

## ZAMRZAVANJE SLADOLEDA TEKUĆIM UGLJIČNIM DIOKSIDOM I SUHIM LEDOM

Bojan ŠEF, dipl. inž.<sup>1</sup>, Maja OTRIN, dipl. inž. živ. teh.<sup>2</sup>, Blaž SLOKAN, dipl. inž. živ. teh.<sup>2</sup>, mag. Majda ŠEF, dipl. inž. živ. teh.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> NOVUM — Center za tehnološke inovacije, Ljubljana

<sup>2</sup> Ljubljanske mlekarne, Ljubljana

### 1.0. Osobine ugljičnog dioksida

Plin sa kemijskim imenom ugljični dioksid, kemijskom formulom CO<sub>2</sub> i oznakom R 744 kao rashladno sredstvo dobavlja se potrošačima u tekućem agregatnom stanju u području pritiska od 15 bara kod temperature 20°C u cisternama ili bombama. Kvaliteta tekućeg CO<sub>2</sub> je definirana njegovom čistóćom koja dostiže 99,995 vol.0/0 i tačkom rošenja. Poseban oblik CO<sub>2</sub> u prodaji je suhi led u obliku kocki, cilindra ili malih komadića poput cigarete nazvanih pelete. Ugljični dioksid je u plinovitom i tekućem agregatnom stanju bez boje, u čvrstom stanju kao suhi led je opalno bijele boje. Ima malo oštar miris i ne gori.

Čvrsti ugljični dioksid — suhi led — sublimira kod atmosferskog pritiska kod 194,65 K (—78°C) i za to troši sublimacijsku toplinu 573,13 KJ/kg (136,89 kcal/kg).

### 2.0. Kriogeno zamrzavanje ugljičnim dioksidom

Najvažnije osobine rashlađivanja i zamrzavanja ugljičnim dioksidom:

— ugljični dioksid je plin bez boje, okusa i mirisa i praktički se ne miješa s proizvodima koji sadrže vodu. Kao takav ne može prouzrokovati promjenu organoleptičkih osobina proizvoda;

— ugljični dioksid koji se upotrebljava za zamrzavanje je vanredno čist i odgovara svim zahtjevima za materije koje dolaze u direktni kontakt s namirnicama;

-- njegove bakteriostatičke, baktericidne i antioksidativne osobine garantiraju očuvanje kvaliteta;

-- zbog visoke specifične težine (1,5x veća od zraka) ugljični dioksid ostaje u kontaktu sa robom, istiskuje zrak i time kisik iz međuprostora;

— zbog niskih temperatura omogućuje brzo-trenutno zamrzavanje, ali ne prouzrokuje unutrašnjih napona i time oštećenja u strukturi zbog prevelikih temperaturnih razlika (kao npr. dušik);

— ugljični dioksid oduzima 800/0 topline u direktnom kontaktu i time omogućuje brzi prelaz topline sa robe na rashladno sredstvo.

### 3.0. Upotreba ugljičnog dioksida za zamrzavanje sladoleda

Zamrzavanje sladoleda predstavlja veoma važan faktor u tehnologiji ovog proizvoda, koji utječe na finalni kvalitet. Konzistencija sladoleda mora da bude ravnomjerna, bez ledenih kristala i taloga. Isto tako ne smiju se izdvajati sastojci sladoleda, što se može dogoditi kod sporog zamrzavanja.

Sladoled mora biti izrađen iz bakteriološki bespriječnih sastojaka, koji moraju očuvati kvalitetu nakon tehnološkog procesa. Sladoled je nužno da-

