

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů

Katedra chemie



**Fakulta agrobiologie,
potravinových a přírodních zdrojů**

**Kvalitativní parametry mražených krémů s mléčným
základem**

Bakalářská práce

Autor práce: Tereza Šimková

**Obor studia: Kvalita potravin a zpracování zemědělských
produktů (QUALIB)**

Vedoucí práce: Ing. Matyáš Orsák, Ph.D.

© 2024 ČZU v Praze

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci "Kvalitativní parametry mražených krémů s mléčným základem" jsem vypracovala samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce. Jako autorka uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušil autorská práva třetích osob.

V Praze dne _____

Poděkování

Ráda bych touto cestou poděkovala vedoucímu mé bakalářské práce panu Ing. Matyášovi Orsákovi, Ph.D. za jeho odborné vedení a trpělivost, která pro mě byla během celého procesu psaní práce neocenitelná. Díky jeho přístupu jsem se mohla věnovat tématu se zájmem, což mi umožnilo dosáhnout hlubšího porozumnění.

Kvalitativní parametry mražených krémů s mléčným základem

Souhrn

Tato bakalářská práce byla zaměřena na přiblížení problematiky mražených krémů s mléčným základem. Práce byla rozdělena do několika hlavních částí, které zahrnují popis složení, výrobní proces, hodnocení sensorických, mikrobiologických, fyzikálních a chemických vlastností produktů, a také potenciální rizika spojená s jejich konzumací.

V první části byla pozornost věnovaná hlavním složkám mraženého krému s mléčným základem, včetně běžně používaných aditiv. Byly zde podrobně popsány jednotlivé komponenty, jejich struktura, funkce v mražených krémech, a také vliv na kvalitu a texturu finálního produktu. Následovalo popsání výrobního procesu, který zahrnuje přípravu směsi, pasterizaci, homogenizaci, zrání, přidání příchutí, zmrazování, balení, zpevnění, skladování a distribuci. V jednotlivých fázích bylo popsáno, jak různé metody zpracování ovlivňují kvalitu konečného produktu.

Další část této práce se zabývala hodnocením kvality a zahrnovala sensorické, mikrobiologické, fyzikální a chemické parametry. Sensorické hodnocení bylo popsáno za účelem hodnocení vzhledu, textury, chuti a celkové přijatelnosti mraženého krému konzumenty. Fyzikální parametry, jako je viskozita směsi, rychlost tání nebo tvrdost, byly popisovány z hlediska mikrostrukturních změn uvnitř směsi a bylo uvedeno pomocí jakých metod jsou analyzovány. Chemické analýzy se u mražených krémů zaměřovaly na obsah tuku (extrakční metoda), bílkovin (Kjeldahlova metoda) a celkový obsah sušiny (gravimetrie). Z mikrobiologického hlediska byl popsán výskyt možných patogenů (*Bacillus cereus*, *Listeria monocytogenes* atd.), metody detekce a dodržování hygieny. Do práce byla zahrnuta i rizika způsobená nesprávnou manipulací nebo skladováním a možnosti kontaminace během výrobního procesu. Tato práce byla zpracována formou literární rešerše, která se soustředila především na teoretické seznámení s danou problematikou. V závěru jsou shrnuty zjištěné poznatky a doporučení pro výrobce, jak mohou zlepšit kvalitu a bezpečnost svých produktů. Tato práce také přinesla hlubší porozumění faktorům, které ovlivňují kvalitu mražených krémů.

Klíčová slova: aditiva; freezer; HACCP; mléko; ovocná složka; technologie výroby

Qualitative parameters of frozen creams with milk base

Summary

This bachelor's thesis was focused on the issues related to frozen creams with a milk base. The work was divided into several main parts, including a description of the composition, manufacturing process, evaluation of sensory, microbiological, physical and chemical properties of the products, as well as potential risks associated with their consumption.

The first part was dedicated to the main components of the frozen cream with dairy base, including commonly used additives. It described the individual components, their structure, function and their impact on the quality and texture of the final product. This was followed by a description of the manufacturing process, which includes the preparation of the mixture, pasteurization, homogenization, aging, addition of flavors, freezing, packaging, hardening, storage, and distribution. In different stages was described, how the processing methods affect the quality of the final product.

Next part of the thesis dealt with quality evaluation included sensory, microbiological, physical, and chemical parameters. Sensory evaluation was described with the aim of assessing the appearance, texture, taste, and overall acceptability of the frozen cream by consumers. Physical parameters, such as mixture viscosity, melting speed, or hardness, were described in terms of microstructural changes within the mixture, and it was noted which methods are used for analysis. Chemical analyses in frozen creams focused on fat content (extraction method), proteins (Kjeldahl method), and total dry matter content (gravimetry). From a microbiological perspective, the occurrence of possible pathogens (*Bacillus cereus*, *Listeria monocytogenes*, etc.), detection methods, and hygiene compliance were described. The work also included risks caused by improper handling or storage and the possibilities of contamination during the manufacturing process. This thesis was compiled as a literature review, mainly focusing on a theoretical presentation of the issue. In conclusion are summarized the findings and recommendations for manufacturers on how to improve the quality and safety of their products. This work also provided a deeper understanding of the factors that affect the quality of frozen creams.

Keywords: additives; freezer; fruit component; HACCP; manufacturing technology; milk

Obsah

1	Úvod	7
2	Cíl práce	8
3	Literární rešerše	9
3.1	Mražené krémy	9
3.1.1	Požadavky na jakost	10
3.2	Hlavní složky mraženého krému s mléčným základem	12
3.2.1	Mléko.....	13
3.2.2	Cukry a jiná sladidla	17
3.2.3	Stabilizátory.....	21
3.2.4	Emulgátory	22
3.3	Výroba mraženého krému	24
3.3.1	Příprava směsi	25
3.3.2	Pasterizace	26
3.3.3	Homogenizace	27
3.3.4	Zrání	27
3.3.5	Příchutě.....	28
3.3.6	Zmrazování.....	28
3.3.7	Balení.....	29
3.3.8	Zpevnění.....	29
3.3.9	Skladování a distribuce.....	30
3.4	Kvalitativní parametry	30
3.4.1	Senzorická analýza	31
3.4.2	Mikrobiologické hodnocení.....	33
3.4.3	Fyzikální a chemická analýza.....	34
3.5	HACCP.....	41
3.5.1	Uplatnění systému HACCP při výrobě mražených krémů.....	41
4	Závěr	44
5	Literatura	45
6	Seznam obrázků a tabulek	50

1 Úvod

Zmrzlina a ostatní mražené krémy si získaly oblibu na celém světě. Ačkoliv je hojně rozšířena po celém světě, tak mezi největší konzumenty patří státy jako je Nový Zéland, Spojené státy, Kanada, Austrálie, Belgie, Finsko a Švédsko. V určitých oblastech světa není spotřeba tak vysoká, protože jsou nedostupné některé suroviny potřebné k výrobě, dále kvůli nedostatku chladírenského zařízení a nebo z ekonomických důvodů. Toto jsou faktory, které výrazně ovlivňují výrobu, a s tím související spotřebu zmrzliny (Chandan et al. 2016).

Kolem prvních zmínek o mražených krémech existuje řada mýtů a přesné počátky nejsou známy. První skutečné důkazy pocházejí z Číny (618 – 907 n.l.). Dokazují, že se v Číně objevovaly osvěžující chlazené pokrmy z kobyliho, kravského a kozího mléka. Tyto produkty se vyráběly během horkých letních měsíců a pravděpodobně se jedná o první zaznamenané ledové výrobky. Historii zmrzliny předchází chlazení potravin po smíchání se sněhem nebo ledem a vývoj zmrzlinovače v 19. století. Moderní průmyslová výroba se rozvinula na přelomu 19. a 20. století s vývojem mechanického chlazení (Weir & Weir 2010; Jana et al. 2016).

Zmrzlinový trh je silně závislý na impulzních nákupech, které jsou ve velké míře ovlivněny aktuálním počasím. Z nedávného výzkumu společnosti NIQ vyplývá, že během období od března 2022 do února 2023 bylo v České republice zkonsumováno 44,4 milionu litrů zmrzliny v celkové hodnotě 5,2 miliardy korun. V porovnání s jinými roky lze říci, že spotřeba zmrzliny se zvyšuje, což je pravděpodobně způsobeno vlivem teplejšího počasí. Z prodaného objemu jsou nejčastěji konzumovány jednoporcové zmrzliny, dále rodinná balení a k minoritním skupinám patří zmrzlinové dezerty a pralinky. Mezi nejvíce požadované příchutě patří v České republice vanilková, čokoládová, jahodová a smetanová (Gregor 2023).

Z nutričního hlediska je nutné říci, že obsah tuku a cukru ve zmrzlině je velmi vysoký a nadměrná konzumace může vést k nepříznivým zdravotním účinkům, jako jsou kardiovaskulární onemocnění a cukrovka. Některé studie naznačují, že zmrzlina může být nositelem probiotik, což je stále omezená varianta vzhledem k vysokému obsahu tuku a cukru. V návaznosti na tento problém byly provedeny studie s cílem najít náhradu cukru, avšak s malým úspěchem kvůli nepříjemným změnám organoleptických vlastností. V dnešní době jsou stále větší požadavky spotřebitelů na nízkokalorické výrobky a tomu se musí přizpůsobit i zmrzlinový průmysl, který se zaměřuje na používání alternativních sladidel (Legassa 2022).

