

TANJA R. VUČIĆ  
SNEŽANA T. JOVANOVIĆ  
ANA JOVČIĆ  
IGOR R. ZDRAVKOVIĆ

Univerzitet u Beogradu,  
Poljoprivredni fakultet,  
Institut za prehrambenu tehnologiju  
i biohemiju

PREGLEDNI RAD

UDK: 663.67:637.043

## KARAKTERISTIKE SLADOLEDA SA SMANJENIM SADRŽAJEM MASTI

Velika popularnost sladoleda je zasnovana na vrlo specifičnim senzornim karakteristikama, a zbog velike energetske vrednosti koju sladoled ima usled prisustva šećera i mlečne masti, često se nalazio na meti nutricionista.

Potreba da se asortiman sladoleda neprekidno povećava i razvija uz primenu novih trendova u ishrani, rezultirala je osamdesetih godina prošlog veka pojavom sladoleda sa smanjenim sadržajem masti (light sladoled).

Proizvođači sladoleda su pred sobom imali veoma važan i ozbiljan zadatak da pronađu adekvatnu zamenu za mlečnu mast, koja u velikoj meri utiče kako na senzorne karakteristike, tako i na strukturu sladoleda. Trebalo je zadovoljiti zahtev potrošača da se dobije sladoled koji po svojim osobinama ne odstupa od karakteristika koje ima standardni sladoled.

Primenom novih ingredijenata kao što su koncentrat proteina surutke, "antifriz" proteini, odgovarajuće smeše E/S u kombinaciji sa primenom ekstrudera i podešavanjem parametara tehnološkog postupka proizvodnje sladoleda, uspešno su rešeni nedostaci koji su se javljali kod sladoleda sa smanjenim sadržajem masti.

**Ključne reči:** sladoled • mlečna mast • ekstruder • AFP

### UVOD

Sladoled je veoma popularan mlečni proizvod, koji ne može da se tretira samo kao poslastica i kao proizvod sezonskog karaktera, već kao hrana koja se proizvodi i konzumira tokom cele godine.

Adresa autora:

Prof. dr Snežana Jovanović, Univerzitet u Beogradu, Poljoprivredni fakultet, Nemanjina 6, 11080 Zemun  
tel.: 011/2615-315  
e-mail: snezanaj@agrif.bg.ac.rs

U razvijenim zemljama najveću prodaju imaju porodična pakovanja i sladoled se uglavnom koristi kod kuće, dok je za Latinsku Ameriku karakteristična veća potrošnja impulsa proizvoda.

Ukusi i navike potrošača su veoma različiti u zavisnosti od podneblja, kulture, starosne dobi. Ono što je zajedničko je činjenica da je današnji potrošač mnogo kompleksniji i zahtevniji jer zna više, insistira na zadovoljenju individualnih potreba, traži raznovrsnu ponudu, a ipak je okrenut ka zdravlju i o njemu sve više vodi računa (Tomić i sar., 2004). Danas u svetu postoje mnoge kategorije funkcionalnih sladoleda među kojima su najzastupljeniji: probiotski sladoledi, prebiotski sladoledi, sladoledi sa dodatkom različitih bioaktivnih supstanci, sladoledi sa dodatkom omega-3 i omega-6 masnih kiselina, kao i sladoledi obogaćeni vitaminima i kalcijumom (Tomić i sar., 2006a, 2006b, 2007, 2008).

Kako industrija sladoleda uvek prati trendove u ishrani potrošača koji su njena ciljna grupa, osamdesetih godina prošlog veka na američkom tržištu su se pojavili proizvodi sa smanjenom energetskom vrednošću, prvi niskomasni, odnosno "light" sladoled.

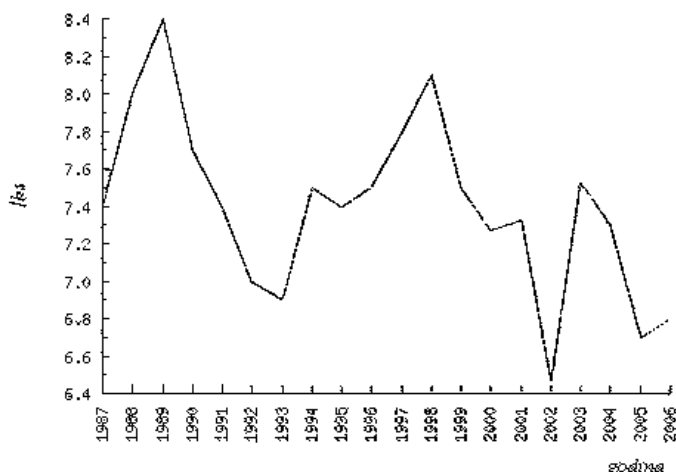
Na slici 1 dat je prikaz potrošnje niskomasnog sladoleda na kojem se uočava porast potrošnje do devedesetih godina XX veka. Međutim, problemi koji su se javljali pre svega u postizanju dobrih senzornih karakteristika i strukture ove vrste sladoleda uticali su na smanjenje njegove potrošnje. Kako je mast nosilac kremaste strukture koja omogućava postepeno oslobađanje arome prilikom konzumiranja i daje sladoledu punoću

ukusa, potrošači su se ipak opredeljivali za premijum proizvode, koji su im pružali navedene željene karakteristike. Godine naučnog istraživanja i velika finansijska sredstva uložena su u ispitivanje na koji način poboljšati strukturu niskomasnog i nemasnog sladoleda i bilo je neophodno mnogo truda da se vrati poverenje potrošača i pokaže da "zdraviji" sladoled ne mora da znači i neukusan proizvod. Povećanje potrošnje ove kategorije sladoleda je zabeleženo u periodu kasnih devedesetih godina i u manjem stepenu sredinom prve dekade XXI veka.

U skladu sa svetskim trendovima i domaći proizvođači sladoleda su upotrebili asortiman sladoledima sa smanjenim sadržajem masti namenjenih ciljnoj grupi potrošača koji prednost daju proizvodima manje energetske vrednosti, što je usklađeno i zakonskom regulativom. Prema našem Pravidniku (2002), date su karakteristike niskomasnog sladoleda po kome sladoledna smeša sadrži manje od 2,5% mlečne masti, manje od 2,5% proteina mleka i najviše 26% suve materije. Senzorne karakteristike ove vrste sladoleda treba da su: svojstven prijatan miris i osvežavajući ukus, ujednačena boja i nežna konzistencija bez grudvica i kristala leda. Kada su niskomasni sladoledni dezerti u pitanju, oni treba da imaju sve karakteristike kao i niskomasni sladoled, s tom razlikom da je sadržaj masti u skladu sa članom 190 manji od 2,5%.