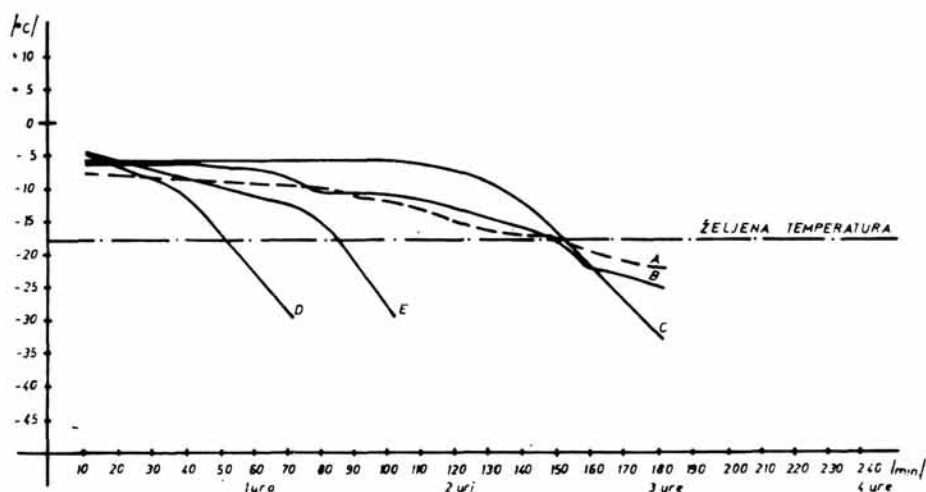
kie što brže zamrznuti, kako iz tehnoloških, tako i iz higijenskih razloga. Sa do sada upotrebljavanim zamrzavanjem u hladnom toku zraka moguće je trenutno ili brzo zamrzavati samo manje proizvode od sladoleda, kao što su sladoledi na štapićima, korneti, sladoledi u lončićima i sl. Tim postupkom je kod većih ambalažnih jedinica vrlo teško brzo postignuti temperaturu 251 K ( $-22^{\circ}\text{C}$ ) u jezgri.

Upravo kod ovih proizvoda postigli smo vrlo dobre rezultate sa zamrzavanjem ugljičnim dioksidom.

Probu smo izveli u Ljubljanskim mlekarnama u Ljubljani. Za probu smo pripremili više varijanti. Posude sa 41/1800 gr. sladoleda uložili smo u karton, a prazan prostor između kartona i posude smo napunili suhim snijegom. Nakon toga uložili smo kartone u komoru hladenu tekućim  $\text{CO}_2$ . Temperatura u komori u 25 minuta prešla je 208 K ( $-65^{\circ}\text{C}$ ). Za poređenje stavili smo u komoru i posude sa sladoledom bez kartona u banjicama (isto tako 1800 grama) i pakovanja sladoleda u kartonskoj ambalaži sa 455 grama (komercijalni naziv »Planica«).

Na dijagramu je prikazano sniženje temperature u određenom vremenu. Sladoledi »Planica« najbrže su smrznuli i temperatura u jezgri je bila nakon 50 minuta 255K ( $-18^{\circ}\text{C}$ ), a nakon 70 minuta postigla je čak 245K ( $-28^{\circ}\text{C}$ ). Dosta brzo je smrznuo i sladoled u kartonima sa suhim ledom, ma da je bio ambalažni lonac visok 18 cm kod promjera isto tako 18 cm. Nakon 3 sata smrzavanja u jezgri temperatura je bila 245K ( $-28^{\circ}\text{C}$ ). Malo sporije smrzavao je sladoled isto tako u loncima i u kartonskoj kutiji, ali bez suhog snijega.