2 Cíl práce

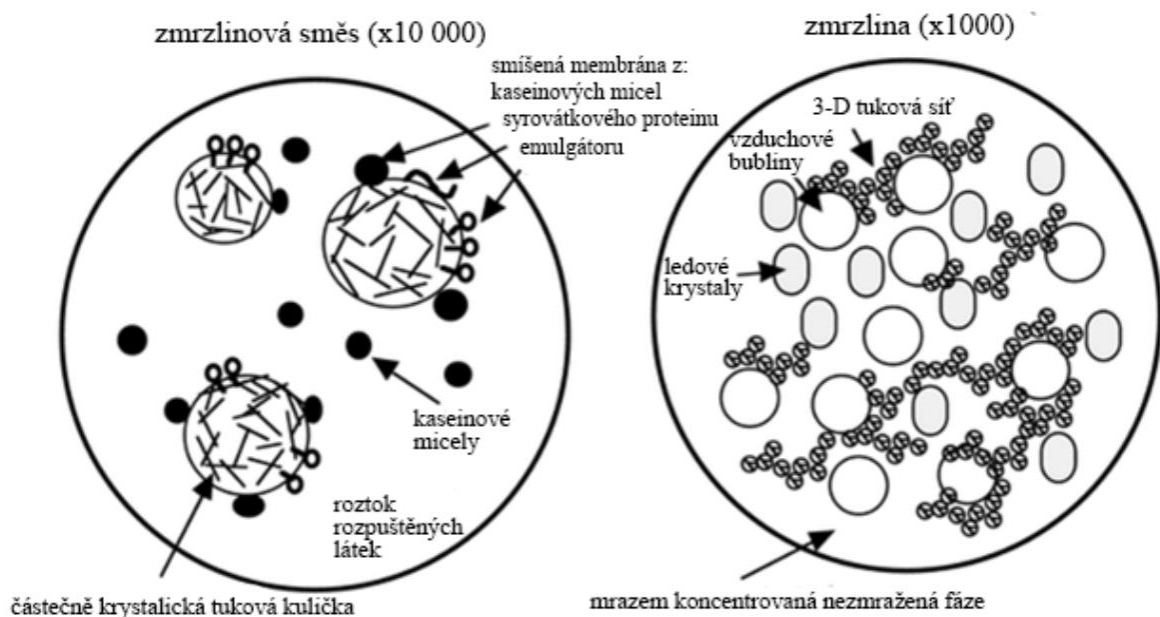
Cílem bakalářské práce byl teoretický rozbor kvalitativních parametrů mražených krémů s mléčným základem, seznámení s procesem výroby a následným uskladněním. Zároveň bylo cílem blíže specifikovat riziko výskytu vad, jejich příčin a zařazení do systému kritických kontrolních bodů. Závěrem práce bylo celkové zhodnocení kvality mražených krémů podle technologických parametrů.

3 Literární rešerše

3.1 Mražené krémy

Mezi mražené krémy, označované také jako zmrzliny, patří produkty vyrobené šleháním a mražením homogenizované a pasterované směsi. Ta se skládá z několika základních komponentů, kterými jsou voda, tuk, tukuprostá mléčná sušina, cukry a ochucující látky. Nezbytné pro výrobu mražených krémů jsou také emulgátory, stabilizátory a vzduch, který se do hmoty našlehává, aby byla dosažena jemná konzistence. Je to produkt, který je na trh uváděn určený ke spotřebě ve zmrazeném stavu. Zmrazením se rozumí technologický proces konzervace výrobku, kdy dojde k rychlému snížení teploty na $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ a více (Benešová et al. 2017; Státní zemědělská a potravinářská inspekce 2018).

Mražený krém je polydisperzní systém, který se skládá z dispergované a kontinuální fáze. Kontinuální fázi představuje roztok cukru v mléčné plazmě. V této mléčné plazmě se nachází dispergovaná fáze, která zahrnuje vzduchové bubliny, krystaly ledu, tukové kuličky a krystaly laktózy. Struktura mraženého krému je zobrazena na obrázku č.1 (Goff 1997).



Obrázek 1: Struktura mraženého krému

(Upraveno podle Marshall et al. 2003)

Objem plynné fáze ve formě vzduchových bublin se velmi mění od vysoké hodnoty větší než 50 % po nízkou hodnotu 10-15 %. Obsah vzduchu ovlivňuje jemnost a lehkost mraženého krému. Nízký obsah způsobuje hutnou a krémovou konzistenci. Velikost vzduchových bublin se pohybuje v rozmezí 20-50 μm . Rozhraní mezi vzduchem a vodou je zajištěno tenkou vrstvou nezmrazeného materiálu složeného z bílkovin, emulgátorů a drobnými shluky tukových kuliček.

Ledové krystaly vznikají při výrobních a manipulačních procesech. Vznik četných malých krystalků vede ke zvýšené hladkosti textury. Malé ledové krystalky snadno podléhají jevu rekrytalizace, zejména za přítomnosti kolísání teploty. Tomu lze zabránit udržováním nízké teploty a přítomností stabilizačních činidel, jako jsou polysacharidové gummy.

Tukové kuličky jsou zodpovědné za mnoho žádoucích vlastností včetně suchosti a zachování tvaru po zmrznutí, zpomalení tání nebo uchování texturních vlastností. Poskytují strukturu mezi stěnami vzduchových bublin, která zvyšuje jejich odolnost proti rozpadu během tání (Goff 2002; Marshall et al. 2003).

Krystaly laktózy nejsou přítomny ihned po zmrazení. Pro jejich tvorbu musí dojít ke hlubokému zmrazení. Laktóza krystalizuje díky supersaturaci neboli přesycení. Bez zvláštních opatření získá produkt velké množství velkých krystalů, které způsobují písčítost. Aby k písčítosti nedocházelo, nesmí krystaly přesahovat délky více jak 8 μm . Toho lze dosáhnout rychlým ztuhnutím zmrzliny, přidáním stabilizátorů a omezením teplotních výkyvů, včetně distribuce od výrobce ke spotřebiteli (Walstra et al. 2005; Goff & Hartel 2013).

3.1.1 Požadavky na jakost

Pro mražené krémy platí vyhláška č. 397/2016 Sb., o požadavcích na mléko a mléčné výrobky, mražené krémy a jedlé tuky a oleje. V roce 2019 došlo k legislativní změně této vyhlášky (č. 274/2019 Sb.), která však upravila pouze požadavky na mléko a mléčné výrobky. Mražených krémů se tato změna netýká. Vyhláška týkající se mražených krémů se vztahuje pouze na výrobky vyrobené v České republice a výrobky dovezené z třetích zemí do EU přes Českou republiku. Pro mražené krémy vyrobené v jiné členské zemi EU platí národní předpis té země, kde byl výrobek vyroben nebo poprvé uveden do oběhu (Ministerstvo zemědělství 2016; Státní zemědělská a potravinářská inspekce 2018).

Obsah ochucující složky v mraženém krému:

- čokoládový – nejméně 3,0 % hmotnostní kakaá;
- kakaový – nejméně 1,5 % hmotnostní kakaá;
- suché skořápkové plody – nejméně 1,0 % hmotnostní těchto plodů nebo jejich past;
- v názvu mraženého krému mléčného lze výraz "mléčný" nahradit názvem mléčného výrobku, který byl jako složka použit při jeho výrobě, například jogurtový, tvarohový;
- u výrobku s alkoholickou složkou musí být tato složka v názvu výrobku uvedena, přičemž obsah alkoholu nesmí být vyšší než 3,0 % hmotnostní.

Další požadavky na mražené krémy:

- konzistence musí být jemná, hladká, krémovitá, bez hrudek, větších krystalů a velkých vzduchových bublin;
- mražený krém mléčný a mražený krém smetanový nesmí obsahovat záměrně přidaný tuk a bílkoviny jiné než mléčný tuk a mléčné bílkoviny;
- jako ovocnou složku lze použít ovoce, ovocnou dřev, ovocnou šťávu nebo jiný ovocný výrobek čerstvý nebo konzervovaný vhodným technologickým procesem;

- ovocnou složku u mraženého krému ovocného a mraženého krému sorbet lze nahradit suchými skořápkovými plody nebo pastami ze suchých skořápkových plodů;
- mražený krém vodový nebo mražený krém sorbet nesmí obsahovat žádný záměrně přidaný tuk;
- fyzikální a chemické požadavky a členění mražených krémů je zobrazeno v tabulce č.1 a v tabulce č.2.

Podíl ovocné složky lze snížit maximálně na 10 % hmotnostních u mraženého krému ovocného a maximálně na 15 % hmotnostních u mraženého krému sorbet u citrusového ovoce a dalšího ovoce nebo jejich směsí, u kterých celková kyselost šťáv, vyjádřená jako kyselina citrónová, je vyšší než 2,5 % hmotnostních.

Podíl ovocné složky lze snížit maximálně na 10 % hmotnostních u mraženého krému ovocného a maximálně na 15 % hmotnostních u mraženého krému sorbet u exotického ovoce s výrazným aromatem a chutí a hustou konzistencí, jako ananas, banán, kiwi, mango, avokádo, lochie nebo maracuja.

Podíl suchých skořápkových plodů nebo past ze suchých skořápkových plodů u mraženého krému sorbet lze z technologických důvodů snížit maximálně na 5 % hmotnostních.

Vyhláška povoluje přípustné záporné hmotnostní a objemové odchylky. To znamená, že skutečná hmotnost mraženého krému může být o trochu nižší než hmotnost uvedená na obale. Mražený krém do 100 ml nebo 100 g může být lehčí o 5 %, krém do 500 ml nebo 500 g o 3 % a krém nad 500 ml/500 g o 1 %. Pokud by byl rozdíl mezi skutečnou hmotností krému a hmotností uvedenou na obale větší, než povoluje vyhláška, posuzuje se tato skutečnost jako klamání spotřebitele. Jestliže výrobek váží více než je hmotnost uvedená na obale, není tato skutečnost posuzována jako klamání (Ministerstvo zemědělství 2016; Státní zemědělská a potravinářská inspekce 2018).