### Uloga mlečne masti u strukturi sladoleda

Mlečna mast i njeni supstituenti imaju veliki uticaj na strukturu, teksturu i senzorne karakteristike slado-



Slika 1. POTROŠNJA NISKOMASNOG SLADOLEDA U SAD U PERIODU OD 1987- 2006. GODINE (Windhab i Wildmoser, 2008)

Figure 1. PER CAPITA LOW FAT CONSUMPTION IN THE USA IN PERIOD 1987-2006. (Windhab i Wildmoser, 2008)

leda. Ona doprinosi mlečnom ukusu proizvoda i predstavlja nosač za dodate arome, dok se kremasta struktura pripisuje aglomeraciji masti, koja se javlja u procesu friziranja, i veličini masnih kapljica (Li i sar., 1997; Kilara, 1998; Ohmes i sar., 1998).

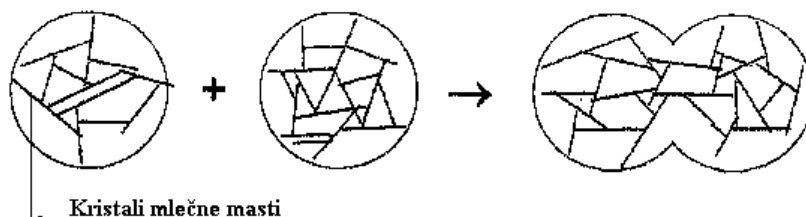
Najbitniji korak za formiranje strukture sladoleda je friziranje sladoledne smeše u kontinualnom ili šaržnom frizeru, nakon zrenja pasterizovane sladoledne smeše.

Kod dinamičkog kontinualnog frizera ohlađena smeša temperature 2 do 4°C ulazi u cilindar gde dolazi do naglog snižavanja temperature usled temperaturne razlike između rashladnog fluida i sladoledne smeše. Kada smeša dostigne temperaturu smrzavanja vode, kristali leda počinju da oblažu unutrašnji zid cilindra uređaja usled tendencije kristala da se adsorbuju na čvrstu površinu. Nastali led se struže noževima i mešanjem integriše u ostatak smeše dalje je hladeći. Već pri ulasku u cilindar, kada je pad temperature najznačajniji, dolazi do stvaranja prvih nukleusa leda, koji dalje rastu smrzavanjem dela vode. Poželjno je da kristali leda budu što manji. Kristali leda veći od 30µm osećaju se pri konzumiranju, što utiče na negativnu ocenu senzornih karakteristika od strane potrošača (Jovanović i sar., 1998).

Pri izlazu iz cilindra, oko 50% vode u sladolednoj smeši se nalazi u čvrstom agregatnom stanju, dok njen ostatak čini koncentrovani rastvor šećera, soli i proteina koji nije mogao da se smrznemo na temperaturama friziranja. Dok se deo vode smrznava istovremeno se inkorporira vazduh, a mlečna

mast destabilizuje. Destabilizacija masti u ovom slučaju podrazumeva uklanjanje dela proteina sa površine masne globule, što omogućava adsorpciju globula na površinu vazdušnih mehurića i obrazovanje agregata (Marshall i sar., 2003). Deo masti će obrazovati "mrežu", koja zapravo doprinosi kremastoj strukturi sladoleda sprečavajući vazduh da napusti sistem i kristalima leda da dalje rastu pri dužem skladištenju. Stvaranje aglomerata omogućavaju kristali masti, a kristalizacija započinje još u fazi zrenja sladoledne smeše. Kristali se obrazuju unutar masne globule narušavajući njenu površinu i približavanjem masnih globula prilikom mešanja dolazi do vezivanja ovih delova kristala koji obrazuju mrežu. U ovoj fazi dominira uloga dodatog emulgatora. Emulgatori se vezuju na površinu masti zamenjujući deo proteina odvojenog za vreme homogenizacije, smanjuju površinski napon i stabilnost globula stvarajući uslove za njihovu koalescenciju (Krog, 1997), što je prikazano na slici 2.

Pored koalescencije masti javlja se i koalescencija inkorporiranih mehurića uduvanog vazduha (Walstra i



Kristali mlečne masti

Slika 2. MEHANIZAM KOALESCENCIJE MASNIH GLOBULA (Vega i sar., 2003)  
Figure 2. MECHANISM OF MILK FAT GLOBULES COALESCENS (Vega et al., 2003)

Jonkman, 1997). Usled razlike u pritisku između unutrašnjosti i spoljašnjosti mehurića (Laplaceov pritisak), oni imaju tendenciju da se spajaju stvarajući veće mehurove kako bi sistem postigao minimum energije. Ovu nepoželjnu pojavu sprečavaju upravo masne globule koje se vezuju za površinu mehurića vazduha.

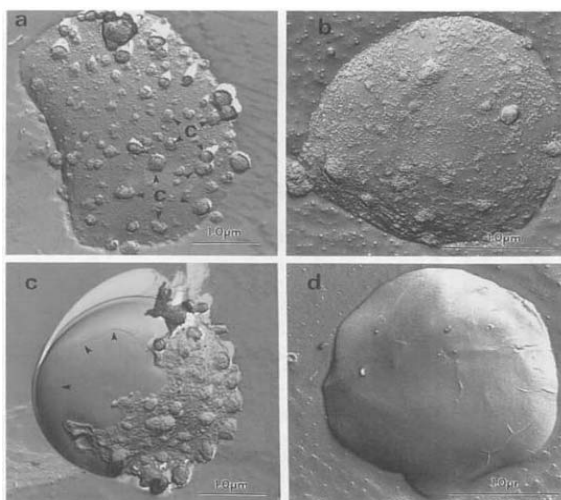
Ukoliko su ispunjeni svi uslovi u toku proizvodnje, naročito friziranja, postiže se željena struktura sladoleda, koja je stabilna tokom skladištenja i distribucije.

Kako je mast jedan od glavnih nosilaca poželjnih karakteristika sladoleda, njen nedostatak izaziva destabilizaciju strukture koja postaje mrvljiva i ledena. Topljivost sladoleda postaje lošija, a arome se brzo oslobađaju proizvodeći naknadni veštački ukus, "aftertaste".

Pri proizvodnji niskomasnog ili nemasnog sladoleda mast se zamenjuje jedinjenjima koja imaju slične karakteristike. Povećan sadržaj obranog mleka u prahu ili proteina surutke uslovljava povišen sadržaj laktoze u proizvodu. Pri skladištenju, laktoza postepeno kristališe stvarajući krupne kristale koji daju proizvodu peskovitu teksturu (Tomić i sar., 1998a; Lewis, 2007). Prilikom konzumiranja ovi kristali se jasno osećaju, a od kristala leda se razlikuju po odloženom topljenju u ustima. Ova mana proizvoda može se izbeći upotrebom koncentrata proteina surutke.

