

# Smrzavanje u procesima prehrambene industrije

---

Bešlić, Mislav

Undergraduate thesis / Završni rad

2016

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **Josip Juraj Strossmayer University of Osijek, FACULTY OF FOOD TECHNOLOGY / Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Prehrambeno-tehnološki fakultet Osijek**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:109:714733>

Rights / Prava: [In copyright](#) / [Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2025-04-02**

REPOZITORIJ

PTF OS

PREHRAMBENO-TEHNOLOŠKI FAKULTET OSIJEK

dabar  
DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJI

Repository / Repozitorij:

[Repository of the Faculty of Food Technology Osijek](#)



SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU  
PREHRAMBENO – TEHNOLOŠKI FAKULTET OSIJEK

PREDDIPLOMSKI STUDIJ PREHRAMBENE TEHNOLOGIJE

Mislav Bešlić

Zamrzavanje namirnica

završni rad

Osijek, 2016.

SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU  
PREHRAMBENO-TEHNOLOŠKI FAKULTET OSIJEK

PREDDIPLOMSKI STUDIJ PREHRAMBENA TEHNOLOGIJA

Završni rad

## ZAMRZAVANJE NAMIRNICA

Nastavni predmet:

Procesi u prehrambenoj industriji

Predmetni nastavnik: doc. dr. sc. Anita Pichler

---

Student/ica: Mislav Bešlić

(MB: 3574/12)

Mentor: doc. dr. sc. Anita Pichler

Predano (datum):

Pregledano (datum):

---

Ocjena:

Potpis mentora:

---

## Zamrzavanje namirnica

### Sažetak

Konzerviranje namirnica zamrzavanjem u današnjem svijetu je sve učestalija metoda očuvanja same namirnice. Na početku rada objasniti ćemo detaljno pojam same namirnice, ali i načine njenog čuvanja. Budući da ćemo se baviti samo zamrzavanjem, kao metodom konzerviranja, objasniti ćemo osnovne značajke metode i pojasniti rashladne sustave. Mogućnosti zamrzavanja namirnica razvojem tehnologija sve su veće tako da razlikujemo nekoliko postupaka zamrzavanja, kao što su postupci zamrzavanja prema brzini zamrzavanja i postupci zamrzavanja prema načinu dovođenja topline. Kao metodu zamrzavanja, detaljnije ćemo objasniti zamrzavanje imerzijom i raspršivanjem. Zamrzavanje, kao metoda konzerviranja, ima utjecaj na same namirnice što smo raščlanili na, utjecaj na mikroorganizme i enzime. Također, utjecaj zamrzavanja je vidljiv i pri odmrzavanju namirnice, što je objašnjeno u zadnjem poglavlju.

**Ključne riječi:** konzerviranje, namirnica, zamrzavanje, rashladni sustavi, imerzija, raspršivanje

## **Food freezing**

### **Summary**

Preservation of foods by freezing in today's world is increasingly common method of preserving their own food. At the beginning of the work, we will explain, in detail, the concept of food, and the ways of its preservation. Since we deal with only freezing, as the method of preservation, we will explain the basic features of the method and explain cooling systems. Freezing options of food technology development are increasing so that there are several methods of freezing, such as the speed of freezing methods and freezing processes of freezing mode, the heat conducting. As a method of freezing, we will explain, in detail, freeze immersion and spray. Freezing, as a method of preservation, has an impact on the very foods that we have analyzed the impact on, microorganisms and enzymes. Also, the impact of frost is visible while defrosting food, as discussed in the last chapter.

**Key words:** canning, food, freeze, cooling systems, immersion, spray

## SADRŽAJ

<b>1. UVOD .....</b>	<b>1</b>
<b>2. GLAVNI DIO .....</b>	<b>2</b>
2.1 Namirnice i njihovo čuvanje .....	2
2.1.1 Namirnice .....	2
2.1.2 Čuvanje namirnica .....	3
2.2 Konzerviranje zamrzavanjem .....	4
2.2.1 Osnovne značajke metode .....	4
2.2.2 Rashladna sredstva.....	4
2.3 Mogućnosti zamrzavanje namirnica .....	6
2.3.1 Postupci zamrzavanja.....	7
2.3.1.1 Postupci zamrzavanja prema brzini zamrzavanja .....	7
2.3.1.2 Postupci zamrzavanja prema načinu dovođenja topline .....	8
2.3.1.3 Zamrzavanje imerzijom i raspršivanjem.....	11
2. 4. Utjecaj zamrzavanja na namirnice .....	13
2.4.1 Utjecaj na mikroorganizme .....	13
2.4.2 Utjecaj na enzime.....	14
2.4.3 Toplinske promjene pri zamrzavanju i odmrzavanju .....	15
2.5. Odmrzavanje zaleđenih namirnica.....	17
<b>3. ZAKLJUČAK .....</b>	<b>18</b>
<b>LITERATURA .....</b>	<b>19</b>