Tabulka 1: Fyzikální a chemické požadavky na jakost mražených krémů

Druh	Celková sušina (v % hmot.)	Tukuprostá mléčná sušina (v % hmot. nejméně)	Mléčný tuk (v % hmot. nejméně)	Ovocná složka (v % hmot. nejméně)	Suché skořápkové plody (v % hmot. nejméně)
Mražený krém smetanový			8,0		
Mražený krém mléčný		6,0	2,5		
Mražený krém s rostlinným tukem			5,0 (obsah rostlinného tuku)		
Mražený krém vodový	12,0				
Mražený krém ovocný	12,0			15,0	5,0
Mražený krém sorbet	12,0			25,0	7,0

(Upraveno podle Ministerstvo zemědělství 2016)

Tabulka 2: Členění mražených krémů na druhy, skupiny a podskupiny

Druh	Skupina	Podskupina
Mražený krém	smetanový	Podle použité ochucující složky např.: vanilkový jahodový malinový meruňkový citrónový pomerančový oříškový pistáciový čokoládový karamelový kávový kakaový
	mléčný	
	s rostlinným tukem	
	vodový	
	ovocný	
	sorbet	

(Upraveno podle Ministerstvo zemědělství 2016)

3.2 Hlavní složky mraženého krému s mléčným základem

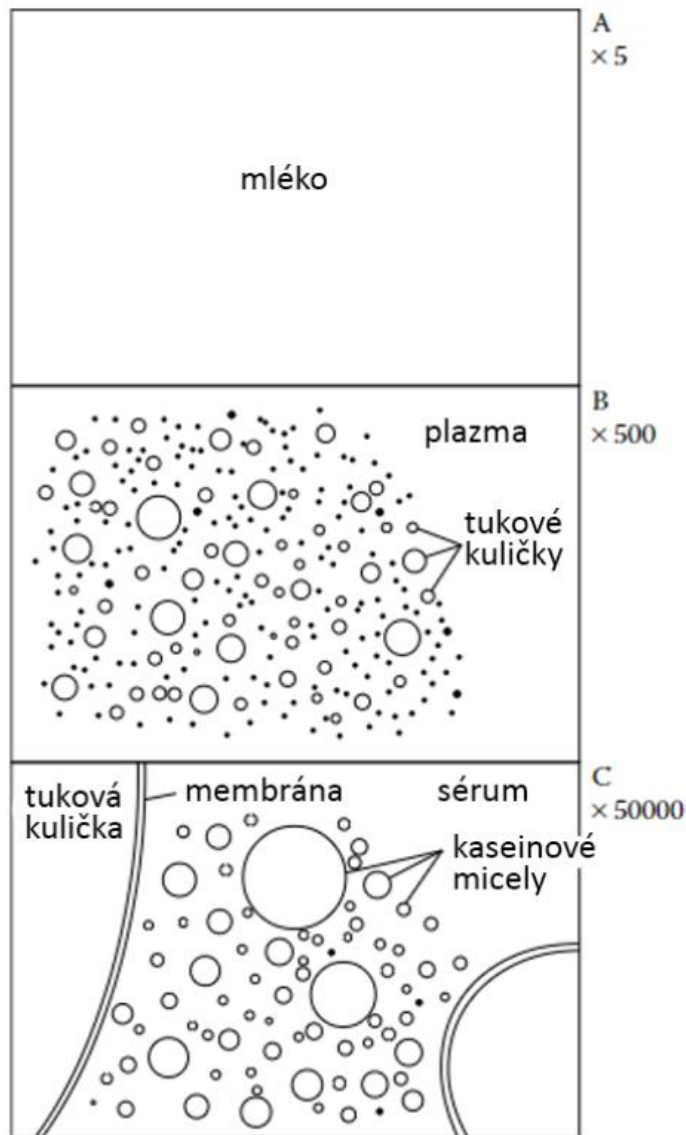
Pro výrobu zmrzliny nejvyšší je kvality jsou klíčovými faktory ingredience prvotřídní kvality. Ze surovin je nutné pečlivě sestavit směs a správně provést další kroky výroby, jako je chlazení a tuhnutí výrobku. Nicméně výběr vynikajících ingrediencí je bezesporu nejdůležitějším faktorem pro úspěšnou výrobu mražených dezertů. Jemnou, čerstvou a krémovou chuť, která je od zmrzliny požadovaná, lze opakovaně zajistit pouze použitím ingrediencí, které byly pečlivě vyrobeny a zpracovány. Obecně platí, že čím více byla

ingredience zpracována a jak dlouho byla skladována, tím méně je žádoucí její chuť a funkce ve zmrzlíně (Marshall et al. 2003).

3.2.1 *Mléko*

Mléko je produkt savců tvořený v mléčných žlázách pro výživu svých novorozenců. Tato kapalina je obvykle bílá nebo žlutobílá a neprůhledná. Barva je způsobena rozptylem a absorpcí světla tukovými kuličkami a kaseinovými micelami. V dnešní době je termín mléko synonymem pro kravské mléko. Mléko jiných zvířat, které je komerčně dodáváno je specifikováno, například ovčí mléko. Složky mléka jsou syntetizovány z látek absorbovaných krví a to v sekrečních buňkách. Hlavní složky mléka jako jsou lipidy, většina proteinů a laktóza, jsou syntetizovány v hrubém endoplazmatickém retikulu mléčné žlázy, kde dochází k modifikaci těchto složek. Další složky mléka jako je voda, imunoglobuliny, vitaminy, soli, některé hormony a sérový albumin, přechází do mléka nezměněny přímo z krve. Struktura mléka je zobrazena na obrázku č. 2 (Belitz et al. 2009; Cheung & Mehta 2015).

Z chemického hlediska je mléko heterogenní směs, kterou lze definovat jako složitou chemickou látku. Tuk se vyskytuje ve formě tukových kuliček, které jsou obklopené membránou a jsou emulgované v mléčném séru, nazývaném také syrovátka. V mléčném séru jsou dále dispergovány různě velké proteiny ve formě micel, které jsou tvořeny především z vápenatých solí molekul kaseinu. Kromě toho mléko obsahuje lipoproteinové částice a somatické buňky (převážně leukocyty) (Belitz et al. 2009).



Obrázek 2: Struktura mléka při různém rozlišení

(Upraveno podle Clarke 2012)

Množství jednotlivých hlavních složek mléka se může značně lišit v závislosti na druhu zvířete, mezi různými plemeny i mezi jednotlivými jedinci stejného plemene. Na výrobu mraženého krému se používá především mléko kravské, jehož odchylky v zastoupení jednotlivých složek jsou uvedeny v tabulce 3. Kravské mléko patří mezi kaseinová mléka, jelikož obsah bílkovin tvoří z 80 % kasein a plazmatické bílkoviny jsou v menším množství. Tuk je z 60 – 70 % tvořen nasycenými mastnými kyselinami. Výhodou mléčného tuku je, že obsahuje i nasycené mastné kyseliny s krátkým řetězcem, které jsou lehce stravitelné. Sacharidy jsou v mléce zastoupeny především ve formě laktózy, která může způsobovat problémy u lidí s nedostatečnou tvorbou enzymu laktázy, jelikož nedojde k jejímu rozštěpení na glukózu a galaktózu a dostává se tak až do tlustého střeva. Mezi další významné složky patří minerální látky (nejdůležitější je vápník) a vitaminy rozpustné v tucích společně s vitamínem B (Bezpečnost potravin 2013; Potravinářská komora České republiky 2021).

Tabulka 3: Obsah hlavních složek kravského mléka

Hlavní složky	Rozmezí v %	Průměrná hodnota v %
Voda	85,5 - 89,5	87,5
Sušina	10,5 - 14,5	13,0
Tuk	2,5 - 6,0	3,9
Bílkoviny	2,9 - 5,0	3,4
Laktóza	3,6 - 5,5	4,8
Minerální látky	0,6 - 0,9	0,8

(Upraveno podle Bylund 1995)

Mléčný tuk

Mléko a smetana jsou příklady emulzí typu tuk ve vodě (nebo olej ve vodě). Mléčný tuk se vyskytuje ve formě malých kuliček nebo kapiček o velikosti od 0,1 do 20 μm , které jsou rozptýlené v mléčném séru. Emulze je stabilizovaná velmi tenkou membránou, která obklopuje jednotlivé globule a má složité složení.

Mléčný tuk se skládá z triglyceridů (dominantní složka), diglyceridů, monoglyceridů, mastných kyselin, sterolů a karotenoidů způsobujících žluté zbarvení tuku. Mezi minoritní složky patří vitaminy a stopové prvky. Z hlediska zastoupení nasycených mastných kyselin má největší podíl palmitová kyselina (30 %), dále stearová a myristová kyselina. Z nenasyčených mastných kyselin je nejvíce zastoupena olejová kyselina a v malém množství jsou zastoupeny i esenciální kyseliny, konkrétně α -linolenová a linolová kyselina. Membrána je tvořena fosfolipidy, lipoproteiny, cerebrosidy, bílkoviny, nukleovými kyselinami, enzymy, stopovými prvky a vázanou vodou. Je třeba poznamenat, že složení a tloušťka membrány není konstantní, protože dochází k neustálé výměně složek mezi membránou a okolním mléčným sérem. Mléčný tuk patří mezi největší částice v mléce, které jsou zároveň nejlehčí, takže mají tendenci stoupat do výšky při stání mléka v nádobě. (Bylund 1995; Potravinářská komora České republiky 2021).