Još jedan problem koji se javlja u ovom proizvodu je rast kristala leda. Kako u punomasnom sladoledu mlečna mast deluje kao stabilizator strukture i blokira rast kristala, njen nedostatak omogućava njihov nesmetani razvoj. Ova pojava je naročito izražena pri temperaturnim kolebanjima kojima je sladoled izložen pri distribuciji.

Usled viših temperatura deo leda se topi čime se broj nukleusa smanjuje. Naknadnim smrzavanjem odmrznuta voda migrira ka postojećim nukleusima, smrznava i adsorbuje se na površini kristala izazivajući njihov



Slika 3. MEHANIZAM ODVAJANJA MLEČNIH PROTEINA SA MASNE GLOBULE (Gaonkar, 1995)  
Figure 3. MECHANISM OF MILK PROTEINS SEPARATION FROM MILK FAT GLOBULE (Gaonkar, 1995)

rast. Usled ove pojave dolazi do povećanja kristala preko 50 $\mu$ m, koji se osećaju pri konzumiranju i loše utiču na senzorne karakteristike (Wildmoser i Windhab, 2003).

#### Uloga emulgatora i stabilizatora u proizvodnji nemasnih i niskomasnih sladoleda

U industriji sladoleda uobičajena je upotreba različite vrste stabilizatora i emulgatora. Kada su u pitanju niskomasni sladoledi i dezerti, akcenat se stavlja na one koji imaju stabilizujuć efekat na inkorporirani vazduh u procesu friziranja, sprečavaju rast kristala leda i doprinose kremastoj strukturi.

Emulgatori su aktivne supstance koje imaju sposobnost da se koncentrišu na graničnoj površini između dve faze, stvarajući stabilan elastični film koji obezbeđuje trajnost emulzije.

Osnovne funkcije emulgatora u sladoledu su: poboljšanje disperznosti masti, pospešivanje interakcije masti-protein, kontrola aglomeracije i koalescencije masnih kapljica, olakšano inkorporiranje vazduha, poboljšanje formiranja glatke strukture i konzistencije i poboljšanje svojstava otapanja (Arbuckle, 1986; Jovanović i sar., 1995; Marshall i sar., 2003; Tomić i sar., 2005). Osim toga, neophodno je odabrati optimalan pritisak homogenizacije kako bi se postigao maksimalan efekat emulgatora u sladolednoj smeši (Baer i sar., 1997).

U toku procesa friziranja sladoledne smeše emulgatori utiču na formiranje malih kristala leda i manjih mehurića vazduha, čime se obezbe-

đuje glatka struktura sladoleda (Arbuckle, 1986; Krog, 1997).

U proizvodnji nemasnih i niskomasnih sladoleda najčešće se koristi smeša mono- i diglicerida (E471). Njihova uloga je da omoguće masnim globulama da se adsorbuju na površinu vazdušnog mehurića (slika 3). Emulgatori zamenjuju proteine na masnoj globuli smanjujući njihovu stabilnost, što uslovljava flokulaciju masti i stvaranje mreže koja stabilno utiče na celokupnu strukturu sladoleda (Krog, 1997; Walstra i Jonkman, 1997). Osim toga, hidrofilni deo emulgatora vezuje vodu u niskomasnom sladoledu čime se smanjuje količina vode koja se smrzava, a kao rezultat toga javljaju se manji kristali leda (Baer i sar., 1997).

Stabilizator u velikoj meri utiče na teksturu, topivost i stabilnost sladoleda tokom skladištenja. Najčešće su u upotrebi hidrokoloidi koji vežu vodu povećavajući viskozitet smeše, što je kod niskomasnih sladoleda od velike važnosti, jer sprečavaju flokulaciju i rast vazdušnih mehurića tokom smrzavanja.

Od stabilizatora najčešće su u upotrebi karagenan, guar guma, rogačeva guma, metilceluloza, pektin i želatin (Tomić i sar., 1998a, 2005; Marshall i sar., 2003).

Guar guma je polisaharid biljnog porekla. Brzo hidrira u vodi pri niskim temperaturama stvarajući veoma viskoznu sredinu pri niskim koncentracijama. U sladoledu ima ulogu u formiranju njegove strukture, doprinosi poboljšanju senzornih karakteristika i ublažava promene temperaturnih fluk-

tuacija pri distribuciji. Sličnih karakteristika je i rogačeva guma.

Metil celuloza pokazuje svojstva termoželatinizacije, tj. da pri višim temperaturama formira gel koji hladnjem prelazi u normalan rastvor. Zanimljivo je da ovaj stabilizator nije rastvorljiv, pa samim tim ne doprinosi energetskoj vrednosti proizvoda. U sladoledu se koristi, jer sprečava sinerezis i skupljanje proizvoda, što je prisutan defekt kod niskomasnih i nemasnih sladoleda i dezertata.

Karagenan je kompleksna mešavina od najmanje pet utvrđenih polimera, od kojih najveću primenu imaju  $\kappa$  i  $\lambda$ . Reaguje sa velikim brojem guma, pre svega sa rogačevom gumom i utiče na povećanje viskoziteta, jačinu gela i njegovu elastičnost. Pri višim koncentracijama sa guar gumom povećava jačinu gela, dok u manjim samom utiče na povećanje viskoziteta. Funkcioniše na taj način što anjonom reaguje sa proteinom obrazujući protein-karagenan kompleks, koji je stabilna koloidna disperzija. U niskomasnom i nemasnom sladoledu deluje kao inhibitor rasta kristala leda. Najčešće se koristi u kombinaciji sa karboksimetil celulozom, rogačevom gumom ili guar gumom. Kapa karagenan frakcije kao hidrokolid utiču na sprečavanje sinerezisa (Arbuckle, 1986; Marshall i sar., 2003; Tomić i sar., 2005).

#### Supstituenti mlečne masti

Željena struktura i senzorne karakteristike niskomasnog sladoleda ne mogu se postići samo upotrebom standardnih stabilizatora i emulgatora.