## 1. UVOD

Konzerviranje namirnica metodom zamrzavanja upotrebljava se sve češće u današnjem svijetu. Sirovine i namirnice iz svih krajeva svijeta dostupne su u svakoj trgovini. Kako bi se olakšao transport, ali i sačuvala kvaliteta namirnica potrebno je konzerviranje, a za veliki broj namirnica i zamrzavanje. Uz veliki napredak tehnologije i pristupačnost rashladnih komora kao i mogućnost njihovog iskorištavanja u domaćinstvima (hladnjaci, zamrzivači) zamrznute namirnice zastupljene su u sve većem broju. Usavršavanjem tehnika zamrzavanja sve je kraći put namirnice od njenog izvora do hladnjaka u supermatketu. Ovisno o namirnici metode i postupci zamrzavanja su drugačiji. Kako bi namirnica održala kvalitetu potrebno ju je zamrznuti na odgovarajući način. Zamrzavanjem se produžuje rok upotrebe namirnice što je jedan od važnih čimbenika za krajnjeg kupca. Kod namirnica koje su konzervirane zamrzavanje osim samog procesa zamrzavanja bitno je i mjesto skladištenja kao i sam proces odmrzavanja. Iako je zamrzavanje moguće provoditi na puno načina u radu ćemo se osvrnuti na neke od njih.

## 2. GLAVNI DIO

### 2.1 Namirnice i njihovo čuvanje

#### 2.1.1 Namirnice

Namirnice kao sirovine koje su neophodne za svakodnevno funkcioniranje čovjeka lagano je definirati. Za potrebe ovoga rada preuzeta je definicija Hrvatske enciklopedije koja namirnice objašnjava kao tvari ili proizvodi u neprerađenom, poluprerađenom ili prerađenom obliku namijenjeni za konzumaciju (osim duhana, lijekova, narkotika, živih životinja te biljaka prije žetve, berbe ili pobiranja plodova), a kojima su kvaliteta i zdravstvena ispravnost definirane zakonskim propisima. Pojam namirnica uključuje i piće, gumu za žvakanje, vodu te začine i prehrambene aditive, koji se dodaju hrani radi konzerviranja, popravka izgleda, boje, okusa ili mirisa, obogaćivanja ili postizanja nekoga drugog svojstva. Pod tim se razumije i voda koja se ugrađuje u namirnicu tijekom njezine proizvodnje, pripreme ili obradbe. Osnovni su sastojci namirnica bjelančevine, ugljikohidrati, masti, voda, vitamini i mineralne tvari. Namirnice imaju važnu ulogu u svim procesima koji se zbivaju u ljudskom organizmu. Bjelančevine sudjeluju u izgradnji stanica djece i obnavljanju stanica odraslih ljudi te zajedno s mastima i ugljikohidratima daju organizmu energiju prijeko potrebnu za obavljanje životnih funkcija i drugih aktivnosti. Vitamini i minerali zaštitne su tvari i sudjeluju u regulaciji mnogih fizioloških procesa. Namirnice se prema različitim načelima mogu svrstati u pojedine skupine. Tako se razlikuju namirnice biljnog i životinjskoga podrijetla. Namirnice biljnoga podrijetla sadrže pretežito ugljikohidrate, a namirnice životinjskoga podrijetla uglavnom bjelančevine i masti. Posebnu skupinu čine namirnice koje se uzimaju zbog posebna djelovanja na živčani sustav ili zbog specifičnog okusa i mirisa. To su začini, kava, kakao, čaj i alkoholna pića. S obzirom na stupanj pripremljenosti i lakoću kojom se priprema, razlikuje se polugotova i gotova hrana, te tzv. brza (engl. fast food) i lako pripremljiva hrana. Zasebnu skupinu čini hrana za posebne prehrambene potrebe (dijetetske namirnice). To je hrana posebnoga sastava ili načina proizvodnje koji se razlikuje od proizvodnje uobičajene hrane, a namijenjena je prehrani dojenčadi i male djece te osoba s poremećajima metabolizma ili posebnih fizioloških stanja. U novije doba uvedene su i kategorije nove hrane, funkcionalne hrane, genetički modificirane hrane (GMO) te ekohrane. Definicije tih kategorija namirnica određene su zakonskim propisima.



### 2.1.2 Čuvanje namirnica

Namirnice kao sirovine i proizvodi koje svakodnevno koristimo lako su kvarljive. Kako bi namirnice imale duži rok trajanja odnosno zadržale svoju mogućnost zdrave uporabe pristupa se raznim vrstama konzerviranja. Konzerviranje namirnica je postupak za očuvanja hrane od kvarenja koja povećava trajnost namirnica , produljuje rok njihova čuvanja i valjanosti na tržištu , proširuje asortiman prehrambenih proizvoda (svježa, soljena i konzervirana riba), poboljšava im se okus (oplemenjivanje kobasica, mariniranje povrća i povećava prehrambena vrijednost (dodavanje šećera, sirupa , ulja i sl.).

Prehrambeni proizvodi koji se lako kvare i teško podnose transport ili promjene mikroklimе kao svježi proizvodi, u konzerviranom obliku se prodaju, čuvaju i transportiraju bez većih teškoća, kvarenja ili uništavanja. Čuvaju se u hladnjačama (**Slika 1** ).Konzervirani proizvodi spadaju u posebnu skupinu namirnica na tržištu, metode konzerviranja mogu biti: fizikalne, konzerviranje dodacima i kombinirane metode. U fizikalne metode konzerviranja namirnica spadaju:

- konzerviranje termičkom sterilizacijom
- konzerviranje hlađenjem
- konzerviranje smrzavanjem
- konzerviranje sušenjem
- konzerviranje koncentriranjem
- konzerviranje ionizirajućim zračenjem
- konzerviranje visokofrekventnom i mikrovalnom energijom. (James C i sur., 2015.)



