koncentrata proteina sirutke i sirutke u prahu u primijenjenim recepturama (tablice 1 i 3).

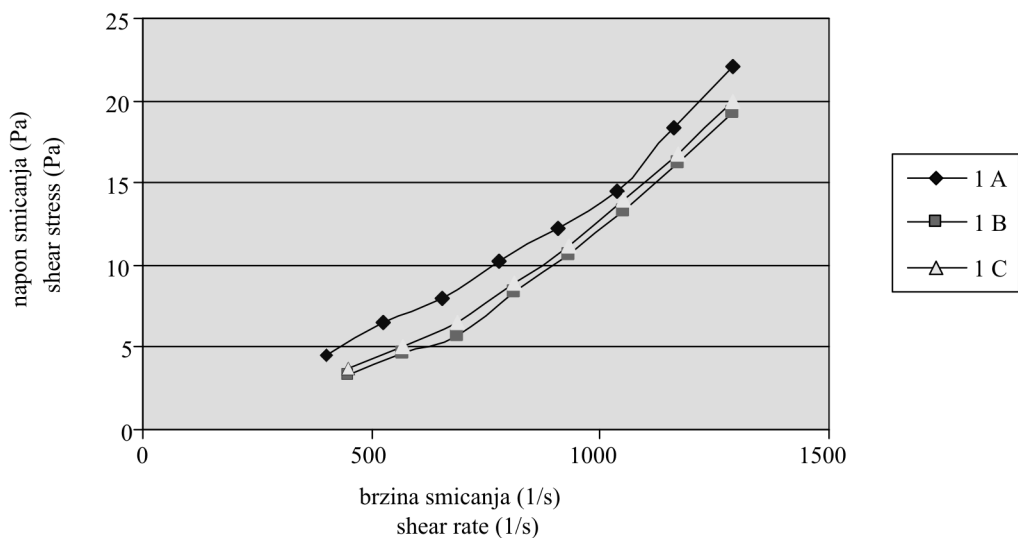
Iz tablice 3 vidljivo je da je udio proteina bio najveći kod uzorka pripremljenog prema recepturi 2, a najmanji kod uzorka pripremljenog prema recepturi 3. Pri tom su proteini u uzorku 2 uglavnom bili podrijetlom iz sirutke jer je u tu smjesu dodano najviše koncentrata proteina sirutke.

Udio ukupnih šećera bio je najveći u uzorku 3, dok je u uzorcima 1 i 2 taj udio bio podjednak. Razlog najvećeg udjela šećera u uzorku 3 je dodatak sirutke u prahu koja u suhoj tvari sadrži 75% laktoze. Najviše masti sadržavao je uzorak 1, u koji je dodano najviše punomasnog mlijeka u prahu, dok su uzorci 2 i 3 imali gotovo podjednak udio masti.

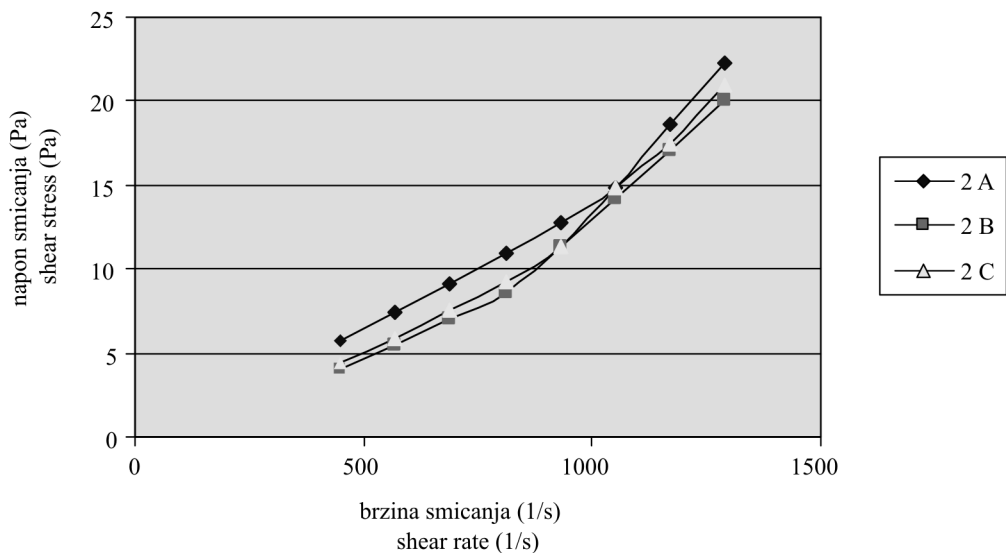
Tablica 3. Kemijski sastav ispitivanih sladolednih smjesa