Oni u velikoj meri doprinose poboljšanju karakteristika proizvoda, ali nisu u mogućnosti da preuzmu ulogu masti u pogledu poboljšanja teksture i senzornih karakteristika. Zbog toga se koriste razne zamene za mast, koje mogu biti bazirane na proteinima i ugljenim hidratima. Dodatkom ovih jedinjenja snižava se tačka mržnjenja sladoleda čime se poboljšavaju svojstva otapanja (Ohmes i sar., 1998). Glavne karakteristike koje supstituenti treba da prikriju su razvoj arome niskomasnog sladoleda, njegova struktura i senzorne karakteristike tokom konzumiranja. U punomasnom sladoledu dodata aroma je vezana za mlečnu mast i postepeno se oslobađa pri konzumiranju, a uz mlečnu notu koja potiče od masti, utiče na formiranje punog i izbalansiranog ukusa u finalnom proizvodu. U slučaju nemasnih i

niskomasnih sladoleda, aroma je koncentrisana u vodenoj fazi sladoleda i dolazi do brzog i intenzivnog formiranja arome i ukusa sa kratkotrajnim efektom. Zbog toga se sladoledu često dodaju jedinjenja koja će reagovati sa aromama i postepeno ih oslobađati

strukture kristala leda i utiču na viskozitet sladoleda (Prindiville i sar., 1999). Delimično denaturisani koncentrat proteina surutke povećava viskozitet sladoledne smeše, a za razliku od standardnog koncentrata proteina surutke ne stvara "aftertaste" i ne koa-

mono- i digliceridi kao emulgatori, i kao stabilizatori: guar guma, karagenan, rogačeva guma, mikrokristalna celuloza, karboksimetil celuloza i ksantan. Ovoj sladolednoj smeši se na kraju dodaje koncentrat proteina surutke sa ciljem da se reguliše suva materija sladoleda, ali i da se utiče na odnos smrznute/nesmrznute vode u sladoledu na temperaturi od  $-12^{\circ}\text{C}$ , kako bi se postigla tekstura i senzorne karakteristike standardnog proizvoda. Na slici 4 predstavljen je sadržaj smrznute vode u sladoledu sa 0% i 1% mlečne masti u odnosu na standardni proizvod. Uočava se da je sladoled sa 1% mlečne masti bliži sa svojim karakteristikama standardnom punomasnom proizvodu po količini smrznute vode, što direktno uslovljava i senzorne karakteristike sladoleda usled potrošnje određene količine toplote u ustima radi topljenja kristala.

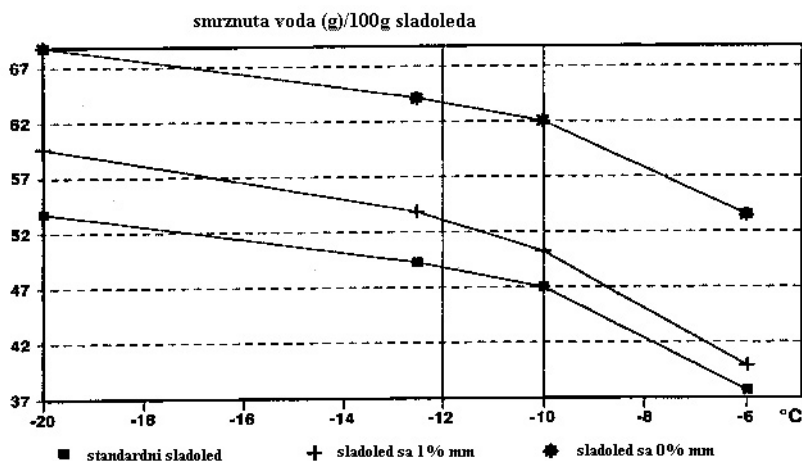
Dobijena sladoledna smeša se pasterizuje na  $78^{\circ}\text{C}$  u trajanju od 10 minuta i dvostepeno homogenizuje. Prvi stepen homogenizacije je pod pritiskom od  $17,23\text{ MPa}$ , a drugi korak pod pritiskom od  $5,51\text{ MPa}$  (Yashavantkumar i Mollard, 1993). Nakon homogenizacije, sladoledna smeša se hladi do  $4^{\circ}\text{C}$  nakon čega se pumpa u tankove za zrenje, gde se obavlja proces zrenja u trajanju od 4 do 24h na temperaturama do maksimalno  $7^{\circ}\text{C}$ . Za vreme zrenja sladoledne smeše mast počinje da kristališe, a proteini i polisaharidi u potpunosti hidriratišu. Ovo olakšava kasnije uduvanje vazduha i mehaničku obradu sladoleda. U procesu zrenja dodaju se arome i boje u zavisnosti od recepture sladoleda.

Nakon zrenja smeša se frizira u kontinualnom frizeru. Temperatura smeše se snižava sa  $4^{\circ}$  do  $-5^{\circ}\text{C}$  uz istovremeno intenzivno mešanje i uduvanje vazduha u količini od 40-80%. Od momenta kada smeša uđe u frizer do momenta njegovog napuštanja, smrzne najveći deo vode u roku od 30 sekundi. Dobijeni sladoled je kremast i lako se oblikuje u kalupu uz dodatak voća, lešnika i sličnih ingredijenata. Ostatak vode smrzava se u tunelu za smrzavanje na temperaturi od  $-35^{\circ}\text{C}$ .

#### Nove tehnologije u proizvodnji nemasnih i niskomasnih sladoleda

Ekstruder

Poboljšanje strukture i teksture nemasnog i niskomasnog sladoleda da-



Slika 4. SADRŽAJ SMRZNUTE VODE U NISKOMASNOM I NEMASNOM SLADOLEDU U ODNOSU NA STANDARDNI SLADOLED PRI RAZLIČITIM TEMPERATURAMA (Yashavantkumar i Mollard, 1993)

Figure 4. FROZEN WATER CONTENT IN LOW-FAT AND NON-FAT ICE CREAM COMPARING TO STANDARD ICE CREAM AT DIFFERENT TEMPERATURES (Yashavantkumar and Mollard, 1993)

pri topljenju tokom konzumiranja. Najčešće su u pitanju proteini i ugljeni hidrati (Adapa i sar., 2000). Kremasta struktura nemasnog i niskomasnog sladoleda može se postići dodatkom polidekstroze i maltodekstrina (Hyvönen i sar., 2003; Roland i sar., 1999). U pogledu arome, proizvođači se uglavnom opredeljuju za one koje su pogodnije za niskomasne i nemasne sladolede. Na primer, lipolizovana mlečna mast i njeni destilatni doprinose mlečnom ukusu (Kappas, 1997).