**Slika 1** Hladnjača (web 1)

## 2.2 Konzerviranje zamrzavanjem

### 2.2.1 Osnovne značajke metode

Osnovna razlike između hlađenja i zamrzavanja je što se zamrzavanjem namirnica može konzervirati na duže vrijeme od hlađenja. Konzerviranje zamrzavanjem bazira se na činjenici da su izdvajanjem vode u vidu kristala leda i sniženjem temperature praktički zaustavljeni kemijski, biokemijski i mikrobiološki procesi. Što je više vode izdvojeno u vidu kristala leda, a što je u funkciji primijenjene temperature, to je veća stabilnost (zamrznute) namirnice. Međutim, samo zamrzavanje uvjetuje određene veće ili manje ireverzibilne promjene u namirnici, što je od osobitog značenja za one kod kojih se želi očuvati izvorna struktura i tekstura, a samim time i kvaliteta konačnog proizvoda. Te promjene su posljedica tvorbe leda. Veličina tih promjena je u funkciji brzine zamrzavanja: što je zamrzavanje brže to su promjene manje i obrnuto (Lovrić, 2003.)

### 2.2.2 Rashladna sredstva

Za provođenje postupka zamrzavanja potrebna su rashladna sredstva koja možemo definirati kao supstance koje oduzimaju toplinu proizvodu koji se hladi. Rashladno sredstvo potrebno je da zadovoljava neke uvjete, a to su:

- kritična temperatura tekućine treba da bude viša od maksimalne temperature kondenzacije da bi se kondenzacija mogla izvršiti,
- temperatura zamrzavanja tekućine mora biti niža od najniže temperature isparavanja,
- pritisci isparavanja i kondenzacije treba da su u okviru prihvatljivih granica
- rashladno sredstvo ne smije biti zapaljivo ili eksplozivno,
- ne smije izazivati reagirati ili izazivati koroziju materija od kojih je uređaj izrađen
- mješanje rashladnog sredstva sa uljem treba da je potpuno ili nikakvo
- cijena radnog fluida treba da je što manja.

Najpoznatija sredstva koja se koriste su amonijak, freon 11, freon 12, freon 22 (**Slika 2**), freon 404 A i dr. (Vereš, 2004.)



Slika 2 freon 22 (web 2).

## 2.3 Mogućnosti zamrzavanje namirnica

Poznavanje određenih procesa i mogućnosti zamrzavanja teško je razumijeti bez objašnjenja temeljnih pojmova. Definicije temeljnih pojmova dao je Lovrić (2003.):

- "Brzo zamrzavanje" općenito znači da je hrana zamrznuta i čuvana na sljedeći način: zamrzavanje je provedeno tako da se zona maksimalne kristalizacije (za većinu proizvoda između  $-1$  i  $-5^{\circ}\text{C}$ ) prođe brzo, a da je zamrzavanje završeno kada prosječna temperatura dosegne  $-18^{\circ}\text{C}$ .
- "Duboko zamrzavanje" – znači da se temperatura proizvoda održava na  $-18^{\circ}\text{C}$  ili nižoj tokom skladištenja i transporta uz minimalne varijacije temperature.
- "Centar temperature" – proizvoda ili komadića hrane je točka u kojoj proizvod ima najvišu temperaturu na kraju procesa zamrzavanja.
- "Normalno vrijeme zamrzavanja" – je vrijeme potrebno da temperaturni centar hrane određenih dimenzija i početne jednolične temperature  $0^{\circ}\text{C}$  dostigne temperaturu za  $10^{\circ}\text{C}$  nižu od početne temperature zamrzavanja.
- "Efektivno vrijeme zamrzavanja" – je vrijeme potrebno da se temperatura proizvoda snizi od njegove početne temperature do tražene temperature u centru proizvoda.
- "Brzina zamrzavanja" – je omjer između minimalne udaljenosti od površine namirnice do temperaturnog centra i vremena koje protekne od trenutka kada površina proizvoda postigne temperaturu od  $0^{\circ}\text{C}$ , a temperaturni centar temperaturu za  $10^{\circ}\text{C}$  nižu od one (temperature) na kojoj dolazi do tvorbe leda u temperaturnom centru. Ako se udaljenost mjeri u centrimetrima, a vrijeme u satima, brzina zamrzavanja se izražava u centimetrima po satu (cm/sat).
- "Praktično vrijeme skladištenja" – je period skladištenja prethodno zamrznutog proizvoda početno visoke kvalitete, tokom kojeg su u tom proizvodu očuvana prehrambena vrijednost i organoleptička svojstva u tolikoj mjeri da je prikladan za konzumiranje ili za preradu.

### **2.3.1 Postupci zamrzavanja**

Postupci zamrzavanja namirnica ovise o nekoliko čimbenika koje možemo podijeliti u dvije skupine, jednostavnu podjeli čimbenika daje Lovrić (2003.) gdje se postupci zamrzavanja hrane svrstavaju prema brzini prodiranja topline u:

- spore, kod kojih je brzina kretanja fronte leda 0.1 do 0.2 cm/sat;
- brze, sa kretanjem fronte 0.5 do 3 cm/sat;
- vrlo brze, sa brzinom kretanja fronte leda u hrani od 5 do 10 (i više) cm/sat;

ili prema načinu odvođenja topline na:

- zamrzavanje strujom ohlađenog zraka;
- zamrzavanje kontaktom s hlađenim (metalnim) površinama;
- zamrzavanje uranjanjem (imerzijom) u rashladno sredstvo.