Table 3. Chemical composition of investigated ice cream mixtures

Sastojak (%)	Receptura 1	Receptura 2	Receptura 3
Component (%)	Recipe 1	Recipe 2	Recipe 3
Saharoza/Sucrose	10,00	10,0	10,0
Glukoza/Glucose	7,36	7,36	7,36
Laktoza/Lactose	6,68	6,50	7,98
Proteini/Proteins	8,10	9,45	7,51
Mast/Fat	2,70	1,89	1,75
Pepeo/Ash	0,46	0,14	0,85
Voda/Water	64,70	64,66	64,55



Slika 1. Odnos napona smicanja i brzine smicanja modelnih sladolednih smjesa 1A, 1 B i 1C
 Fig. 1. Shear stress and shear rate ratio of ice cream model systems 1A, 1B and 1C

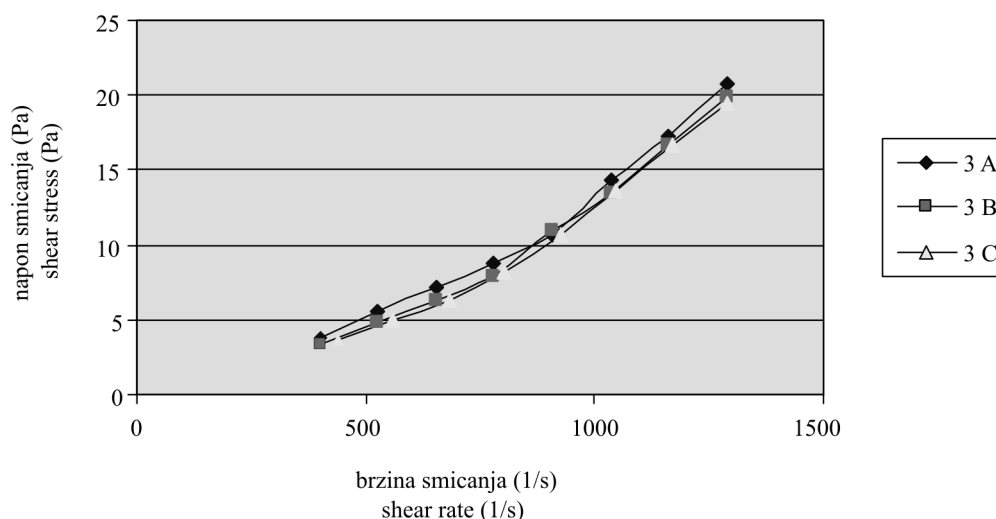


Slika 2. Odnos napona smicanja i brzine smicanja modelnih sladolednih smjesa 2 A, 2 B i 2C
 Fig. 2. Shear stress and shear rate ratio of ice cream model systems 2 A, 2 B and 2C

Rezultati određivanja reoloških svojstava prikazani su na slikama 1-3, te u tablici 4. Iz oblika krivulja koje pokazuju ovisnost napona o brzini smicanja, te izračunate vrijednosti indeksa tečenja ($n > 1$), vidljivo je da sve ispitivane smjese pripadaju skupini nenewtonskih tekućina dilatantnog karaktera. Njihova reološka svojstva izražena su koeficijentom konzi-

stencije, te prividnom viskoznošću određenom kod 1290 s^{-1} .