Jedan od ingredijenata koji je pokazao povoljne rezultate u proizvodnji niskomasnih sladoleda kao supstituent mlečnoj masti, kako sa fizičko-hemijskog tako i sa ekonomskog aspekta jeste delimično denaturisan koncentrat proteina surutke (WPC). Ovaj ingredijent je posebno razvijen za potrebe niskomasnih mlečnih proizvoda, kada se pokazalo da veliki broj dodataka ne uspeva da zameni strukturne i senzorne karakteristike masti (Hyvönen i sar., 2003; Jovanović i sar., 2007). Termički denaturisani koncentrat proteina surutke koji se koriste u proizvodnji nemasnog i niskomasnog sladoleda vezuju se za molekule vode, proteina i jedinjenja nosioce ukusa, stabilizuju mehuriće vazduha, sprečavaju pojavu igličaste

guliše pri procesu proizvodnje. Međutim, prema Adapa i sar. (2000) željena struktura niskomasnog sladoleda lakše se može postići kombinacijom mlečne masti, proteina i ugljenih hidrata u odgovarajućem odnosu, nego zamenom mlečne masti samo proteinima ili ugljenim hidratima.

#### Proizvodnja nemasnog i niskomasnog sladoleda

Proizvodnja sladoleda sa smanjenim sadržajem masti, osim po sastavu recepture, slična je procesu proizvodnje punomasnog sladoleda, uz podešavanje tehnoloških parametara u procesu proizvodnje. Tehnološki proces proizvodnje ove vrste sladoleda u najvećem broju slučajeva je zaštićen patentima i predstavlja poslovnu tajnu velikog broja proizvođača.

Prema patentu Yashavantkumar i Mollard-a (1993), prvi korak u proizvodnji nemasnog sladoleda je mešanje vode sa tečnim zaslađivačima, najčešće kukuruznim sirupom u duplikatoru sa mešalicom. Ovom rastvoru dodaje se prva smeša praškastih ingredijenata, tj. obrano mleko u prahu, šećer i razni supstituenti masti poput tapioka škroba i maltodekstrina. Kada se smeša homogenizuje dodaju se

nas se bazira na upotrebi većeg broja aditiva i dodataka. Međutim, problem koji se takođe javlja je nastojanje kupaca da izbegavaju proizvode sa velikim brojem aditiva.

Tehnologija koja je donekle uspela da poboljša reološke karakteristike sladoleda, a pre svega omogući njegovo lakše oblikovanje, jeste ekstruder za oblikovanje sladoleda, tj. Glacier mašina.

Glacier mašina se sastoji iz tri sekcije i to:

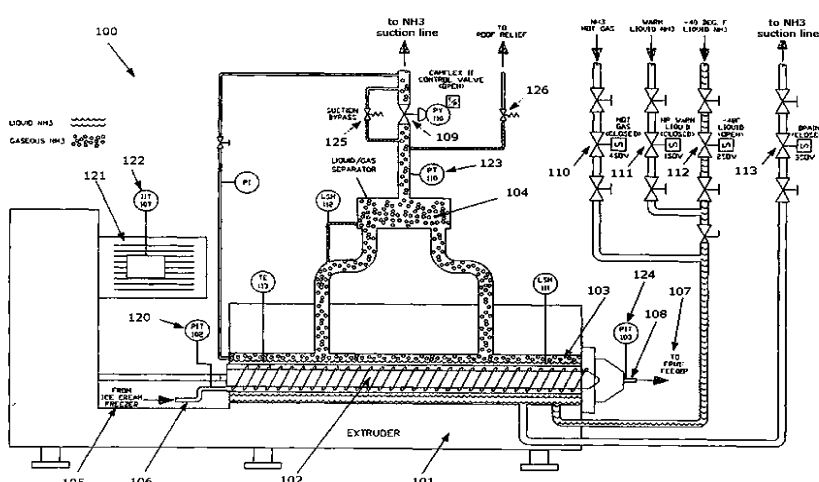
- Oblikovanje i smrzavanje proizvoda
- Obrada smrznutog proizvoda
- Pakovanje proizvoda

Sladoledna smeša koja se oblikuje ovom mašinom mora da sadrži minimum 85% saharoze od ukupne količine šećera zbog podešavanja temperature smrzavanja proizvoda (Tomić i sar., 1998b). Smeša emulgatora i stabilizatora, koja se uglavnom sastoji od guma i želatina, omogućava dobijanje veoma viskozne strukture proizvoda, koja je slična pudingu. Pripremljena smeša nakon pasterizacije i zrenja podvrgava se friziranju u kontinualnom frizeru. Kada se izvrši uduvanje željene količine vazduha, dobijeni sladoled se oblikuje ekstruderom istiskivanjem smeše kroz kalup željenog oblika, nakon čega se oblaže čokoladom ili odmah dubinski smrzava u tunelu.

Prvi industrijski prototip novog modela ekstrudera našao je primenu 1993. godine i imao je kapacitet od 400-500L/h. U periodu 1993-1996. godine konstruisana su još tri tipa ekstrudera različitih kapaciteta, prikazanih u tabeli 1, a od 1996. godine u industriji se koriste ekstruderi sa maksimalnim kapacitetom od 1200kg/h (Windhab i Bolliger, 1997).

Ekstruder, poput frizera, vrši smrzavanje sladoledne smeše pri jakoj mehaničkoj obradi. Sastoji se od čeličnog cilindra sa duplim zidovima između kojih cirkuliše rashladni fluid, što je prikazano na slici 5.

Unutar cilindra postavljeni su puževi koji rotiraju i transportuju smešu, mešaju i vrše mehanički tretman istovremeno. Broj puževa može da varira u zavisnosti od recepture. Uglavnom se koristi jedan, ali uz upotrebu dva i više puževa postavljenih paralelno

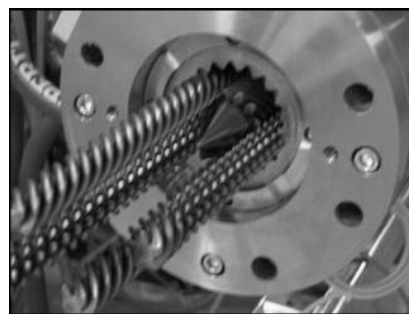
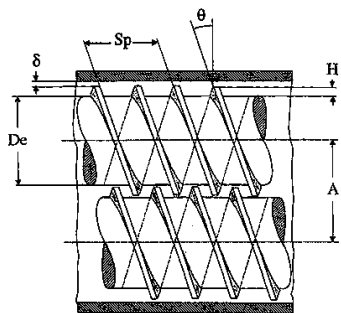


Slika 5. SISTEM EKSTRUDERA (D’Arcangelis i Tapfer, 2004)  
Figure 5. EXTRUDER SYSTEM (D’Arcangelis i Tapfer, 2004)

(slika 6), postizu se bolji rezultati u pogledu poboljšanja mikrostrukture sladoleda.