#### **2.3.1.1 Postupci zamrzavanja prema brzini zamrzavanja**

Razlika između brzog i sporog zamrzavanja najviše se vidi u broju kristala i samoj kvaliteti zamrzavanja. Ukoliko se zamrzavanje odvija većom brzinom broj kristaliziranih jezgri je veći što u konačnici dovodi do toga da će kristali leda biti sitniji i ravnomjernije raspoređeni u stanicama i međustaničnom prostoru. Veličina samih kristala ovisi i od temperature sredstva za zamrzavanje (temperatura od -50 do -100°C veličina kristala je nekoliko mikrometara, a ukoliko je temperatura sredstva od -150 do 180°C kristala leda je 20-200µm). Kod sporijeg zamrzavanja oblikuju se kristali većih dimenzija (u prosjeku 100µm) koji su neravnomjernije raspoređeni u stanicama i međustaničnom prostoru jer ih ima manje i prisutni su u većem broju. Stanična membrana u velikoj se mjeri oštećuje pojavom krupnijih kristala leda što dovodi do smanjivanja kvalitete zamrznute namirnice, a očituje se u oslobađanju veće količine tekućine pri odmrzavanju (Vereš, 1991).

U posljednjih desetak godina ostvaren je značajan napredak na povećanju brzine zamrzavanja. Napredkom tehnologije mijenja se i vrijeme sporog i brzog zamrzavanja koje se nekada mjerilo danima odnosno satima, dok su danas odgovarajuće jedinice sati i minute.

Brzina hlađenja odnosno zamrzavanje ovisi o dvije osnovne varijable, a to su:

- pokretna sila, koja rezultira iz temperaturnog gradijenta, tj. razlike temperature između proizvoda i rashladnog medija;

- otpor prijenosu topline koji ovisi o sastavu odnosno svojstvima proizvoda, njegovim dimenzijama (debljini), brzini strujanja rashladnog medija, stupnju kontakta između proizvoda i rashladnog medija itd. (Lovrić, 2003.).

Značaj brzine zamrzavanja najbolje ćemo prikazati kroz nekoliko primjera koje daje Lovrić (2003.): tako npr. sniženjem temperature zraka u tunelskom zamrzivaču od  $-18^{\circ}\text{C}$  na  $-28^{\circ}\text{C}$  skraćuje se vrijeme zamrzavanja malih kolačića od 40 minuta na 20 minuta. Raspršivanjem ukapljenog plina kod temperature  $-28^{\circ}\text{C}$  skraćuje se vrijeme zamrzavanja na ispod 2 minute. U mirujućem zraku temperature  $-18^{\circ}\text{C}$  traje zamrzavanje sitnog voća oko 3 sata. Porastom brzine zraka na 80 m/min vrijeme zamrzavanja se skraćuje na 1 sat, a pri brzini zraka od 300 m/min vrijeme zamrzavanja postaje samo 40 minuta. Utjecaj debljine namirnice, proizvoda ili pakovanja u odnosu na brzinu zamrzavanja je takav da se povećanjem debljine namirnice od 5 cm na 10 cm povećava vrijeme zamrzavanja za 2.5 puta iz čega je vidljivo da brzina zamrzavanja ne raste linearno s porastom brzine zraka. Mijenjanjem temperature toplinska vodljivost se mijenja koja se razlikuje u sastojcima namirnica. Toplinska vodljivost najviše se mijenja promjenom agregatnih stanja tako da toplinska vodljivost leda znatno je veća od vode, pa se toplinska vodljivost hrane brzo povećava kako namirnica prelazi iz nezamrznutog u zamrznuto stanje. Možemo to prikazati ne primjeru gdje mast ima puno nižu toplinsku vodljivost od vode, a zrak mnogo nižu od vode ili masti. Kod zamrzavanja hrane strujom hladnog zraka mogu se koristiti različite brzine; brzina strujanja zraka može se koristiti i za pokretanje komadića materijala kao u slučaju zamrzavanja fluidizacijom, odnosno u lebdećem sloju (Lovrić, 2003.).

### **2.3.1.2 Postupci zamrzavanja prema načinu dovođenja topline**

Zamrzavanje namirnica u struji ohlađenog zraka metoda je koja se najduže primjenjuje. Metoda se može izvoditi u izoliranim hladnim prostorijama (komorama) koje su hladne na temperaturu od  $-20^{\circ}\text{C}$  do  $-30^{\circ}\text{C}$ . Ventilatorima ili prirodnom konvekcijom vrši se kretanje zraka. Zamrzavanje namirnice ovisi o:

- veličini namirnice
- njihovom rasporedu
- temperaturi i
- brzini strujanja (Lovrić, 2003.).

Iako je zamrzavanje namirnica u struji ohlađenog zraka metoda koja se najduže primjenjuje kao što je predhodno navedeno pojasniti ćemo ukratko i ostale metode.