Usporedbom vrijednosti koje izražavaju viskoznost uzoraka pripremljenih prema istoj recepturi ali homogeniziranih na različite načine, može se uočiti da su najveću viskoznost imali uzorci homogenizirani miješanjem u mikseru. Značajno manju viskoznost



Slika 3. Odnos napona smicanja i brzine smicanja modelnih sladolednih smjesa 3 A, 3 B i 3C
 Fig. 3. Shear stress and shear rate ratio of ice cream model systems 3A, 3B and 3C

Tablica 4. Reološki parametri modelnih sladolednih smjesa
 Table 4. Rheological parameters of ice cream model mixes

Uzorak Sample	Prividna viskoznost kod Apparent viscosity at 1290 s ⁻¹ (mPa s)	Koeficijent konzistencije Consistency coefficient k (mPa s ⁿ) * 10 ⁻⁶	Indeks tečenja Flow behavior index n	Koeficijent regresije Regression coefficient R ²
1 A	0,017±0,001	16,9±0,08	1,3121±0,078	0,9908
1 B	0,015±0,002	0,98±0,09	1,6971±0,065	0,9915
1 C	0,016±0,001	1,78±0,08	1,6184±0,045	0,9945
2 A	0,017±0,001	24,97±0,05	1,2579±0,034	0,9868
2 B	0,016±0,002	3,11±0,04	1,5400±0,045	0,9925
2 C	0,016±0,002	4,67±0,04	1,4869±0,056	0,9907
3 A	0,016±0,001	7,16±0,05	1,4246±0,075	0,9895
3 B	0,015±0,001	2,98±0,07	1,5436±0,043	0,9922
3 C	0,013±0,001	2,08±0,07	1,5927±0,037	0,9918

imali su uzorci tretirani ultrazvukom, što znači da ovaj postupak nije prikladan za postizanje veće viskoznosti sladolednih smjesa. Ukoliko se promatra viskoznost uzoraka homogeniziranih na isti način, a različitih po sastavu, može se uočiti da su značajno najveću viskoznost imali uzorci pripremljeni prema recepturi 2 (Tablica 4). S obzirom na kemijski sastav ti su uzorci imali najveći udio proteina i manji udio masti. Uzorci s najnižom viskoznosti (receptura 3) sadržavali su najviše ukupnih šećera, te znatno manje proteina i masti. Iz toga se može zaključiti da značajnog utjecaja na viskoznost imaju upravo proteini

i masti. Ako se pobliže prouči djelovanje samog ultrazvuka na homogenizaciju uzoraka pripremljenih prema različitim recepturama, može se vidjeti da je najveća viskoznost zapažena kod uzorka 2 (najveći udio proteina), a najmanja kod uzorka 1 (velik udio proteina i najveći udio masti). Razlozi manje viskoznosti uzoraka tretiranih ultrazvukom u odnosu na one dobivene miješanjem, su u činjenici da ultrazvuk oštećuje molekule proteina čime omogućuje ulazak vode u molekule i njihovo zadržavanje a što direktno utječe na reološka svojstva (Režek Jambrak, 2008.). Glavni uzrok dezintegracije molekula protei-

Tablica 5. Svojstva pjenjenja modelnih sladolednih smjesa
Table 5. Foaming properties of ice cream model mixtures

Uzorak /Sample	Povećanje volumena pjene (%) Foam expansion (%)			Indeks stabilnosti pjene Foam stability index (s)	Maksimalna stabilnost pjene Maximum foam stability (min)
	Vrijeme miješanja u mikseru (min) Whipping time (min)				
	5 min	10 min	15 min		
1 A	197±1,0	260±0,9	235±0,9	4±0,2	0,5±0,01
1 B	343±0,9	453±0,9	413±0,9	50±0,8	6±0,02
1 C	270±0,8	327±0,8	339±0,8	10±0,8	1,5±0,02
2 A	297±0,9	397±0,8	364±0,9	5±0,3	0,5±0,01
2 B	539±0,8	560±0,7	537±0,8	67±0,7	4,5±0,03
2 C	541±1,1	570±0,7	550±0,7	24±0,8	2,5±0,04
3 A	296±0,9	384±0,8	360±0,7	5±0,3	0,5±0,02
3 B	424±0,9	526±0,8	486±0,7	17±0,9	2±0,02
3 C	458±0,8	566±0,8	534±0,8	14±0,9	1,5±0,01