Zbog uštede energije na ekstruderu i postizanja boljih reoloških karakteristika sladoleda, poželjno je da

kristala u standardnom proizvodu. Prolaskom smeše kroz cilindar, usled trenja, vazdušni mehurići se deformišu i dele na veliki broj 3-5 puta manjih u odnosu na veličinu mehurića dobijenih upotrebom samo frizera.



Slika 6. IZGLJED PUŽA UNUTAR CILINDRA EKSTRUDERA a) Windhab i Wildmoser (2008); b) Jovčić (2008)  
Figure 6. SCREW INSIDE BARREL a) Windhab and Wildmoser (2008); b) Jovčić (2008)

se pre ekstruzije izvrši aeriranje smeše i delimično smrzavanje u frizeru. Tada uduvana sladoledna smeša temperature od -5°C ulazi u cilindar ekstrudera, gde usled kontakta sa hladnim zidovima cilindra dolazi do naglog snižavanja temperature. Već u početnom delu ekstrudera dolazi do razbijanja nukleusa nastalih u frizeru i sekundarne nukleacije. Kako je koeficijent razmene toplote veoma visok, stvara se veliki broj malih i stabilnih nukleusa, tako da je veličina kristala na kraju procesa 2-3 puta manja od

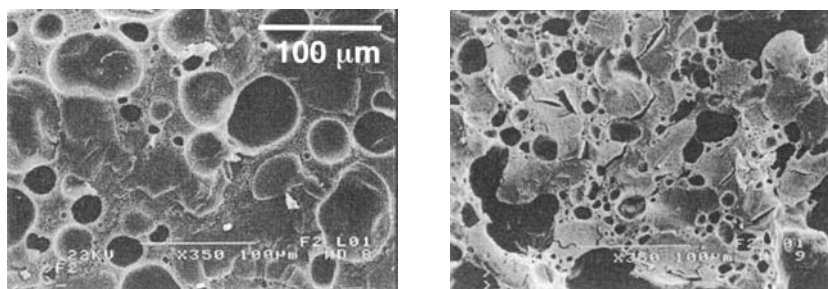
Kada su ekstruderi u pitanju, danas postoji tehnologija uz koju je moguće postići izuzetnu kremastu strukturu sladoleda, kako punomasnog tako i nemasnog sladoleda bez dodatka velikog broja aditiva (slika 7).



Slika 7. IZGLJED EKSTRUDERA  
Figure 7. THE EXTRUDER APPEARANCE

Tabela 1. TIPOVI EKSTRUDERA (Windhab i Bolliger, 1997)  
Table 1. EXTRUDER TYPES (Windhab i Bolliger, 1997)

Tip ekstrudera/ Extruder type	Maksimalni kapacitet/ Max. mass flow rate (kg/h)	Prečnik puža/ Screw diameter (mm)	Dužina cilindra/ Barrel length (mm)
TTE 100	100-120	65	1000
TTE 300	300-400	130	2000
TTE 1000	1000-1200	250	2500



Slika 8. MIKROSTRUKTURA SLADOLEDA DOBIJENA FRIZEROM I NA EKSTRUDERU (Windhab i Bolliger, 1997)  
Figure 8. MICROSTRUCTURE OF ICE CREAM DERIVED BY FREEZER AND EXTRUDER (Windhab and Bolliger, 1997)

Ukoliko je mlečna mast prisutna u smeši, usled jakog mehaničkog tretmana dolazi do odvajanja proteina i emulgatora sa površina masnih globula, kao i njihove deformacije. Kao posledica ovoga, mast stvara izrazito hidrofobne interakcije i poseduje veći afinitet da se adsorbuje na površinu vazdušnog mehurića. Masne globule se delimično spajaju stvarajući agregate. Međutim, rast agregata je ograničen usled visoke viskoznosti smeše u ekstruderu i mast ostaje zarobljena u prostoru između mehurića. Ova zarobljena mast u velikoj meri doprinosi poboljšanju reoloških karakteristika sladoleda proizvedenog ekstruderom u odnosu na frizer. Na slici 8 prikazano je poboljšanje mikrostrukture sladoleda upotrebom ekstrudera u odnosu na frizer (Windhab i Bolliger, 1997).

Kada se mast nalazi u jako maloj količini ili uopšte nije prisutna u sladoledu, mali dijametar i dobra distribucija vazdušnih mehurića i kristala leda utiču na poboljšane reološke karakteristike nemasnog i niskomasnog sladoleda, a pre svega na kremastu strukturu.

Na izlasku iz ekstrudera temperatura smeše iznosi  $-15^{\circ}\text{C}$ , a do 80% vode nalazi se u čvrstom agregatnom stanju. Zbog toga ne postoji potreba za dubinskim smrzavanjem sladoleda u glomaznim tunelima za zamrzavanje, već se direktno skladišti i distribuira.

Sladoled proizveden primenom ekstrudera je ne samo boljih karakteristika, već je i stabilniji tokom dužeg skladištenja, ne pokazuje veći stepen rekristalizacije i otporniji je na temperaturne fluktuacije.

Prema Hansenu (2003), prednosti upotrebe ekstrudera u industriji sladoleda se ogledaju u sledećem:

- Predstavlja zamenu za tunel za smrzavanje uz manju investiciju i prostor u pogonu;
- Jednostavna manipulacija uz male gubitke
- Dobija se proizvod visokog kvaliteta uz mogućnost uštede na ingredijentima (emulgatori/stabilizatori)
- Postizanje maksimalno dispergovane strukture otporne na temperaturne fluktuacije
- Visok koeficijent toplotne razmene.

#### "Antifriz" proteini kao novi ingredijent za inhibiciju rekristalizacije sladoleda

"Antifriz" proteini (AFP ili ISP - Ice Structuring Proteins) odnose se na klasu polipeptida koje sintetišu određene vrste životinja, biljaka i mikroorganizama sa ulogom da ih zaštite od smrzavanja pri temperaturama nižim od temperature smrzavanja telesnih tečnosti. AFP snižavaju tačku mržnjenja, vezuju se za male kristale leda onemogućavajući njihov dalji rast i rekristalizaciju (Marshall i sar., 2003).

Rekristalizacija leda je pojava kada manji kristali leda sublimiraju i ve-

zuju se za veće kristale omogućavajući njihov rast. Ova pojava se dešava uglavnom pri temperaturnim fluktuacijama kojima je sladoled izložen i naziva se Ostwaldovo zrenje (Lewis, 2007).

Vezivanje proteina za led utiče na termalni histerezis, tj. inhibiciju rekristalizacije i oblik leda kristala. U rastvorima u kojima je prisutan AFP u niskim koncentracijama uočeno je drugačije ponašanje prilikom smrzavanja i topljenja u odnosu na rastvore u kojima AFP nije prisutan (slika 9). Pri koncentracijama većim od 0,1% uočeno je snižavanje temperature smrzavanja, ali se temperatura topljenja ne menja (termalni histerezis). Ovaj efekat nastaje kao posledica vezivanja za protein.