Zamrzavanje kontaktom s hlađenim (metalnim) površinama je metoda koja je ušla u industrijsku primjenu prije 50-ak godina. Sam postupak zamrzavanja objašnjava Lovrić (2003) provodi se cirkulacijom rashladnog sredstva (amonijaka, metilklorida) ili direktnom ekspanzijom freona R22 u zatvorenom sustavu za hlađenje posrednog medija (zraka ili rasoline) koji oduzima toplinu proizvodu. Radna temperatura kreće se između  $-34^{\circ}\text{C}$  i  $-37^{\circ}\text{C}$ , a brzina zamrzavanja je prosječno oko 1 sat za svaki sloj debljine 2.5 cm. Zamrznuti proizvod je četvrtastog oblika pogodan za pakovaje u kartonsku ambalažu. Većina uređaja ima automatsko punjenje i pražnjenje i radi kontinuirano.

Uređaji koji se koriste za zamrzavanje su:

- „Votator“ – uređaj se koristi za parcijalno zamrzavanje namirnica i naknadno domrzavanje u ambalaži. On je svojevrsan izmjenjivač topline čija je površina građena od nekoliko koncentričnih cilindara između kojih prolazi tekući proizvod, odnosno rashladno sredstvo. (Slika 3)



Slika 3 „Votator“ (web 3)

- „Pellofreezer“ – uređaj je koji omogućava da se tekuća ili polutekuća namirnica zamrzne u vidu pojedinačnih komadića (peleta). Uređaj radi kontinuirano, a proizvodi pelete volumena cca 5 cm<sup>3</sup> (Lovrić, 2003.). (Slika 4)



**Slika 4.** Pellofreezer (web 4).

Drugi način koji ćemo pojasniti je zamrzavanje imerzijom i raspršivanjem za koji Lovrić (2003) navodi da je teoretski najefikasniji jer se postiže najbolji kontakt između proizvoda i rashladnog sredstva, odnosno veliki koeficijent prijelaza topline. Naime, kod zamrzavanja uranjanjem (odnosno raspršivanjem rashladnog sredstva):

- otpor prijenosu topline sveden je na minimum uslijed ostvarenog intimnog kontakta proizvoda i rashladnog sredstva (posebno važno za namirnice nepravilnog oblika koje se želi vrlo brzo zamrznuti kao što su rakovi, ribe, gljive i sl.).
- uslijed velike brzine zamrzavanja pomoću kriogenih tekućina postiže se takva kvaliteta namirnica koja se nemože ostvariti primjenom drugih metoda zamrzavanja.

Rashladna sredstva za zamrzavanje imerzijom mogu se svrstati u dvije kategorije:

- tekućine s niskom temperaturom koje se hlade indirektnim kontaktom nekim drugim rashladnim sredstvom
- kriogene tekućine (kriogenici) npr. tekući dušik.

Iako se nekada upotrebljavao i amonijak, koji je zatim zamijenjen sredstvima na bazi klora, fluora i ugljikovodika. Danas se i ta sredstva sve više izbacuju iz upotrebe zbog štetnog utjecaja za okoliš i zamjenjuju se vrlo često prirodnim plinovima. Rashladna sredstva se označavaju R slovom i brojem koji točno određuje njihov kemijski sastav (Janković, 2002.). Zbog opsega ovoga rada pojasniti ćemo detaljnije jednu metodu zamrzavanja.



### 2.3.1.3 Zamrzavanje imerzijom i raspršivanjem

Zamrzavanje imerzijom i raspršivanjem teoretski je najefikasnije jer se postiže najbolji kontakt između proizvoda i rashladnog sredstva, odnosno veliki koeficijent prijelaza topline.

Naime, kod zamrzavanja uranjanjem (odnosno raspršivanjem rashladnog sredstva) otpor prijenosu topline sveden je na minimum uslijed ostvarenog intimnog kontakta proizvoda i rashladnog sredstva (posebno važno za namirnice nepravilnog oblika koje se želi vrlo brzo zamrznuti kao što su rakovi, ribe, gljive i sl.), također uslijed velike brzine zamrzavanja pomoću kriogenih tekućina postiže se takva kvaliteta namirnica koja se nemože ostvariti primjenom drugih metoda zamrzavanja.

Rashladna sredstva za zamrzavanje imerzijom mogu se svrstati u dvije kategorije:

- tekućine s niskom temperaturom koje se hlade indirektnim kontaktom nekim drugim rashladnim sredstvom - njihova koncentracija mora biti takva da ostaju tekućine kod  $-18^{\circ}\text{C}$  ili niže temperature. Tipičan uređaj za komercijalno zamrzavanje imerzijom pomoću tekućine niskog ledišta sastoji se od dugačkog zatvorenog bubnja velikog promjera u kojem rotira osovina. Limenke ulaze na periferiju rotirajuće osovine, a rashladno sredstvo cirkulira u prostoru između plašta bubnja i osovine. U takvom uređaju zamrzava se do 400 limenki u minuti. Rotacija limenki za vrijeme njihovog prolaska kroz uređaj pospješuje inače brzi prijenos topline kod tekućih namirnica čime se postižu mali kristali, a samim time postiže se i veća kvaliteta namirnice. Postoje i vertikalni cijevni uređaji sa spiralnim ozubljenjima gdje se limenke spiralno kreću čime se ostvaruje brzo miješanje tijekom zamrzavanja. Rashladno sredstvo se pumpa u protustruji kontinuiranom toku limenki.
- kriogene tekućine (kriogenici) npr. tekući dušik (**Slika 5**) – sve više se koriste kriogenici, odnosno kriogene tekećine (ukapljeni plinovi s niskim vrelištem kao npr. tekući dušik, tekući  $\text{CO}_2$  i do nedavno freon). Ova vrsta zamrzavanja ima dosta prednosti, ali i nekih nedostataka u odnosu na proizvod koji se zamrzava (može doći do pucanja čak i raspadanja). Iz tog razloga većina uređaja s tekućim dušikom ima raspršivače, a ne imerzione kupke. Dušik je bez mirisa, okusa, inertan i neotrovan. Temperatura od  $-196^{\circ}\text{C}$  i vrlo dobar prijenos topline pri isparavanju omogućava potpuno zamrzavanje proizvoda u najkraćem mogućem vremenu. Veliki potencijal brzog zamrzavanja koji je omogućen kod direktnog kontakta tekućeg dušika i proizvoda donekle se gubi kod zamrzavanja imerzijom zato što kapljice vriju toliko intenzivno u dodiru s proizvodom