Proteiny

Mléko obsahuje různé druhy bílkovin, které lze různě klasifikovat podle chemických nebo fyzikálních vlastností a jejich biologických funkcí. Pokud se bílkoviny nacházejí v prostředí, kde teplota a pH jsou v rámci jejich tolerance, zachovávají si své biologické funkce. Při odchylkách mimo stanovenou toleranci dochází ke změně jejich struktury neboli k denaturaci. Tyto odchylky mohou být způsobeny zahřátím na vyšší teplotu, vystavením kyselinám nebo zásadám, záření nebo působením vzduchu (Bylund 1995).

Dominantní skupinou bílkovin v mléce jsou kaseiny, které patří mezi fosfoproteiny a obvykle se vyskytují jako složité agregáty nebo micely z proteinů a minerálního fosforečnanu vápenatého. V mléce se kasein objevuje ve čtyřech formách a to α_1 -kasein, α_2 -kasein, β -kasein a κ -kasein. Mléko je bílé především proto, že kaseinové micely rozptylují značné množství světla, což je umocněno jejich vysokou hustotou (Thompson et al. 2009).

Syrovátková bílkovina je termín často používaný jako synonymum pro bílkoviny mléčného séra, ale měl by být vyhrazen pro bílkoviny obsažené v syrovátce při výrobě sýrů. Nejčastější bílkovinou v syrovátce je β -laktoglobulin, který tvoří asi 58 % syrovátkových

bílkovin a 10 % všech mléčných bílkovin. Mléko všech přežvýkavců obsahuje β -laktoglobulin, zatímco mléko téměř všech nepřežvýkavců β -laktoglobulin neobsahuje. Druhou nejrozšířenější bílkovinou v syrovátce je α -laktalbumin. Místem syntézy α -laktalbuminu stejně jako β -laktoglobulinu je mléčná žláza. Dále se mezi syrovátkové bílkoviny řadí imunoglobuliny. Jelikož tyto molekuly nejsou syntetizovány přímo v mléčné žláze, je nutné, aby nejprve vstoupily do žlázy, následně se přes ni transportovaly, a tím se dostaly do mléka. Imunoglobuliny zajišťují pasivní imunitu mláďatům a vyskytují se pouze v mlezivu. Mlezivo se tvoří v mléčné žláze 4 – 6 dní po porodu, přičemž nejvyšší koncentrace imunoglobulinů je v mlezivu při prvním dojení a jejich koncentrace poté velmi rychle klesá (Kilara & Vaghela 2018; Agropress 2023).

Další skupinou jsou membránové proteiny, které tvoří ochrannou vrstvu kolem tukových kuliček a stabilizují tak emulzi. Dochází zde k adsorpci fosfolipidů a zejména lipolytických enzymů. Pokud je struktura membrány neporušená, tak nedochází k žádným reakcím mezi enzymy a substrátem. Při porušení mají enzymy možnost najít svůj substrát a zahájit reakce. Příkladem enzymatické reakce je uvolňování mastných kyselin a některých dalších produktů, které způsobují žluklé aroma.

Do bílkovin řadíme i enzymy, což jsou látky produkované živými organismy. Mají schopnost spouštět chemické reakce a ovlivňovat průběh a rychlost reakcí, proto se nazývají biokatalyzátory. Enzymy v mléce pocházejí buď z kravského vemene nebo z bakterií, a proto se označují jako původní (nativní) a bakteriální enzymy. Aktivita některých enzymů se využívá pro testování a kontrolu kvality mléka. Mezi nejdůležitější patří peroxidáza, kataláza, fosfatáza a lipáza (Bylund 1995).

Další složky mléka

Mléko vždy obsahuje somatické buňky (bílé krvinky nebo leukocyty). V mléce ze zdravého vemene je jejich obsah nízký, ale zvyšuje se, pokud je vemeno nemocné, obvykle úměrně závažnosti onemocnění. Počet somatických buněk v mléce zdravých zvířat je zpravidla nižší než 200 000 somatických buněk/ml, ale lze připustit počet až 400 000 somatických buněk/ml. Součástí mléka jsou také plyny, které v čerstvém mléce z chovu zaujmají přibližně 5 až 6 % objemu, ale při dodání do mlékárny může být obsah plynů až 10 % hmotnostních. Plyny se skládají převážně z oxidu uhličitého, dusíku a kyslíku a vyskytují se ve třech formách, a to rozpuštěné v mléce, vázané a neoddělitelné od mléka a rozptýlené (Bylund 1995).

Dalšími látkami jsou vitaminy, což jsou organické látky vyskytující se v mléce ve velmi malých koncentracích. Mezi nejvýznamější patří vitaminy A, D a E rozpustné v tucích, ale také zástupci ve vodě rozpustného vitaminového komplexu B, jako jsou thiamin a riboflavin. Mléko také obsahuje řadu minerálních látek, jejichž celková koncentrace je nižší než 1 %. Minerální látky ve formě solí se vyskytují v roztoku v mléčném séru nebo ve sloučeninách kaseinu. Nejdůležitějšími minerálními látkami jsou vápník, sodík, draslík, hořčík, zinek a selen vyskytující se ve formě fosforečnanů, chloridů, citrátů a kaseinátů. V případě onemocnění vemene může docházet k růstu obsahu chloridu sodného, což způsobuje slanou chuť mléka (Pereira 2014).

Nemléčné tuky

Rostoucí výskyt intolerance na laktózu a alergií na mléčné bílkoviny, společně s narůstající oblíbeností veganského životního stylu, vede k rozvoji trhu zmrzlin bez mléčných složek. Rozdíly v chemickém složení rostlinných a živočišných tuků však způsobují odlišné fyzikální vlastnosti. To ovlivňuje viskozitu, násleň a dobu tání u finálních produktů. Jedná se o rostlinné tuky, při jejichž výběru je zásadních pět faktorů. Mezi tyto faktory patří struktura tuku, rychlost krystalizace, teplota tání, obsah glyceridů s vysokým bodem tání, a také chuť a čistota oleje. Pro optimální částečnou koalescenci během mražení je důležité, aby měla tuková kulička vyvážený poměr tekutého a pevného tuku. Pokud je ve směsi během dynamického mražení nadměrné množství oleje, dochází k rozprostření oleje na povrchu vzduchových bublin, což vede ke zhroucení vzduchových bublin a nežádoucí textuře mraženého krému. Těžko se kvantifikuje tento poměr, protože závisí na několika složkových a výrobních faktorech, nicméně zpravidla je to polovina až dvě třetiny krystalického tuku při 4 - 5 °C (Marshall et al. 2003; Romulo et al. 2021).

Druh krystalizace tuku může být také docela složitý. Směsi olejů často používané při výrobě zmrzliny jsou vybírány s ohledem na fyzikální vlastnosti, jako jsou chuť, dostupnost, stabilita během výroby a náklady. K dosažení požadovaných vlastností je často nezbytná hydrogenace. Nejčastěji se používá sójový, kokosový, palmový, nebo kukuřičný olej. Pokud jsou do směsi přidány rostlinné tuky, nesmí se mražený krém označovat jako mléčný nebo smetanový (Marshall et al. 2003; Romulo et al. 2021).

3.2.2 Cukry a jiná sladidla

Z chemického hlediska lze pojmem cukr označit zejména monosacharidy a disacharidy, které mají sladkou chuť a jsou rozpustné ve vodě. Monosacharidy jsou nejjednodušší skupinou sacharidů s chemickým vzorcem $(\text{CH}_2\text{O})_n$. Když se dva monosacharidy spojí, vznikne disacharid. Příirozeně vyskytující disacharidy zahrnují sacharózu a laktózu. Oligosacharidy jsou tvořeny od tří do deseti molekul monosacharidů, a pokud je spojeno více než deset molekul monosacharidů, jedná o polysacharidy. Při výrobě mražených krémů se používají pouze jednoduché monosacharidy (dále jen cukry) (Clarke 2012).

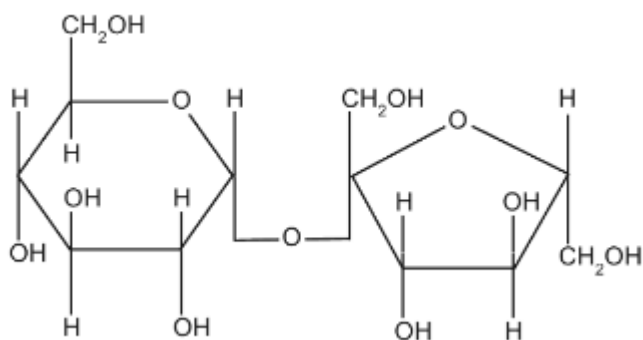
Cukr se přidává v tekuté nebo pevné suché formě v rozmezí 12-20 %, kdy preferovaná hladina je 14-16 %. Cukry mají mnoho funkcí jako podpoření chuti, propůjčují sladkost produktu a dělají jej přitažlivější z hlediska chuti. Dále zvyšují smetanovost, protože pomáhají přeměnit vodu na velmi malé ledové krystalky, ovládají schopnost směsi začlenit vzduch, a zároveň ovlivňují množství ledu a tím i měkkost mraženého krému. Cukry snižují bod mrazu, proto redukují množství ledu. Čím méně cukru směs obsahuje, tím více se tvoří ledové krystalky, tím je zmrzlina tvrdší (Clarke 2012; Syed et al. 2018).