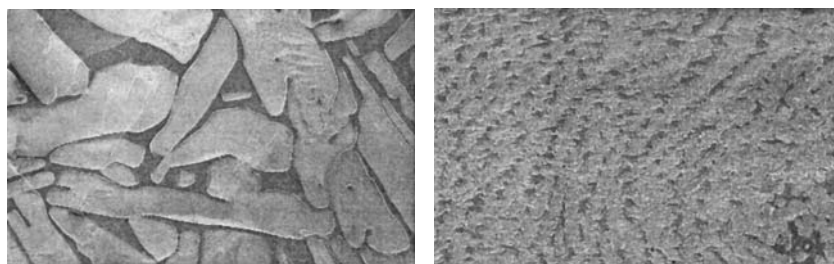
AFP, takođe, utiču na oblikovanje kristala leda u zavisnost od uslova pri kojima vezivanje nastaje. Kada se rastvor nalazi u blizini temperature topljenja dolazi do obrazovanja okruglastog oblika kristala leda. Pri nižim vrednostima, dolazi do obrazovanja drugačijih oblika, jer deo kristalne rešetke za koji se protein veže ne može da raste. Ukoliko je temperatura ispod vrednosti histerezisa, kristal naglo počinje da raste tako da protein više ne može da ga inhibira, ali i dalje može da ga oblikuje.

Zbog ovih karakteristika AFP je izazvao veliku pažnju u industriji sladoleda, gde bi njegova upotreba rešila problem rekristalizacije sladoleda i njegovu bolju održivost pri temperaturnim fluktuacijama. Takođe, mogućnost oblikovanje kristala leda u velikoj meri može da poboljša kremastu strukturu sladoleda.

Ukoliko bi se poredila dva uzorka, jedan sladoled bez AFP (standard) i drugi sa dodatkom AFP, veličina kristala leda bi bila ista (30-40  $\mu\text{m}$ ). Međutim, kada bi se uzorci sladoleda temperirali u intervalu od  $-20$  do  $-10^{\circ}\text{C}$  u trajanju od tri nedelje, došlo bi do značajne promene u strukturi standarda. Rekristalizacija bi bila izražena, a sladoled bi dobio zrnastu strukturu, dok bi uzorak sa AFP zadržao približno istu strukturu (Clarke i sar., 2003).

#### ZAKLJUČAK

Proizvodnja nemasnog sladoleda je u velikoj meri "evoluirala" u periodu od osamdesetih godina prošlog veka. Prvi proizvodi bazirali su se na dodatku većeg broja aditiva kako bi se poboljšala mrvljiva i nestabilna struktura sladoleda, koja nastaje u odsus-



Slika 9. POREĐENJE KRISTALA LEDA BEZ I SA AFP (Clarke i sar., 2003)  
Figure 9. ICE STRUCTURE WITHOUT AND WITH AFP (Clarke i sar., 2003)

tvu mlečne masti. Međutim, i pored znatnih poboljšanja niskomasni i nemasni sladoled i sladoledni dezerti nisu naišli na veliki prijem kod potrošača. Senzorne karakteristike jednostavno nisu postizale efekat punomasnih proizvoda, a postojala je i odbojnost zbog velikog broja aditiva.

Danas je industrija sladoleda u mogućnosti da proizvede nemasni i niskomasni sladoled sa malim brojem aditiva, a da se postigne efekat koji daje punomasni sladoled pri konzumiranju. Primena ekstruzije pri niskim temperaturama predstavlja veliki napredak u proizvodnji sladoleda, gde se uz mala ulaganja postiže veliki pomak u kvalitetu i održivosti sladoleda. Ekstruder u kombinaciji sa "antifriz" proteinima (AFP) obezbeđuje kompaktnu mikrostrukturu sladoleda u kojoj su kristali leda, vazdušni mehurići i masne globule nekoliko puta manji u odnosu na standardni sladoled, a pri tome i održivi pri temperaturnim kolebanjima.

Danas niskomasni sladoledi i dezerti ispunjavaju prvobitnu ideju sladoleda sa manjom energetskom vrednošću koji svojim karakteristikama mogu da pariraju u potpunosti punomasnom proizvodu.