na su kavitacijske sile. Impluzija kavitacijskih mjehurića uzrokuje visoke promjene tlakova i ekspanzijske vrtloge u blizini proteinskih molekula što uzrokuje sile smicanja koje su sposobne stvoriti procjepe u molekulama i razoriti lance polimera cijepanjem kovalentnih veza (Režek Jambrak, 2008.).

Formiranje pjene ovisi o sposobnosti proteinskih lanaca da se otvore i usmjere na međupovršine tekućina - zrak. Za formiranje stabilne pjene neophodna je brza difuzija proteina na međupovršinu radi smanjenja površinske napetosti. Pri tome dolazi do djelomičnog otvaranja proteinske molekule što rezultira inkorporiranjem mjehurića zraka i asocijacijom proteinskih molekula, čime se stvara intramolekularni kohezivni film određenog stupnja elastičnosti (Adebowale i Lawal, 2003.; Režek Jambrak i sur., 2008.).

Iz rezultata dobivenih ovim istraživanjima može se uočiti pozitivno djelovanje ultrazvuka visoke snage na svojstva pjenjenja. Kod svih ispitivanih modelnih sustava sladolednih smjesa, nakon tretiranja ultrazvukom, došlo je do poboljšanja svojstava pjenjenja. Uočljivo je i značajno povećanje volumena pjene kod svih ispitivanih sladolednih smjesa. Ono je najizraženije kod modelne sladoledne smjese pripremljene prema recepturi 2, a što se i očekivalo jer modelna sladoledna smjesa ove recepture sadrži najveći udio proteina sirutke (Tablica 5).

Sposobnost stvaranja pjene modelnih suspenzija praćena je i povećanjem volumena pjene proizvedenim miješanjem (5 i 10 min), pa je uočeno da se produljenjem vremena miješanja u svim uzorcima značajno povećao volumen pjene uslijed ugradnje veće količine zraka i smanjivanja veličine mjehurića zraka u pjenu (tablica 5). Daljnjim miješanjem (15 min) dolazi do laganog smanjenja volumena pjene. Ovakvo povećanje volumena pjene manifestacija je velike molekularne fleksibilnosti proteina kao rezultat djelovanja ultrazvuka, njihove prostorne orijentacije, te sposobnosti interakcije i raširenosti na međufazi zrak/tekuće u formiranju pjene (Mishra i sur., 2001.).

Povećanje sposobnosti pjenjenja nakon tretmana ultrazvukom može se objasniti homogenizacijskim učinkom ultrazvuka. Homogenizacijski učinak ultrazvuka ujednačenije raspršuje proteine i masti u sladolednim smjesama, te na taj način poboljšava svojstvo pjenjenja. Tijekom tretmana ultrazvukom proteini se djelomično odmotavaju, te na taj način dolazi do povećanja sposobnosti pjenjenja. Za adsorpciju na međufazu voda/zrak molekule moraju imati hidrofobne regije (Hoiriuchi i sur., 1978.; Turgeon i sur., 1992.). Kod proteina sirutke (koji su sastavni dio modelnih sladolednih smjesa) hidrofobne i hidrofilne aminokiseline ujednačeno su razmještene kroz cijeli protein (Smidt i sur., 1984.). Sposobnost pjenjenja kod koncentrata proteina sirutke ovisi o kon-