Sacharóza

Sacharóza je disacharid složený z molekuly glukózy a fruktózy a představuje nejběžněji využívaný cukr při výrobě zmrzliny. Jeho zdrojem je cukrová třtina, nebo cukrová řepa, ze kterých se získává extrakcí a poté tato šťáva prochází procesem čištění, koncentrování, krystalizace, odstředění a nakonec sušení do finální podoby. Je nutno poznamenat, že mezi

cukrem z cukrové třtiny a cukrové řepy nejsou žádné chemické rozdíly. Hnědý cukr vděčí za svou barvu melase, která se při odstředování neodstraňuje a má výraznou chuť, která ovlivňuje konečnou chuť zmliny. Pokud se při výrobě mraženého krému používá pouze sacharóza, dojde k její krystalizaci a dojde k nepříjemné pískovitosti. Tomu se lze vyhnout nahrazováním jinými cukry v rozmezí od 10-30 % z celkového množství cukrů. Molekula sacharózy je zobrazena na obrázku č. 3 (Clarke 2012; Goff & Hartel 2013).

Kyselou nebo enzymatickou hydrolyzou sacharózy vzniká invertní cukr. Tento proces hydrolyzy je také známý jako inverze, protože převrací směr rotace polarizovaného světla zprava doleva. Je to tekutý cukr složený z vody, glukózy a fruktózy. Je sladší než sacharóza a má stejnou protizmrazovací sílu jako dextróza. Invertní cukr má poměrně vysoký index sladivosti a také vysokou nemrznoucí sílu. Používal se zejména dříve, než se objevila dextróza, protože to byl jediný cukr, který výrazně dokázal snížit (stlačit) bod mrazu (Bezpečnost potravin nedatováno).

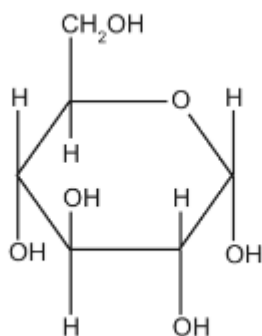


Obrázek 3: Molekula sacharózy

(Převzato od Clarke 2012)

Glukóza

Glukóza je nejjednodušší cukr a přirozeně se vyskytuje ve svém stereoizomeru D-glukóza (dextróza). Je to monosacharid získaný enzymatickou hydrolyzou kukuřičného škrobu, který se skládá z molekul glukózy uspořádaných v lineárním řetězci (amylóza), nebo větveném řetězci (amylopektin). Obecně se dodává ve formě monohydrátových krystalů, které obsahují 91 % glukózy a 9 % vody. Má nižší sladivost než sacharóza, ale přes i přes méně sladkou chuť na jazyku má silnější antizmrazovací účinek. K výrobě mraženého krému nelze použít pouze dextrózu, protože by byl příliš nízký bod mrazu a konečný produkt by byl velmi lesklý. Obvykle se používá jako náhrada za sacharózu maximálně v rozsahu 25–30 %. V kombinaci se sacharózou, zabraňuje sacharóze krystalizovat a zlepšuje smetanovost zmrzliny. Molekula glukózy je ukázána na obrázku č. 4 (Clarke 2012; Jana et al. 2016).

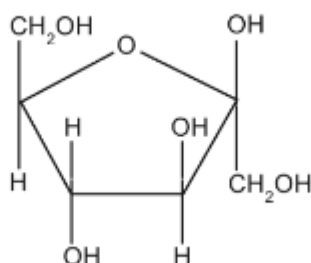


Obrázek 4: Molekula D-glukózy (dextróza)

(Převzato od Clarke 2012)

Fruktóza

Fruktóza je jednoduchý cukr, který má ve své struktuře ketonovou funkční skupinu a jeho nejčastějším zdrojem je ovoce a med. Průmyslově zpracovaná fruktóza se vyrábí z invertního cukru nebo glukózových sirupů prostřednictvím specializovaných postupů zahrnujících ředění, čištění a krystalizaci. Díky své větší sladivosti oproti sacharóze, vynikající rozpustnosti, schopnosti zabránit krystalizaci a pozitivnímu vlivu na chuť a aroma, je fruktóza vhodnou surovinou pro výrobu zmrzliny. Molekula fruktózy je znázorněna na obrázku č. 5 (Clarke 2012; Tharp & Young 2013).



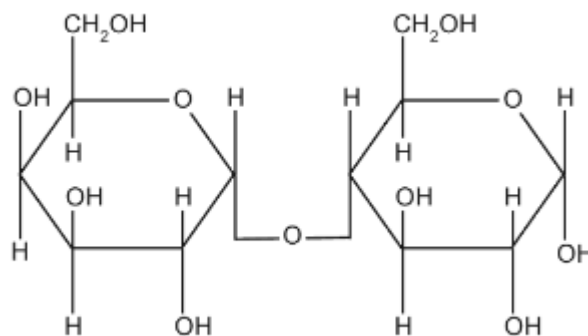
Obrázek 5: Molekula fruktózy

(Převzato od Clarke 2012)

Laktóza

Laktóza je disacharid přítomný v mléku, skládající se z molekuly glukózy a galaktózy, a jde o jediný cukr živočišného původu. Index sladivosti je poměrně nízký a protimrznoucí síla je stejná jako u sacharózy. Při výrobě zmrzliny není příliš užitečná, protože není moc rozpustná a během procesu mražení až příliš snadno krystalizuje. Krystaly způsobují písčitou texturu, která dělá výsledný produkt zcela nepřijatelný. Proto se do receptury záměrně nepřidává, i když se ve zmrzlině stejně vyskytuje, protože je složkou mléka. Odstranění laktózy by bylo velmi nákladné a výsledné sušené mléko by se příliš prodražilo. Laktóza může být hydrolyzována

enzymem laktázou na jednotlivé molekuly glukózy a galaktózy. S tímto disacharidem je také spojen problém laktózové intolerance, který je způsoben chybějící nebo špatně fungující laktázou. V dnešní době však mnoho lidí, kteří technicky nesnášejí laktózu, mohou mléčné výrobky stále konzumovat. Molekula laktózy je zobrazena na obrázku č. 6 (Marshall et al. 2003; Clarke 2012).



Obrázek 6: Molekula laktózy

(Převzato od Clarke 2012)

Glukózový sirup

Glukózový sirup, jehož obsah pevných látek je označován jako „sušina glukózového sirupu“, se v některých zemích používá k označení tekutého hydrolyzátu z určitého škrobu. Často je zdrojem škrobu kukuřice, v takovém případě by byl synonymem pro kukuřičný sirup. Nejběžnějšími zdroji škrobu jsou kukuřice, rýže, pšeničná tapioka nebo brambory. Z regulačních a případných alergenních důvodů je třeba vždy uvést zdroj škrobu.

Tyto cukry jsou charakterizovány indexem zvaným „dextrózový ekvivalent“ neboli DE. Když je suspenze škrobové vody vystavena kontrolovanému enzymatickému účinku, získají se cukerné sirupy s odlišnou DE. Tyto sirupy se pak pomocí proudu horkého vzduchu rafinují, koncentrují a nakonec vysuší. Výsledkem je jemný prášek, který je plně rozpustný ve studené vodě, ačkoli zahřátí nepůsobí žádnou degradaci (Hull 2010; Tharp & Young 2013).

Je však dobrým pravidlem tento prášek před smísením s tekutinami zpracovat do cukru, aby nevznikaly hrudky. Tyto výrobky se nazývají maltodextriny, pokud je jejich DE menší než 20, a glukózové sirupy s DE 20 nebo vyšší. Mražené krémy vyrobené s použitím maltodextrinu budou méně sladké a pevnější a jejich bod mrazu bude vyšší než u samotného cukru. Glukózové sirupy propůjčují mraženým krémům v závislosti na jejich DE jemnější, sametovější strukturu a zlepšují snímatelnost a tepelnou retenzi. Stejně jako dextróza jsou i glukózové sirupy účinnými antikrystalizujícími látkami. Jinými slovy jsou to látky zabraňující krystalizaci sacharózy (Goff & Hartel 2013).

Cukerné alkoholy

Cukerné alkoholy se vyrábí reakcí cukrů s vodíkem za přítomnosti katalyzátoru, např. sorbitol z glukózy, laktitol z laktózy a manitol z manózy. Jsou o něco méně sladké než je sacharóza. Lidský trávicí systém je tráví neúplně, a proto mají přibližně poloviční

kalorickou hodnotu než cukry. Negativním důsledkem toho je, že při konzumaci velkého množství mohou mít projímavý účinek. Proto se jejich použití omezuje na specializované produkty, například pro diabetiky. Některé cukerné alkoholy se však používají jako náhražky cukru v nízkokalorické zmrzlině (Clarke 2012).

3.2.3 *Stabilizátory*

Stabilizátory jsou běžně používaná aditiva při výrobě zmrzliny. Lze je charakterizovat jako skupinu ve vodě rozpustných nebo dispergovatelných biopolymerů. Jedná se především o polysacharidy rostlinného původu, ale lze použít i xanthan (bakteriální polypeptid) a z živočišných zdrojů želatinu. Jsou to látky, které umožňují udržet fyzikálně – chemický stav potraviny tím, že udržují homogenní disperzi dvou nebo více nemísitelných látek a patří sem i látky, které uchovávají nebo zvýrazňují barvu. Ačkoliv pocházejí z přírodních zdrojů, podle evropského práva jsou označovány za přídatné látky, a proto musejí být označeny E – kódy (Jana et al. 2016).

Hlavním účelem použití stabilizátorů je zvýšení viskozity směsi a zajištění přijatelné rychlosti tání. Kromě toho je funkce stabilizátorů potřebná při udržování hladkosti tím, že udržují velikost krystalů ledu a laktózy hluboko pod prahem vnímání, a to díky snížení pohyblivosti vody, což je rozhodující zejména s ohledem na tepelný šok. Stabilizátory minimalizují účinky jevů rekrystalizace a zrání, které neúprosň způsobují růst ledových krystalků. Tato funkce je klíčovým prvkem pro dodání hladké zmrzliny spotřebiteli (Tharp & Young 2013; Goff & Hartel 2013).