## LITERATURA

- Adapa, S., Dingeldein, H., Schmidt, K.A., Herald, T.J.: Rheological properties of ice cream mixes and frozen ice creams containing fat and fat replacers. *J. Dairy Sci.*, 83 (2000) 2224-2229.
- Arbuckle, W.S.: *Ice cream*, fourth edition. Van Nostrand Reinhold, New York, (1986).
- Baer, R.J., Wolkow, M.D., Kasperson, K.M. (1997): Effect of emulsifiers on the body and texture of low fat ice cream. *J. Dairy Sci.* 80, 3123-3132.
- Clarke C. J., Buckley S., Lindner N.: Ice structuring proteins in ice cream, International Symposium on Ice Cream, Thessaloniki, 14-16 May 2003, Proceedings, pp. 33-44.
- D'Arcangelis, L. and Tapfer, U.: Process control scheme for cooling and heating compressible compounds. Patent application number: WO 2005/004626 A2 (2004).
- Gaonkar, A.G.: *Ingredient interactions-effects on food quality*, first edition. Marcel Dekker Inc. New York, (1995).
- Hansen, P.H.: Shaping the products of future, International Symposium on ice cream Thessaloniki, 14-16 May 2003, Proceedings, pp. 88-99.
- Hyvönen, L., Linna, M., Tourila, H., Dijksterhuis, G.: Perception of Melting and Flavour Release of Ice Cream Containing Different Types and Contents of Fat. *J. Dairy Sci.*, Vol. 86 (2003) 1130-1138.
- Jovanović, S., Mačej, O., Obradović, D., Mikuljanac A.: Savremeni pravci u proizvodnji sladoleda, IV međunarodni simpozijum "Savremeni trendovi u proizvodnji mleka", Kopaonik, 3-7 april 1995, Zbornik radova, pp. 75-77.
- Jovanović, S., Tomić, T., Mačej, D.: Uticaj procesa friziranja na kvalitet sladoleda, IV. III jugoslovenski simpozijum prehrambene tehnologije. Beograd, 4-6 februar 1998, Zbornik radova, pp. 110-114.
- Jovanović, S., Barać, M., Mačej, O., Vučić, T.: Serum proteini – tehnološko-funkcionalna svojstva. *Savremena poljoprivreda*, 56 (5) (2007) 114-125.
- Kappas, J.: Polidextrose, Fat Replacers and Functional Ingredients in Frozen Dairy Applications, International Symposium on Ice Cream, Athens, 18-19 September 1997, Proceedings, pp. 75-82.
- Kilara, A.: Fat mimetics in ice cream and frozen dessert manufacture, International Symposium on Ice Cream, Athens, 18-19 September 1997, Proceedings, pp. 65-74.
- Krog, N.: The use of emulsifiers in ice cream, International Symposium on Ice Cream, Athens, 18-19 September 1997, Proceedings, pp. 37-44.
- Lewis, D.F.: Microstructure of frozen and dairy-based confectionery products. Chapter 9, in: *Structure of dairy products*, ed. A. Tamime, Blackwell Publishing Ltd., Oxford (2007) pp. 236-257.
- Li, Z., Marshall, R., Heymann, H., Fernando, L.: Effect of milk fat content on flavour perception of vanilla ice cream. *J. Dairy Sci.* 80 (1997) 3133-3141.
- Marshall, R.T., Goff, H.D., Hartel, R.W.: *Ice cream*, sixth edition. Springer science, New York, (2003).
- Ohmes, R.L., Marshall, R.T., Heymann, H.: Sensory and physical properties of ice creams containing milk fat or fat replacers. *J. Dairy Sci.*, 81 (1998) 1222-1228.
- Pravilnik o kvalitetu i drugim zahtevima za mleko, mlečne proizvode, kompozitne mlečne proizvode i starter kulture (2002), Službeni list SRJ br. 26
- Prindiville, E.A., Marshall, R.T., Heymann, H.: Effect of milk fat, cocoa butter, and whey protein replacers on the sensory properties of lowfat and nonfat chocolate ice cream. *J. Dairy Sci.*, 83 (2000) 2216-2223.
- Roland, A.M., Philips, L.G., Boor, K.J.: Effects of fat content on the sensory properties, melting, color and hardness of ice cream. *J. Dairy Sci.* 82 (1999) 32-38.
- Tomić, T., Lekić, D., Mačej, O., Jovanović, S.: Važniji parametri tehnološkog procesa proizvodnje „soft“ sladoleda. Jugoslovenski mlekarSKI simpozijum "Savremeni trendovi u mlekarstvu", Zlatibor, 1-5 1998a, Zbornik radova, pp. 215-224.
- Tomić, T., Lekić, D., Mačej, O., Jovanović, S.: Specifičnosti proizvodnje ekstrudiranog sladoleda tipa „Mega“ u MDD „Frikom“, Beograd, Jugoslovenski mlekarSKI simpozijum "Savremeni trendovi u mlekarstvu", Zlatibor, 01-05 1998b, Zbornik radova, pp. 225-229.
- Tomić, T., Jovanović, S., Mačej, O.: Trendovi u proizvodnji sladoleda. *Mlekarstvo* 3 (27) (2004) 919-926.
- Tomić, T., Radojčić, D., Jovanović, S., Mačej, O.: Upotreba aroma i aditiva u proizvodnji sladoleda, Simpozijum „Mleko i proizvodi od mleka“, Tara, 6-10 april 2005, Zbornik radova, pp. 35-44.
- Tomić, T., Jovanović, S., Mačej, O.: Definisane tehnoloških parametara proizvodnje probiotskog sladoleda. *Prehrambena industrija*, 17 (1-2) (2006a) 90-95.
- Tomić, T., Jovanović, S., Mačej, O.: Characteristics of ice cream with high mineral and vitamin content, 37. hrvatski simpozij mljekarskih stručnjaka s međunarodnim sudjelovanjem, Lovran 26-29. novembar 2006, Zbornik sažetaka, pp. 16-17.
- Tomić, T., Jovanović, S., Mačej, O.: Definisane tehnoloških parametara proizvodnje light sladoleda za dijabetičare, Simpozijum „Mleko i proizvodi od mleka“, Kladovo. 09-13 maj 2007, Zbornik radova, pp. 7-9.
- Tomić, T., Jovanović, S., Mačej, O.: Definisane tehnoloških parametara proizvodnje prebiotskog sladoleda sa dodatkom prehrambenih vlakana. V simpozijum „Mleko i proizvodi od mleka“, Tara, 4-8 jun 2008, Zbornik radova, pp. 5-8.
- Yashavantkumar J.A. i Mollard M.A.: Process for producing low or non fat ice cream. Patent number: 5,215,777 (1993).
- Vega, C., Andrew, R. A., Goff, H.D.: Functionality of carageenan in ice cream mix formulations. International Symposium on Ice Cream, Thessaloniki, 14-16 May 2003, Proceedings, pp. 78-87.
- Walstra, P. and Jonkman, M.: The role of milk fat and protein in ice cream, International Symposium on Ice Cream, Athens, 18-19 September 1997, Proceedings, pp. 17-24.
- Wildmoser, H. and Windhab, E.J.: Impact of Mechanical Treatment of Ice Cream at Ultra-Low Temperature on Scoopability, Melting Behaviour and Creaminess, International Symposium on Ice Cream, Thessaloniki, 14-16 May 2003, Proceedings, pp. 159-177.
- Windhab, E.J. and Bolliger, S.: New Developments in Ice Cream Freezing Technology and Related On-line Measuring Techniques. International Symposium on Ice Cream, Athens, 18-19 September 1997, Proceedings, pp. 112-130.
- Windhab, E.J. and Wildmoser, J.: Low temperature extrusion process and device for optimized and viscosity adapted microstructuring of frozen aerated masses. Patent application number: US 2008/0254180 A1 (2008).
- www.buhlergroup.com

**SUMMARY****CHARACTERISTICS OF ICE CREAM WITH LOWER FAT CONTENT**

Tanja R. Vučić, Snežana T. Jovanović, Ana Jovčić, Igor R. Zdravković

University of Belgrade, Faculty of Agriculture, Institute for Food Technology and Biochemistry

Popularity of ice cream is based on its highly specific sensory characteristics. However, because of high energetic value due to sugar and milk fat presence, ice cream is often criticized by nutritionists.

New nutrition trends and assortment development in ice cream industry resulted in appearance of ice cream with lower fat content, known as light ice cream. Since milk fat has a significant influence on sensory characteristics and structure of ice cream, producers had an important task to find adequate milk fat replacers. The consumer demand for low fat ice cream with characteristics similar to the standard ice cream, had to be satisfied.

By application of new ingredients such as WPC, AFP, adequate mixture of stabilizers and emulsifiers, as well as extruder application and correction of some parameters of technological production process, defects of the low fat ice cream were successfully solved.

**Key words:** ice cream • milk fat • extruder • AFP