da se odbijaju od proizvoda. U kontaktu s proizvodom dušik je uglavnom u plinovitom stanju. (Lovrić,2003.)



**Slika 5.** Zamrzavanje tekućim dušikom (web 5)

## 2. 4. Utjecaj zamrzavanja na namirnice

Zamrznute namirnice pohranjuju se i skladište u hladnjačama obično na  $-20^{\circ}\text{C}$ . Meso sa dosta masnoće na  $-35^{\circ}\text{C}$ . Budući da je temperatura niska mikrobiološke promjene su isključene, a fizičke, kemijske i biokemijske promjene svedene su na minimum. Promijene možemo podijeliti:

- Fizičke promjene - nastaju usljed prekrystalizacije i zavise od dubine namirnice, brzina zamrzavanja je različita, a posljedica toga je različita veličina kristala. Dalje, kolebanjem temperature dolazi do smanjenja broja kristala i povećanja pojedinih kristala.
- Kemijske reakcije - najčešće se odvijaju pod djelovanjem  $\text{O}_2$  (bez enzima), a karakteriziraju ih:
  - pogoršavanje organoleptičke osobine (tamnjenje, oksidativna užeglost). Naročito su osjetljive namirnice koje sadrže veće količine nezasićenih masnih kiselina i aromatičnih komponenata.
  - smanjivanje sadržaj C-vitamina.
- Biokemijske reakcije – uvjetovane su aktivnošću enzima koji se nalaze u stanicama namirnice, te se njihovim djelovanjem najčešće mijenjaju boja i ukus ( Herceg, 2008.).

### 2.4.1 Utjecaj na mikroorganizme

Naglo snižavanje temperature koje je potrebno za proces zamrzavanja uzrokuje tzv. temperaturni šok kod mikroorganizama u namirnicama koje se zamrzavaju i određen broj mikroorganizama umire. Mikroorganizmi ne umiru svi, ali umire veliki dio. Umire na način da pri odmrzavanju više nemaju sposobnost reprodukcije. Bakterije se ne mogu razmnožavati na niskim temperaturama, točnije na temperaturi nižoj od  $30^{\circ}\text{C}$ , ali važno je napomenuti da niske temperature ne uništavaju eventualno stvorene toksine. Spore ostaju netaknute; na  $-18^{\circ}\text{C}$  mogu ostati u stanju mirovanja 7-20 godina, i klijaju tek nakon odmrzavanja (O'Brien i sur. 2016.).

Preživljavanje mikroorganizama u zamrnutim namirnicama ovisi i o temperaturi na kojoj je namirnica zamrznuta, ali i nekim drugim čimbenicima kao što je sama vrsta mikroorganizma. Psihrofilni organizmi manje su osjetljiviji na niske temperature od termofilnih mikroorganizama. Također u preživljavanju mikroorganizama veliku ulogu igra i broj mikroorganizama tj. broj mikroorganizama na početku zamrzavanja. Budući da sva mikroflora

tj. mikroorganizmi potiču iz samih namirnica prije zamrzavanja potrebno je smanjiti broj mikroorganizama. Nakon temeljite obrade namirnica tijekom zamrzavanja, a kasnije i skladištenja dolazi do smanjivanja samog broja mikroorganizama. Postoji nekoliko raznih tehnika pripremanja namirnica, ali osnovna je temeljno pranje. Kod povrća se mora koristiti još jedan dodatni korak, a to je blanširanje. Blanširanje je primarna obrada namirnica termičkim putem. Može se izvesti na nekoliko način, većinom se izvodi u vodi ili na vodenoj pari pri temperaturi od 86-98°C. Također moguća je i kombinacija ova dva načina. Bilo koja metoda primjenjuje se nekoliko minuta. Budući da sve vrste namirnica nisu pogodne za blanširanje (sladoled, meso i sl.) potrebno je što više smanjiti vrijeme priprema za zamrzavanje kako se broj mikroorganizama nebi jako povećao. Prilikom pripreme za zamrzavanje nemoguće je postići nepromjenjen broj mikroorganizama, ali je moguće smanjiti njegov rast. Kao što je predhodno navedeno mikroorganizma nastavljaju svoje djelovanje nakon odmrzavanja (Chattopadhyay P, 2015.).

Kao što je navedeno, niske temperature utječu na uništavanje mikroorganizama, preduvjeti za uništavanje mikroorganizama su:

- vrsta namirnice odnosno kemijski sastav
- visina temperature - veći utjecaj na uništavanje mikroorganizama ima temperatura od -1°C do -50°C
- brzina zamrzavanja - veći učinak ima sporo zamrzavanje
- vrsta i veličina pakiranja namirnice (Herceg Z, 2008.).