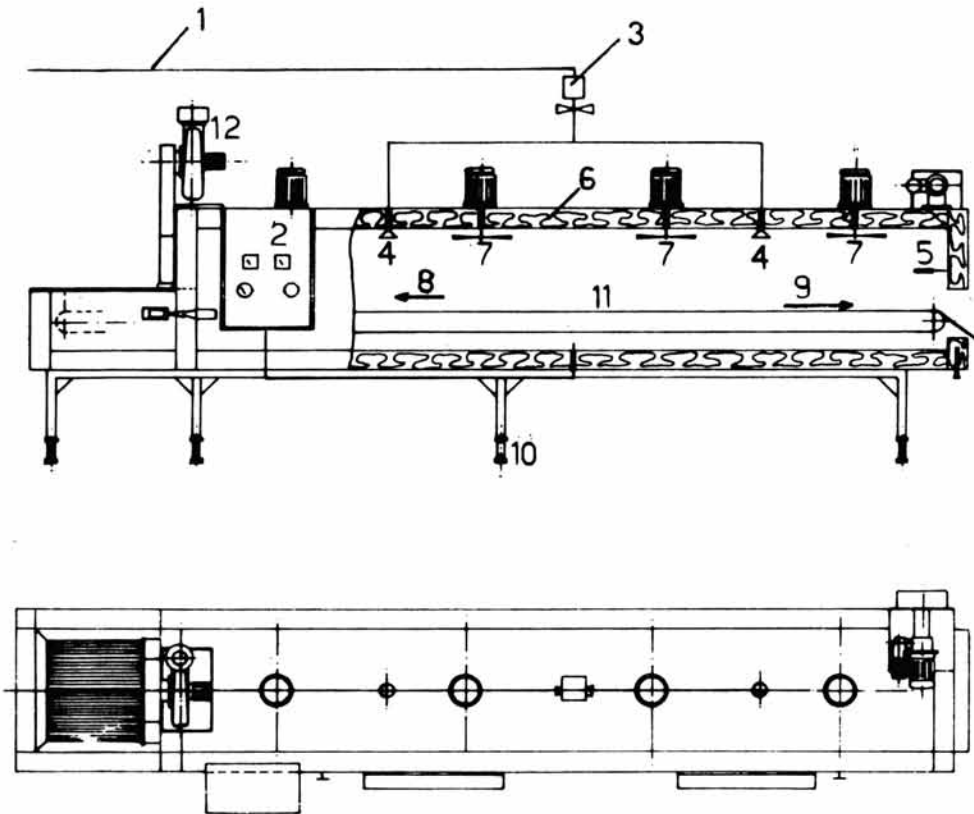
Nakon smrzavanja u komori sladoled smo skladištili u skladištu sa temperaturom  $-32^{\circ}\text{C}$  i kroz 3 dana skladištenja organoleptički smo analizirali sladoled normalno smrznut i smrznut sa  $\text{CO}_2$ . Konzistencija sladoleda smr-



**Diagram smrzavanja sladoleda**

- A — banjica sa suhim snijegom u kartonu
- B — banjica bez suhog snijega u kartonu
- C — lonac sa suhim snijegom u kartonu
- D — Planica sladoled na mreži — bez grosističke ambalaže
- E — banjica bez suhog snijega i bez kartona

nutog sa CO<sub>2</sub> bila je jednakomjerna, bez ledenih kristala i odmah ga se moglo porcionirati, ma da nije bio otopljen. Isto tako nije bilo miješanja boje kod višebojnih sladoleda. Konzistencija sladoleda je bila ravnomjerna po čitavoj dubini lonca i prerez višebojnog sladoleda je bio potpuno pravilan.



Slika 1: Uzdužni tračni zamrzivač

- |                                  |                                |
|----------------------------------|--------------------------------|
| 1 dovod tekućeg CO <sub>2</sub>  | 7 ventilatori                  |
| 2 regulacija temperature         | 8 protitok gasa                |
| 3 elektromagnetni ventil         | 9 protok proizvoda             |
| 4 ubrizgavanje CO <sub>2</sub>   | 10 regulacija visine           |
| 5 termosta                       | 11 transportna traka           |
| 6 izolacijsko kućište zamrzivača | 12 odsisavanje CO <sub>2</sub> |

Nakon ove probe možemo tvrditi, da upotreba brzog smrzavanja pomoću CO<sub>2</sub> daje vrlo dobre rezultate, a pogotovo:

— pomoću CO<sub>2</sub> možemo postići dovoljno niske temperature u vrlo kratkom vremenu, što je pogodno za brzo pokvarljivu robu, kako sa mikrobiološkog, tako i sa tehnološkog gledišta;

— pomoću CO<sub>2</sub> smrzavanja možemo ubrzavati vrijeme smrzavanja i tako možemo povećati proizvodnju ili skratiti skladištenje u komori sa -30°C. Tako štedimo i energiju i prostor u skladištu. Sladoled može odmah nakon smrzavanja na kamion i do »potrošača«;

— smrzavanje pomoću CO<sub>2</sub> je vrlo efikasno i sa tehnološkog gledišta. Smrzavanje je tako brzo, da ledeni kristali nemaju ni vremena da se izgrade. Tako ostaje konzistencija bez greške.