centraciji proteina, s minimumom od 10% (Smidt i sur., 1984.), a taj uvjet je ispunjen u ovom radu. Prema Coke i sur. (1990.), stabilnost pjene treba promatrati kao funkciju dvaju mehanizama: drenaže tekućine i urušavanja strukture pjene. U održavanju strukture pjene presudni su sastav i struktura adsorbiranog materijala na međufazi zrak/voda, dok je za drenažu tekućine presudna značajka površinskog sloja tankog filma tekućine stvorenog između susjednih mjehurića. Ta je sposobnost značajno veća kod proteina tretiranih ultrazvukom, budući da oni tvore nestabilno klupko, a veći je i broj razmotanih globula (nastalih kao posljedica kavitacije) na raspolaganju za stvaranje viskoelastičnog filma na granici faza. Sve ovo djeluje na povećanje volumena i stabilnosti pjene (Clarkson i sur., 1999.). Veća stabilnost pjene modelne sladoledne smjese recepture 2 direktna je posljedica većeg udjela proteina sirutke u recepturi. Kapaciteti pjenjenja i stabilnosti pjena poboljšani su ultrazvučnim tretmanom. Posljedica značajno većeg indeksa stabilnosti pjene kod svih modelnih sladolednih smjesa proizlazi zbog boljeg međudjelovanja između proteinskih lanaca, bolje raspršenosti na međufazi tekućina/zrak te formiranja debljeg i viskoznijeg filma (Clarkson i sur., 1999.; Režek Jambrak, 2008.).

Zaključak

Na temelju dobivenih rezultata može se zaključiti da reološka svojstva i svojstva pjenjenja ispitivanih modelnih sladolednih smjesa u značajnoj mjeri ovise o njihovom sastavu, te da najvećeg utjecaja imaju udio i vrsta proteina, te udio masti. Proteini sirutke povećavaju viskoznost sladolednih smjesa, dok prisustvo većeg udjela masti smanjuje viskoznost.

Homogenizacija sladolednih smjesa ultrazvukom visoke snage utječe na povećanje volumena pjene, te na povećanje stabilnosti pjene. Istovremeno uzorci tretirani ultrazvukom imaju znatno manju viskoznost od onih miješanih mikserom.

Dobiveni rezultati ukazuju na mogućnost primjene ultrazvuka u procesima proizvodnje sladoleda, ali istovremeno ukazuju na činjenicu da su pri tom potrebna brojna daljnja istraživanja kako bi se utvrdili optimalni parametri primjene ultrazvuka (snaga, frekvencija, vrijeme tretiranja i drugo).

Influence of high power ultrasound on rheological and foaming properties of model ice-cream mixtures

Summary

This paper presents research of the high power ultrasound effect on rheological and foaming properties of ice cream model mixtures. Ice cream model mixtures are prepared according to specific recipes, and afterward undergone through different homogenization techniques: mechanical mixing, ultrasound treatment and combination of mechanical and ultrasound treatment. Specific diameter (12.7 mm) of ultrasound probe tip has been used for ultrasound treatment that lasted 5 minutes at 100 percent amplitude. Rheological parameters have been determined using rotational rheometer and expressed as flow index, consistency coefficient and apparent viscosity. From the results it can be concluded that all model mixtures have non-newtonian, dilatant type behavior. The highest viscosities have been observed for model mixtures that were homogenized with mechanical mixing, and significantly lower values of viscosity have been observed for ultrasound treated ones. Foaming properties are expressed as percentage of increase in foam volume, foam stability index and minimal viscosity. It has been determined that ice cream model mixtures treated only with ultrasound had minimal increase in foam volume, while the highest increase in foam volume has been observed for ice cream mixture that has been treated in combination with mechanical and ultrasound treatment. Also, ice cream mixtures having higher amount of proteins in composition had shown higher foam stability. It has been determined that optimal treatment time is 10 minutes.