Postupak hlađenja namirnica pridonosi produženju održivosti namirnica i sprječavanju razmnožavanja patogenih mikroorganizama. Međutim, pojedini mikroorganizmi mogu rasti i stvarati toksine i na temperaturama hlađenja. Dugo se smatralo da kod temperatura ispod 0 °C do + 5 °C nije više moguće razmnožavanje većine bakterija, što temeljem današnjih saznanja možemo izključiti. Možemo zaključiti da je najveća mikrobiološka stabilnost namirnice upravo u zamrznutom stanju (Mioković i sur., 2004.).

#### **2.4.2 Utjecaj na enzime**

Enzimi su prisutni u svježim namirnicama i utječu na smanjivanju kvalitete. Enzimske reakcije, kao i sve druge kemijske reakcije, usporavaju se sa snižavanjem temperature. Hlađenje i zamrzavanje djeluje nešto drugačije na namirnica pa tako hlađenje na temperaturama bliskim 0°C može se koristiti kao osnovni ili kao dopunski metoda konzervisanja. Najveći broj lako

kvarljivih namirnica, kao što su povrće i voće, mogu se u ohlađenom stanju čuvati određeno vrijeme bez znatnijih promjena. Fermentativne i bakterijske promjene u namirnicama nisu u potpunosti spriječene, ali su znatno usporene. Niska temperatura usporava sve enzimatske reakcije. Uobičajena temperatura zamrzavanja je  $-20^{\circ}\text{C}$ , no ova temperatura samo usporava enzimatsku aktivnost i nije dovoljna za njeno zaustavljanje. Kako bismo potpuno zaustavili aktivnosti enzima potrebno je temperaturu sniziti na  $-30^{\circ}\text{C}$ . Budući da nije ekonomično održavati ovako niske temperature u hladnjačama enzimi se prije zamrzavanja inaktiviraju. Inaktivacija se postiže blanširanje (povrće). Blanširanjem se inaktiviraju enzimi i tako spriječavaju promjene boje, ukusa i mirisa zamrznutih namirnica, te očuva njihova kvaliteta. Važno je napomenuti da aktivnost enzima nije samo funkcija temperature, već i pH sredine, koncentracije enzima i dr. (Lovrić i Piližota, 1994.).

#### **2.4.3 Toplinske promjene pri zamrzavanju i odmrzavanju**

Izračunavanje brzine izmjene topline pri hlađenju i grijanju te energetska opterećenja osnovni su čimbenik za dimenzioniranje i projektiranje rashladnih uređaja, odnosno postrojenja i objekata, a za to su potrebni što točniji podaci o toplinskim svojstvima koji se mogu dobiti eksperimentalnim metodama, kao što su DTA i DSC (diferencijalna termička analiza i diferencijalna motridbena kalorimetrija – prema engl. Differential Thermal Analysis i Differential Scanning Calorimetry). Međutim, zbog praktičnih razloga kao što su raznovrsni materijali i uvjeti te se metode ne mogu uvijek primijeniti. Za ostale slučajeve razrađene računske metode zasnovane na poznatim termodinamskim principima i poznavanju termofizičkih svojstava. Ta svojstva zavise prvenstveno o masenom udjelu vode, ali i o udjelu ostalih sastojaka proizvoda. Termofizička svojstva vode, kao najzastupljenijeg sastojka hrane (u većini slučajeva preko 50%) mijenjaju se tijekom zamrzavanja, tako da su udjeli vode u različitim agregatnim stanjima u najvećoj mjeri odgovorni za termofizička svojstva odgovarajućeg prehrambenog proizvoda. Pri zamrzavanju prehrambenog proizvoda voda se iz otopine (djelomično) izdvaja kristalizacijom, udjelom koji zavisi o temperaturi, odnosno o sniženju točke ledišta. Na osnovi sniženja ledišta pojedini su autori razradili izraze za izračunavanje toplinskih bilanci prilikom zamrzavanja (i odmrzavanja) namirnica (Lovrić, 2003.).

Kao što je navedeno najveći dio većine namirnica je voda tako da su neki načini vidljivi kod Lovrića (2003) gdje govori da pri zamrzavanju prehrambenog proizvoda voda se iz otopine

(djelomično) izdvaja kristalizacijom, udjelom koji zavisi o temperaturi, odnosno o sniženju točke ledišta. Na osnovi sniženja ledišta pojedini su autori razradili izraze za izračunavanje toplinskih bilanci prilikom zamrzavanja (i odmrzavanja) namirnica. (Short i Bartlett 1944; Heldman 1974; Schwarzberg 1976; Chen 1985; Singh i Mannappenna 1990). Riedel je 1951. na osnovi kalorimetrijskih mjerenja razradio dijagram (temperatura - udio vode - entalpija) za izračunavanje rashladnih učinaka pri zamrzavanju voća, povrća i sokova, koji su kasnije koristili i modificirali drugi autori (Dickerson 1969 i 1981; Heldman i Singh 1981).