#### 4.0. Oprema za hlađenje suhim snijegom

Suhi snijeg proizvodi se ekspanzijom pothlađenog ugljičnog dioksida koji se pretvara u suhi snijeg i jednakomjerno raspoređuje po površini proizvoda. Za hlađenje suhim snijegom razvijena su dva uređaja i to:

snježni top i  
snježna kapa

Snježni top je najjednostavniji uređaj za proizvodnju suhog snijega. Može ga je fiksno montirati na zid ili upotrebljavati kao fleksibilnu jedinicu povezanu gipkim crijevom sa cisternom za tekući ugljični dioksid. Upravlja se ručno ili preko elektro-magnetnog ventila. Upotrebljava se za brzo rashlađivanje manjih količina ili za prethlađenje, za pokrivanje špriceva kao i za opskrbu transportnih sredstava suhim snijegom. Isto tako moguće je snježni top upotrebiti kao dodatno ili pomoćno hlađenje u postojećim rashladnim komorama. Kapacitet snježnog topa je do 6,5 kg/min. suhog snijega.

Snježna kapa je kompaktna i robustna naprava za hlađenje suhim snijegom. Za razliku od klasičnih, naprava je jednostavna i neproblematična u upotrebi i može se naknadno ugraditi u postojeće proizvodne linije. Može ju je upotrebiti i na transportnoj traci sa kontinuiranim ili prekinutim radom. Kapacitet snježne kape je između 50 i 1000 g/sek.

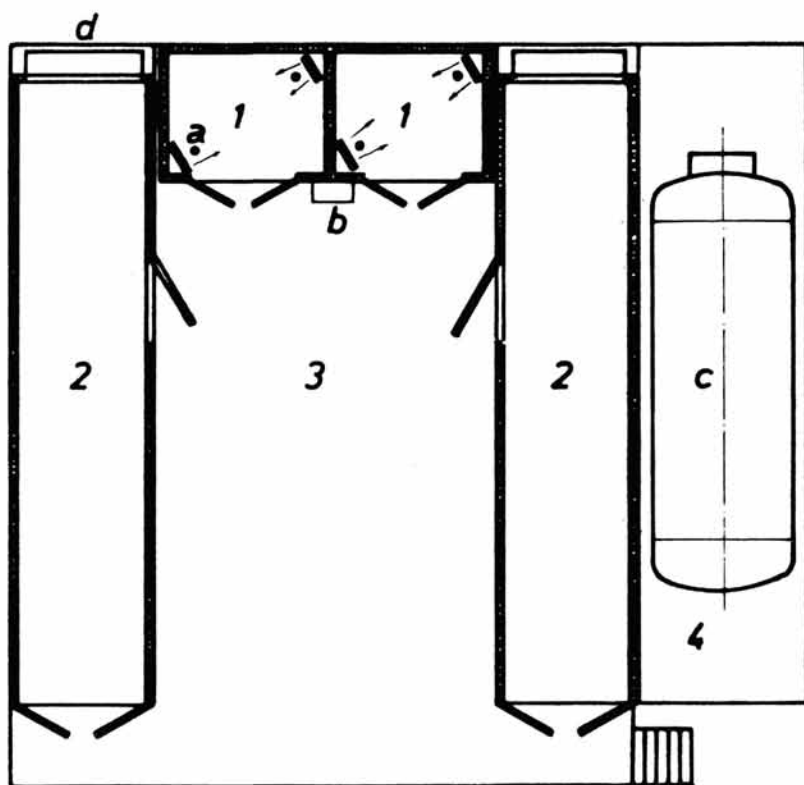
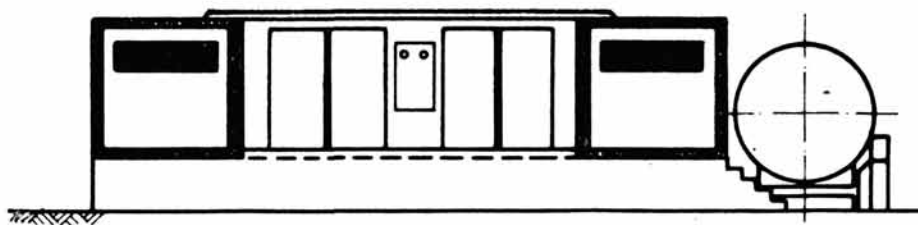
#### 4.1. Oprema za šaržno rashlađivanje i zamrzavanje

Opremu za šaržno rashlađivanje je moguće, obzirom na njenu mogućnost prilagodivanja, upotrebljavati za trenutne potrebe rashlađivanja, zamrzavanja ili čuvanja namirnica. Ta oprema obuhvaća:

- ormar, čeliju i kontejner za rashlađivanje
- ormar, čeliju ili kontejner za zamrzavanje
- ormar, čeliju ili kontejner za čuvanje hlađenih ili smrznutih proizvoda.