Množství a druh stabilizátoru potřebného ve zmrzlině závisí na jejích vlastnostech, složení směsi a použitých přísadách. Dále na době zpracování, teplotách a tlacích, na teplotě a době skladování a na mnoha dalších faktorech. Obvykle se ve zmrzlinové směsi používá 0,1-0,5 % stabilizátoru. Směsi s vysokým obsahem tuku nebo celkové sušiny (40 %), čokoládové směsi nebo směsi pasterované při velmi vysoké teplotě vyžadují méně stabilizátoru. Naopak směsi s nízkým obsahem celkové sušiny (37 %), pasterované HTST systémem (vysoká teplota po krátkou dobu, z ang. org. High Temperature Short Time) nebo směsi určené k dlouhodobému skladování, potřebují přídavek vyššího množství stabilizátoru (Bahram-Parvar & Tehrani 2011; Chandan et al. 2016).

Želatina. Tento poměrně drahý stabilizátor je účinný v koncentracích 0,3 - 0,5 %, nemusí však zabránit účinkům tepelného šoku. Není také přijatelný pro některé náboženské a vegetariánské skupiny obyvatel. Použití želatiny jako stabilizátoru vytváří řídké směsi, které vyžadují dlouhou dobu zrání. Želatina se snadno rozptýlí a nezpůsobuje odkapávání nebo pění (Bahram-Parvar & Tehrani 2011).

Guma guar. Tento stabilizátor se získává ze semen tropické luštěniny zvané guar. Je nejlevnější ze všech stabilizátorů a účinně zmírňuje dopady tepelného šoku, který vyvolává nežádoucí změny. Snadno se rozptýlí ve směsi a nezpůsobuje její rozpad a nadměrnou viskozitu. Obvykle se do směsi přidává v množství 0,1 - 0,2 %, a proto je tato látka považována za silný stabilizátor (Chandan et al. 2016).

Karboxymethylcelulóza sodná (CMC). Tato chemicky modifikovaná přírodní guma je lineární aniontový polysacharid s dlouhým řetězcem a je rozpustná ve vodě. Přechištěná sodná sůl karboxymethylcelulózy je bílý až krémově zbarvený, sypký prášek bez chuti

a zápachu. Karboxymethylcelulóza sama o sobě tvoří slabé gely, ale dobře želíruje v kombinaci s karagenanem, gumou ze svatojánského chleba nebo guarovou gumou. Je silným stabilizátorem a ve směsi je jí zapotřebí pouze 0,1 - 0,2 % (Bahram-Parvar & Tehrani 2011).

Guma ze svatojánského chleba. Je známá také jako rohovníková guma, která se používá ve formě bílé až žlutobílé mouky získané drcením endospermu semen rohovníku *Ceratonia siliqua*. Skládá se převážně z polysacharidu galaktomannanu složeného z monosacharidů manózy a galaktózy. Tyto polysacharidy jsou známy pro svoje schopnosti zadržovat vodu, zahušťovat, želírovat, vázat, emulgovat a vytvářet film, pokud jsou hydratovány ve vodě. Ve zmrzlině se používá v množství 0,1 - 0,2 % a může se používat samostatně nebo v kombinaci s guarovou gumou. Ke kombinaci dochází, protože jednotlivé stabilizátory zřídka plní všechny požadované funkce, proto je potřeba synergického účinku několika stabilizátorů (Porto 2011).

κ -karagenan. Do zmrzliny se přidává v množství nižším než 0,05 % jako sekundární stabilizační činidlo, aby se kontrolovala separace fází, způsobená neslučitelností hydrokoloidů s mléčnými bílkoviny. Rozdělení fází je řízeno podle následujících mechanismů. Buď dojde k absorpci κ -karagenanu na kaseinové micely a vzniku gelové sítě, nebo proběhne fázová separace mezi polysacharidy a kaseinem. Po dodání κ -karagenanu dochází k významnému snížení rekrytalizace κ -karagenan/sacharóza v přítomnosti tukuprosté mléčné sušiny (Soukoulis et al. 2008).

Xanthan. Jedná se o bakteriální exopolysacharid, který se získává růstem *Xanthomonas campestris* v kultuře. Do mraženého krému se přidává ve směsi s guar gumou nebo s gumou ze svatojánského chleba. Působí jako stabilizátor v potravinách obsahujících alginát sodný (Syed et al. 2018).

Algináty. Alginát je výtažek z hnědé mořské řasy. Jedná se o polysacharid složený z monomerů kyseliny mannuronové a kyseliny guluronové. Rozpustná forma, sodík, se ionizuje ve vodě a polymer reaguje s vápenatými ionty za vzniku nerozpustného gelu. Tato reakce se používá k tvorbě řady potravin ve formě želé. Nejběžnější formou využívanou pro mražené krémy je alginát sodný. Alginát sodný se snadno rozpouští ve studené i horké vodě, takže ve zmrzlinách není velmi rozšířený (Marshall et al. 2003).

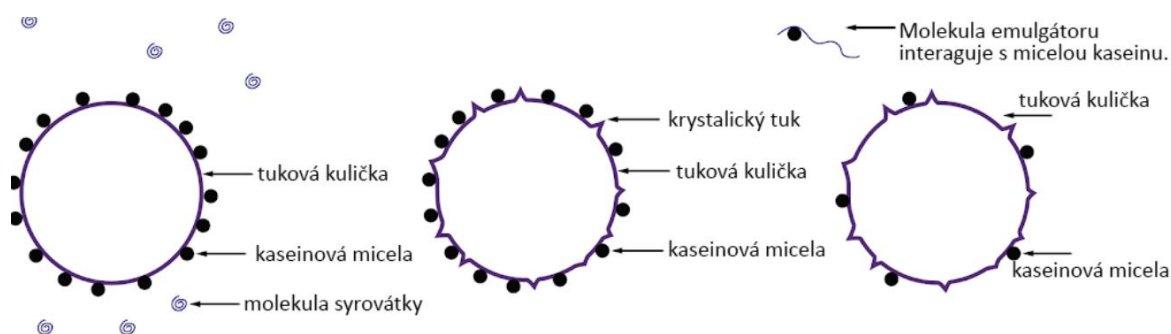
Mikrokrytalická celulóza (celulókový gel, MCC). Mikrokrytalická celulóza má účinné použití při stabilizaci pěny. Přídavek 0,4 % a vyššího množství MCC do zmrzlinové směsi vede k tvorbě gelu, který prezentuje původní strukturu mražených dezertů během skladování a distribuce tím, že zvyšuje jejich odolnost vůči tepelným šokům a udržuje v těchto výrobcích třífázový systém vzduch-tuk-voda. MCC rovněž umožňuje snížit obsah tuku a sušiny o 2 až 4 % s minimální ztrátou textury. Stejně jako karagenan má i mikrokrytalická celulóza schopnost zabránit oddělování syrovátky ve směsích, čímž působí proti destabilizačním účinkům některých rozpustných gum (Bahram-Parvar & Tehrani 2011).

3.2.4 Emulgátory

Emulgátory stejně jako stabilizátory patří mezi běžně využívaná aditiva přidávaná v množství 0,1 - 0,3 %. Mají efekt na krystalizaci tuku, rozložení vzduchových bublin a odolnost výrobku vůči teplotním šokům. Používají se pro vytvoření suššího mraženého krému

s hladší texturou, ke zvýšení odolnosti proti rychlému tání během konzumace a ke zvýšení odolnosti proti smrštění během skladování. Během homogenizace a stárnutí dochází k tomu, že se emulgátory absorbují na povrch nově vytvořených tukových kuliček, z jejichž povrchu vytěsňují bílkoviny a tukové kuličky jsou pak náchylnější k destabilizaci. Při mražení a šlehání se však některé tukové kuličky při srážkách způsobených rotujícími lopatkami freezeru slepí a vytvoří shluky, které mají za následek požadované senzorycké vlastnosti (Porto 2011; Underbelly 2016; Loffredi et al. 2021).

Při výrobě mražených krémů se nejčastěji používají například polysorbáty, monoglyceridy a diglyceridy, které se od sebe liší svou strukturou. Bylo zjištěno, že polysorbáty s nasycenými řetězci se mohou chovat jako krystalizační jádra a podporovat krystalizaci tuku, a zároveň s ním spolukrystalizovat. K tomuto jevu dochází na základě podobnosti mezi nasycenými uhlovodíkovými řetězci tuku a emulgátoru. Při používání emulgátorů se musí dbát na použití správného množství, jelikož přebytké dávkování může způsobit vznik nežádoucích chutí, zejména během skladování. Vliv emulgátoru na tukovou kuličku je zobrazen na obrázku č.7 (Porto 2011; Rizzo et al. 2015).



Obrázek 7: Struktura tuku po přidání emulgátoru

(Upraveno podle Underbelly 2016)

Mono- a diglyceridy

Mono- a diglyceridy jsou nejčastěji používanými syntetickými potravinářskými emulgátory. Vyrábějí se reakcí rostlinného nebo živočišného tuku s glycerolem za vzniku směsi monoglyceridů, diglyceridů, triglyceridů, mastných kyselin a glycerolu. Pro použití těchto látek při výrobě mraženého krémů je optimální, aby obsahovaly více než 40 % monoglyceridů, protože tato forma je nejvíce funkční. Typické koncentrace používané pro výrobu jsou 0,1 - 0,2 % mono- a diglyceridů.