## 2.5. Odmrzavanje zaleđenih namirnica

Kao što je prije objašnjeno mikroorganizmi se aktiviraju nakon odmrzavanja, zato odmrzavanje treba vršiti na što nižoj temperaturi (0°C) i upotrijebiti namirnicu u što kraćem roku kako bi zadržala svoju kvalitetu i svojstva. Odmrznuta namirnica je podložnija kvarenju uzrokovanom mikroorganizmima od namirnice prije zamrzavanja. Na kvalitet zamrznute namirnice se, pored brzine zamrzavanja i uvjeta samom transporta i skladištenja, djelimično može da se utiče brzinom odmrzavanja. Namirnice se trebaju odmrzavati prema uputama za određenu namirnicu. Kvaliteta zamrznute namirnice određuje se na osnovu količine izdvojene tekućine poslije odmrzavanja namirnice. Što je više izdvojene tekućine nakon kvaliteta zamrzavanja je lošija, to se najviše vidi kod sporog odmrzavanja. Prilikom odmrzavanja cilj je postići da kristalizacija vode bude reverzibilan proces, tj. da se voda nakon odmrzavanja vrati na mjesto gdje je bila prije zamrzavanja. Smatra se da sporim odmrzavanjem (naročito kod mesa) voda ima dovoljno vremena da se ponovo veže za proteine i da će u tom slučaju biti manje izdvojene tekućine. Ovo ima utjecaja ako je namirnica konzervirana sporim postupkom jer se tada najveći dio zamrznute vode nalazi van stanice u ekstracelularnom prostoru. Ako su namirnice zamrznute brzim postupkom nema potrebe da se primjeni sporo odmrzavanje, jer su ovom slučaju kristali vode ravnomjerno raspoređeni. Kod nekih proizvoda kao što je voćna kaša brzina odmrzavanja neće imati utjecaja na kvalitetu. ( Zlatković, 2003.).

### **3. ZAKLJUČAK**

Metoda konzerviranja namirnica zamrzavanjem jedna je od najkompleksnijih, ali i najkvalitetnijih načina očuvanja namirnica. Kao nedostatke ove metode možemo navesti skupa industrijska postrojenja, ali i kompleksnost same metode. Gledajući s druge strane prednosti zamrzavanja su zaslužni za sve veću upotrebu ove metode. Neke od prednosti su nemogućnost širenja broja mikroorganizama u zaleđenim namirnicama, produžen rok uporabe, ali i zadržavanje prvotnih kvalitativnih sastojaka namirnice nakon odmrzavanja. Velika prednost je upravo zadržavanje boje, okusa i mirisa same namirnice nakon odmrzavanja. Ova metoda je u nekim slučajevima i jedini način koji omogućava transport i konzumaciju određenih namirnica (npr. sladoled, svježa riba koje nema na našem području i dr.). Sama kvaliteta zamrznute namirnice ovisi, osim o kvaliteti i svojstvima sirovine, o načinu zamrzavanja (brzina zamrzavanja, metoda zamrzavanja i dr.). Na kraju možemo zaključiti kako je ova metoda konzerviranja namirnica neophodna, ali i najbolja za održavanje kvalitete namirnica.



#### 4. LITERATURA

Chappell M: Frozen assets. *Vegetarian Times* 378:64-71, 2010.

Chattopadhyay P, Adhikari S: Freezing of foods. U *Encyclopedia of Food Microbiology*. Elsevier, 2014.

Herceg Z: Procesi konzerviranja hrane : novi postupci. Golden marketing - Tehnička knjiga, Zagreb 2008.

James C, Graham P, James S: Review of novel and innovative food freezing technologies. *Food and bioprocess technology* 8:1616-1634, 2015.

Janković M: Tehnologija hlađenja , Beograd, 2002.

Kvasnička V: Konzerviranje i zamrzavanje, Znanje,Zagreb, 1990.

Lovrić T, Piližota V: Konzervisanje i prerada voća i povrća, Nakladni zavod Globus, Zagreb, 1994.

Lovrić T: Procesi u prehrambenoj industriji s osnovama prehrambenog inženjerstva. Hinus, Zgreb 2003.

Mioković B, Njari B, Kozačinski L, Zdolec N: Utjecaj postupaka uzorkovanja na mikrobiološku ispravnost namirnica animalnog podrijetla. *Meso : prvi hrvatski časopis o mesu*, 6:46-50, 2004.

Namirnica. U Hrvatska enciklopedija. Leksikografski zavod Miroslava Krležje. URL: <http://www.enciklopedija.hr/Natuknica.aspx?ID=42870> (09.10.2016.)

O'Brien K V, Aryana K J, Prinyawiatkul W, Ordonez K M, Boeneke C A: The effects of frozen storage on the survival of probiotic microorganisms found in traditionally and commercially manufactured kefir. *Journal of Dairy Science* 99:7043-7048, 2016.

Vereš M: Osnovi konzervisanja namirnica, Beograd, 2004.

Zlatković B: Tehnologija prerade voća i povrća, Beograd, 2003.

web 1: <https://www.bahrns.com/blog/material-handling/outsourcing-your-cold-storage-could-save-you-money-time> (09.10.2016)

web 2: <http://www.phoenixhvacexperts.com/refrigerant-components.html> (10.10.2016.)

web 3: <http://www.ticovogt.com/?p=1925> (09.10.2016.)

web 4: <http://www.pinguinfoods.com/en/our-products/convenience> (08.10.2016.)

web 5: <http://gourmetgorro.blogspot.hr/2015/11/science-cream-liquid-nitrogen-ice-cream.html> (10.10.2016.)