Ta oprema je namijenjena manjim kapacitetima. Kontejneri prvenstveno za hlađenje na terenu ili za prethlađenje proizvoda prije zamrzavanja u kontinuiranim zamrzivačima. Hlađenje se postiže direktnim ubrizgavanjem tekućeg pothlađenog ugljičnog dioksida. Temperaturu je moguće regulirati između 283 K (10°C) i 203 K (−70°C). Kapacitet naprave zavisi o izvedbi i osobinama materijala koji se hlade odnosno zamrzavaju.

Poseban oblik te opreme je »Kontejnerska hladnjača« sastavljena od kontejnera za zamrzavanje ugljičnim dioksidom, kontejnera za skladištenje sa klasičnim agregatima, pokrivene manipulacije i prostora za cisternu sa tekućim ugljičnim dioksidom.



Slika 2. Kontejnerska hladnjača

- |                     |                         |
|---------------------|-------------------------|
| 1 zamrzavanje       | a CO <sub>2</sub> grupa |
| 2 skladište         | b komandni ormarić      |
| 3 manipulacija      | c cisterna              |
| 4 plato za cisternu | d agregat za hlađenje   |

#### 4.2. Zamrzivači sa tekućom trakom

Zamrzivači sa tekućom trakom su naprave za kontinuirano zamrzavanje sa direktnim ubrizgavanjem tekućeg pothlađenog ugljičnog dioksida. Proiz-

vodi, koji se zamrzavaju putuju kroz zamrzivač na tekućoj traci od nerđajućeg žičanog pletiva. Izvedba trake omogućuje pristup ugljičnom dioksidu i time zamrzavanje sa svih strana i onemogućuje lijepljenje proizvoda na traku. Temperaturu na traci u zamrzivaču je moguće regulirati između 283 K (10°C) i 198 K (-75°C) termostatom. Ugljični dioksid brizgan pod pritiskom i ventilatori omogućuju vanredno brzo prelaz topline između proizvođa i mješavine CO<sub>2</sub> suhog snijega i hladnog plina. Elektronska regulacija brzine transportne trake omogućuje regulaciju vremena prolaza proizvoda između 1 i 60 minuta.

CO<sub>2</sub> zamrzivači su već poslije 10 minuta spremni za rad punim kapacitetom, čime se smanjuju gubici i vrijeme puštanja u rad na minimum.

Zamrzivači sa tekućom trakom izrađuju se u dvije izvedbe: uzdužni tračni zamrzivači i spiralni tračni zamrzivači. Uslovi proizvodnje, dimenzije proizvoda i prostor su odlučujući faktori kod izbora izvedbe zamrzivača. Kapacitet zamrzivača je od nekoliko desetaka do više 1000 kg na sat. (Slika 2).

### 5.0. Sistem za skladištenje i distribuciju ugljičnog dioksida

Tekući ugljični dioksid dobavlja se potrošačima specijalnim izoliranim autocisternama. Kod potrošača postavljen je stabilni rezervoar za tekući CO<sub>2</sub>. Obično je postavljen na vagu kojom kontroliramo punjenje rezervoara i vršimo obračun između distributera i potrošača.

Tekući CO<sub>2</sub> održava se u rezervoaru kod temperature 253 K (-20°C) do 246 K (-27°C) i pritiska 16 do 20 bara. Za pridržavanje radne temperature i pritiska ima rezervoar prigraden rashladni agregat i odličnu termoizolaciju. Rezervoar je opremljen radnom armaturom za punjenje i izuzimanje CO<sub>2</sub> i sigurnosnim dvostrukim ventilom koji u slučaju kvara agregata onemogućuje povišenje pritiska iznad dozvoljenog.