Key words: ultrasound, ice cream model mixture, rheological properties, foaming

Literatura

1. Abd El-Rahman, A.M., Madkor, S.A., Ibrahim, F.S., Kilara, A. (1997): Physical Characteristics of Frozen Desserts Made with Cream, Anhydrous Milk, Fat or Milk Fat Fractions. *Journal of Dairy Science* 80, 1926-1935.
2. Adapa, S., Dingeldein, H., Schmidt, K.A., Herald, T.J. (2000): Rheological Properties of Ice Cream Mixes and

- Frozen Ice Cream Containing Fat and Fat Replacers. *Journal of Dairy Science* 83, 2224-2229.
3. Adebowale, K.O., Lawal, O.S. (2003): Foaming, gelation and electrophoretic characteristics of mucuna bean proteins cocentrates. *Food Chemistry* 83, 237-246.
 4. Clarkson, J.R., Cui, Z.F., Darton, R.C., Clarkson, J.R., Coll, J. (1999): Protein denaturation in foam: II. Surface activity and conformational change. *Journal of Colloid and Interface Science* 215 (2), 333-338.
 5. Coke, M., Wilde, P. J., Russell, E. J., Clark, D.C. (1990): The influence of surface composition and molecular diffusion on the stability of foams formed from protein detergent mixtures. *Journal of Colloid and Interface Science* 138, 489-503.
 6. Hegedušić, V., Piližota, V., Šubarić, D. (1994): Rheological and Thermophysical Properties of Model Ice Cream Mixtures. *Prehrambeno-tehnološka Biotehnološka Revija* 32, 67-70.
 7. Horiuchi, T., Fukushima, D., Sugimoto, H., Hattori, T. (1978): Studies on enzyme-modified proteins as foaming agents: effect of structure on foam stability. *Food Chemistry* 3, 35-42.
 8. Krešić, G., Lelas, V., Režek Jambrak, A., Herceg, Z., Rimac Brnčić, S. (2008): Influence of novel food processing technologies on the rheological and thermophysical properties of whey proteins. *Journal of Food Engineering* 87, 64-73.
 9. Lelas, V. (2006): Nove tehnike procesiranja hrane. *Mljekarstvo* 56, 311- 330.
 10. Mason, T.J., Paniwnyk, L., Lorimer, J.P. (1996): The uses of ultrasound in food technology. *Ultrasonic Sonochemistry* 3, 253.
 11. Marshall, R.T., Goff, H.D., Hartel, R.W. (2003): Ice Cream, 6. izd, Kluwer Academic/Plenum Publishers, New York, Boston, Dordrecht, London, Moscow.
 12. Mishra, S., Mann, B., Joshi, V.K. (2001): Functional improvement of whey protein concentrate on interaction with pectin. *Food Hydrocolloids* 15, 9-15.
 13. Morr, C.V., Foegeding, E.A. (1990): Composition and Functionality of Commercial Whey and Milk Protein Concentrates and Isolates: A Status Report. *Food Technology* 44, 100-112.
 14. Murgić, I., Božanić, R. (2008): Utjecaj vrste i udjela masti na homogenozaciju sladoledne smjese. *Mljekarstvo* 58, 233-242.
 15. Režek Jambrak, A., Mason, T.J., Lelas, V., Herceg, Z., Ljubić-Herceg, I. (2008): Effect of ultrasound treatment on solubility and foaming properties of whey protein suspensions. *Journal of Food Engineering* 86, 281-287.
 16. Režek Jambrak, A. (2008): Utjecaj ultrazvuka na fizikalna i funkcionalna svojstva proteina sirutke. Disertacija Prehrambeno-biotehnološki fakultet Sveučilišta u Zagrebu.
 17. Režek Jambrak, A., Lelas, V., Herceg, Z., Badanjak, M., Batur, V., Muža, M. (2009): Prednosti i nedostaci primjene ultrazvuka visoke snage u mljekarskoj industriji. *Mljekarstvo* 59, 267-281.
 18. Smidt, R.H., Packard, V.S., Moriss, H.A. (1984): Effect of processing on whey protein functionality. *Journal of Dairy Science* 67, 2723-2733.
 19. Turgeon, S.L., Gauthier, S.F., Paquin, P. (1992): Emulsifying properties of whey peptide fractions as a function of pH and ionic strength. *Journal of Food Science* 57, 601-604.
 20. Webb, M.F., Maaem, H.A., Schmidt, K.A. (2002): Food protein functionality in a liquid system. *Journal of Food Science* 67, 2896-2902.