Úroveň destabilizace tuků ovlivňuje stupeň nenasycenosti mastných kyselin přítomných v monoglyceridech. V tomto případě je s glycerolem spojená pouze jedna molekula mastné kyseliny a může být nasycená nebo nenasycená. Vyšší míru částečné koalescence podporuje nenasycená mastná kyselina, protože způsobuje vyšší míru vytlačení proteinů. Typicky však mono- a diglyceridy obsahují nasycené mastné kyseliny (Garti & Sato 2001; Porto 2011).

Polysorbáty

Jedná se o další syntetické emulgátory vyrobené pomocí rostlinných nebo živočišných tuků, které reagují se sorbitolem. Estery sorbitanu obsahují především molekuly stearové a olejové kyseliny. Jejich rozpustnost ve vodě zajišťuje vazba na polyoxyethylenové skupiny. Nejčastěji používaný je polysorbát 80 (polyoxyethylen sorbitan monooleát), známý také jako Tween 80, jehož koncentrace jsou 0,02 - 0,04 % celkové hmotnosti směsi. Je to velmi aktivní sušící činidlo, a proto se používá v mnoho komerčních směsích stabilizátorů/emulgátorů. Vědecky bylo prokázáno, že je při destabilizaci tuku mnohem efektivnější než mono- a diglyceridy, protože dokáže vytlačit více bílkovin z povrchu tukových kuliček, ale to platí pouze při kombinaci s mono- a diglyceridy, ne v čisté formě (Marshall et al. 2003; Porto 2011).

Přírodní emulgátory

Využívají se při formulacích zmrzlin, kde jsou nežádoucí syntetické emulgátory a řadíme mezi ně žloutky vajec a podmáslí. Hlavními složkami vaječného žloutku jsou kromě vody proteiny (15,7 - 16,6 %) a lipidy (32 - 35 %). Lipidy se skládají přibližně ze 66 % triglyceridů, 28 % fosfolipidů, 5 % cholesterolu a 1 % jiných lipidů. Díky tomuto složení mohou být použity jako emulgátory, ačkoli nejsou tak efektivní jako syntetické emulgátory. Pro dosažení podobných vlastností monoglyceridům je potřeba přidat 1 - 2 % žloutku celkové hmotnosti směsi.

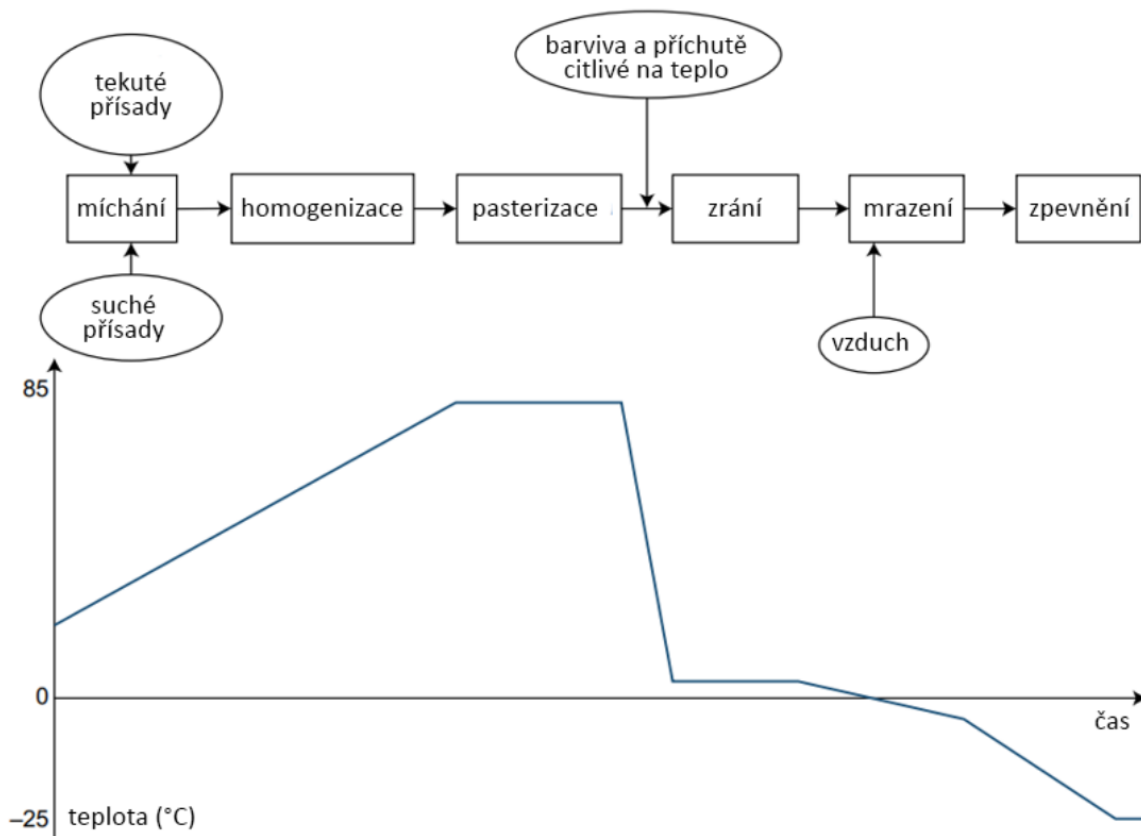
Podmáslí je vedlejší produkt vznikající při výrobě másla, který obsahuje velký podíl složek z membrány tukových kuliček, převážně fosfolipidů a proteinů. Tato vysoká frakce fosfolipidů a proteinů poskytuje zlepšené emulgační vlastnosti. Tyto vlastnosti se uplatňují při šlehání, kdy dojde k většímu nahuštění vzduchu do směsi. Dále zvyšují schopnost udržovat vodu, což je velmi důležité pro požadovanou texturu (Marshall et al. 2003).

3.3 Výroba mraženého krému

Stejně jako většina výrobků se i zmrzlina navenek jeví jako jednoduchý celek, ale při bližším zkoumání je jedním z nejsložitějších potravinářských výrobků. Většina potravin má jednofázovou strukturu, která je buď na bázi tuku nebo vody, popřípadně jednoduchá emulze tuku a vody. Zmrzlina naproti tomu obsahuje síť částečně koalescentního tuku, vzduchové bubliny, ledové krystaly a sérum. Všechny tyto složky jsou důležité pro její výrobu, distribuci a spotřebu. Proces výroby zmrzliny je zobrazen na obrázku č.8 (Clark et al. 2014; Homayouni et al. 2018).

Mléčné složky tvoří 50 - 55 % z celkového množství sušiny zmrzliny a příbuzných mražených dezertů. Výběr mléčných složek a složení zmrzlinové směsi jsou určeny regulačními normami, požadovanou kvalitou mraženého dezertu, marketingovou strategií, spotřebitelem a jeho potřebami, poptávkou, relativními cenami a dostupností v dané lokalitě. Představují nejdůležitější součást mraženého krému, protože poskytují složky určující kvalitu. Mají zásadní vliv na chuť, strukturu a texturu mraženého výrobku. Povaha a intenzita celkové chuti je souborem kvality chuti jednotlivých složek, jejichž případné vady nelze odstranit během výroby. Ve skutečnosti lze vady ještě prohloubit v důsledku nedbalého zacházení a špatného zpracovatelského postupu.

Konzistence zmrzliny souvisí s mechanickou pevností směsi a její odolnosti vůči tání. Odolnost proti tepelnému šoku závisí na povaze a koncentraci použitého systému stabilizátor-emulgátor. Textura závisí na velikosti, tvaru, počtu a uspořádání vzduchových bublin, tukových kuliček, ledových krystalků a poměru zmrzlé a tekuté vody (Chandan et al. 2016).



Obrázek 8: Schéma zpracování zmrzliny včetně teplotního profilu

(Upraveno podle Clarke 2012)

3.3.1 Příprava směsi

Prvním krokem při výrobě zmrzliny je příprava směsi, kdy cílem tohoto procesu je smíchat, rozptýlit a rozpustit jednotlivé složky. Složky musí být dávkovány v přesně daném pořadí a musí být dodržovány poměry, aby se dosáhlo optimální konzistentní kvality směsi a došlo k maximálnímu využití složek. Míchací nádrž je vybavena prostředky pro ohřev směsi, míchadlem a obvykle je izolovaná, aby se minimalizovaly tepelné ztráty. Vytápění a míchání jsou pečlivě řízeny, aby se složky udržely v rovnováze a efektivně se rozptýlily a rozpustily. Je také důležité, aby se tepelně citlivé složky nerozpouštěly a nedošlo tak k poškození přísad. Při přípravě směsi se zvláště odměřují tekuté a suché složky. Kapalné složky se váží nebo odměřují do směšovací nádrže. Suché složky se váží a poté se smíchají s tekutými složkami (Clarke 2012).

Mražené dezertní směsi se vyrábějí podle specifikací určených podle druhu výrobků a předpisů. Tyto specifikace se nazývají receptura. Pro výrobu zmrzlinové směsi se používají

tři kategorie látek. Koncentrovaný zdroj mléka je první kategorií, druhou kategorií je zdroj tukuprosté mléčné sušiny (tzv. sérum) a třetí kategorie se nazývá vyrovnávací složka. Kromě základních složek uvedených dříve je možné přidat libovolný počet příchutí ve formě sypkých směsí nebo variegát, která se přidávají až po zmrazení (Clark et al. 2014; Chandan et al. 2016).

Jednu z hlavních rolí tedy hraje mléčný tuk, který dodává zmrzlině její bohatost, jemnost, plnost a krémovou chuť. Nejlepším a zároveň nejnákladnějším zdrojem mléčného tuku je smetana. Další zdroje jsou mražená smetana, nesolené máslo a bezvodý mléčný tuk. Používání jiných tuků než mléčného tuku je zákonem zakázáno v mnoha zemích (např. USA), ale je to povoleno v některých zemích Evropy a Asii, musí to být však správně legislativně označeno. Další důležitou složkou je sušené odstředěné mléko, které zahrnuje laktózu, bílkoviny a minerální látky ve formě solí. Tekuté plnotučné mléko, odstředěné mléko a smetana jsou dobrým zdroji pro výrobu mražených krémů, ale žádné z nich nepřináší dostatečné množství MSNF (tukuprostá mléčná sušina, z ang. org. Milk Solids Non Fat), aby to splňovalo zákonné i technologické požadavky, proto je potřeba je dodávat v koncentrované formě. Uspokojivým zdrojem je zahuštěné odstředěné mléko a lze použít i slazené kondenzované mléko. Sušené odstředěné mléko je nejpoužívanějším mléčným výrobkem, protože se používá k zajištění celé MSNF nebo zvyšuje obsah MSNF v tekutém plnotučném mléce. Mléčné výrobky a další složky se vybírají na základě jejich ceny, dostupnosti a kvality hotového výrobku (Robinson 2002; Deosarkar et al. 2016).

Důležité je zmínit i skladování surovin používaných při výrobě mražených krémů. Všechny složky by měly být analyzovány na mikrobiální kontaminaci a na celkovou kvalitu předtím, než jsou přidány. Je důležité, aby byly uchovávány v podmínkách, které brání růstu patogenních mikroorganismů nebo mikroorganismů způsobujících kažení, takže je většinou vyžadováno chladné prostředí. Suroviny obsahující tuk nebo jiné složky náchylné k oxidaci, by měly být baleny a skladovány takovým způsobem, aby byly vystaveny co nejmenšímu množství kyslíku. S tím souvisí i potřeba rychle tyto suroviny spotřebovat. Sušené výrobky by měly být uchovávány v podmínkách, které je udržují bez rizika kontaminace a nečistot. To obvykle znamená, že jsou skladovány v co nejchladnějším a nejsušším prostředí a neměly by se ukládat příliš těsně na sebe (Clark et al. 2014).

3.3.2 *Pasterizace*

Pasterizace směsi slouží především k usmrcení patogenních mikroorganismů a mikroorganismů způsobujících kažení. Druhým důležitým cílem je inaktivace lipázy, protože je stále ještě trochu aktivní i při velmi nízké teplotě. Nakonec je poměrně intenzivní zahřívání směsi žádoucí (zejména u ztužené zmrzliny), aby se snížila náchylnost k poškození, zejména autooxidaci. Musí se však dávat pozor na to, aby výsledný produkt neměl vařenou příchut', která je nežádoucí a ovlivňují ji i přidané látky (Walstra et al. 2005).

Běžně používány jsou jak dávkové, tak kontinuální pasterační systémy. V dávkovém pasterizačním systému se složky míchají ve velkých plášťových kádích vybavených určitým způsobem ohřevu, obvykle nasycenou párou nebo horkou vodou. Výrobek je poté zahříván na teplotu nejméně 69 °C po dobu 30 minut, aby byly splněny zákonné požadavky na pasterizaci, které jsou nezbytné pro zničení patogenních bakterií. Kontinuální pasterizace se obvykle provádí ve výměníku tepla HTST po smíchání složek. Předpisy týkající

se kombinace teploty a času pro kontinuální pasterizaci stanovují minimální teplotu na 80 °C po dobu nejméně 25 sekund (Deosarkar et al. 2016).

3.3.3 Homogenizace

Hlavním účelem homogenizace je vytvořit stabilní a stejnoměrnou suspenzi tuku zmenšením velikosti tukových kuliček na méně než 1 µm. Pokud je směs správně homogenizována, tuk se neodděluje a nevytváří vrstvu na povrchu. Zmrazený výrobek zároveň nemá mastný nebo máslový vzhled a mastný pocit na jazyku. Homogenizovaný tuk se v mrazicím boxu míší velmi pomalu, takže je obvykle zapotřebí emulgátorů, které zajistí řízené míchání, jehož výsledkem je zmrazený výrobek suchého vzhledu, který se pomalu rozpouští (Marshall et al. 2003).

Při homogenizaci i pasterizaci je nutné dodržet zpravidla teplotu záhřevu, kdy by teplota neměla překročit 80 °C, aby se zabránilo denaturaci mléčných bílkovin, která se pak projevuje chutí vařeného mléka. Po homogenizaci se mléčné bílkoviny snadno adsorbují na povrch tukových kapiček, takže kolem tuku vytvářejí silnou membránu, díky které velmi dobře stabilizují emulzi tuku ve vodě proti koalescenci. Tento krok je důležitý také pro reologické vlastnosti mraženého krému, protože zvětšený povrch tuku pomáhá stabilizovat vzduchové bubliny, a tím snižovat rychlost tání. Homogenizace může mít také vliv na barevný odstín z důvodu rozpustnosti některých pigmentů v tucích (Clarke 2012; Reinhold & Schweiggert 2016).

3.3.4 Zrání

Zrání je proces skladování směsi v klidu s přerušovaným mícháním po určitou dobu, přibližně 4 hodiny a déle při teplotě nižší než 4 °C. Pasterizace a homogenizace mění fyzikální formy suspenze pevných látek ve zmrzlinových směsích. Pasterizace rozpouští veškerý tuk, zatímco homogenizace zmenšuje průměr tukových kuliček. Zrání umožňuje hydrataci mléčných bílkovin a stabilizátorů (během zrání dochází k určitému zvýšení viskozity), krystalizaci tukových kuliček a změnu uspořádání membrány, čímž vzniká hladší struktura a kvalitnější výrobek (Fox & McSweeney 2006; Deosarkar et al. 2016).

Při nízkých teplotách zrání probíhá částečné vytěsňování bílkovin na rozhraní tukových kuliček emulgátory. Rovněž některé hydrokoloidní stabilizátory vyžadují čas na úplnou hydrataci. Běžně používané stabilizátory jako je karboxymethylcelulóza sodná a guar guma, se během zpracování většiny směsí dobře hydratují. Hydratace však probíhá pomalu pro malé množství karagenanu, který se obvykle přidává spolu s těmito stabilizátory, aby se zabránilo oddělování syrovátky při dlouhodobém skladování. Zmrazení nesprávně „vyzrálých“ směsí vede k podobným vlastnostem, jaké se objevují u neemulgovaných směsí. Konkrétně dochází k menšímu zachování tvaru a relativně rychlému zmrznutí (Goff & Hartel 2013).

3.3.5 *Příchutě*

Příchutě se přidávají nejméně třemi různými způsoby. Lze je přidat přímo do směsi před zmrazením (například vanilka, čokoláda, máta), bezprostředně po zmrazení (kousky ovoce, ořechy, bonbóny a cukrovinky), nebo po zmrazení před balením (pestrobarevné ozdoby). Moderní systémy ochucování jsou složité a mohou využívat všechny tři způsoby ochucení v jednom a totéž procesu. Ochucovací látky se mohou přidávat v práškové formě (např. kakao), což je výhodné z důvodu snadnějšího rozptýlení během míchání. Tekutá aromata a barviva se nejčastěji ručně odměřují a poté se promíchají s mléčným základem. Příchutě přidávané po pasterizaci představují riziko kontaminace. Je důležité, aby ochucovadla a barviva byla před přidáním do základu pasterizována, nebo jinak ošetřena, aby bylo zajištěno, že neobsahují patogeny. To platí zejména u syrových zemědělských produktů jako je například jahodová šťáva (Clark et al. 2014; Chandan et al. 2016).

Nabídka přírodních aromatických látek je někdy omezená, ale chemicky vyráběné druhy jsou k dispozici v téměř neomezeném množství a za relativně nízkou cenu. Příchutě přírodního i syntetického původu jsou k dispozici zejména ve směsích pro správné ochucení potravin. Přírodní aromata použitelná v mražených krémech pochází z citrusových a necitrusových plodů, tropického ovoce, rostlinných látek, koření, kakaa a čokolády, kávy, přírodních aromatických látek z vanilky a jiných látek například z ořechů. Mezi likérová aromata patří alkohol, whisky a destilované nápoje nebo destilát z ovocné pálenky (Marshall et al. 2003).

3.3.6 *Zmrazování*

Zmrazování je proces, při kterém se směs předá do mrazicího boxu neboli freezeru, ve kterém dojde k prudkému poklesu teploty na několik stupňů pod nulou. Tímto způsobem se vytváří led a zároveň je do směsi vháněn vzduch. To musí probíhat současně, jelikož pokud je většina vody zmrzlá, tak je jakékoli vhánění vzduchu nemožné. Vhánění vzduchu i po zmrazení a vytvoření ledových krystalů vede k nedostatečnému rozmělnění tukových kuliček a může dojít k poškození struktury. Proces trvá několik minut podle množství směsi uvnitř a směs opouští chladicí zařízení při teplotě -3,5 až -7 °C (Walstra et al. 2005).

Obvykle zmrazování probíhá ve freezeru, což je tepelný výměník se stíraným povrchem, neboli válcový sud s rotujícím zařízením. Míchadlo se používá k míchání a také ke stírání ledových krystalků z chlazeného vnitřního povrchu, které jsou dále rovnoměrně rozptýleny ve směsi. Při přeměně směsi na zmrzlinu probíhají uvnitř freezeru současně tři procesy. Jedná se o provzdušňování, mražení a šlehání, jejichž kombinací se vytvoří pěnová matrice s ledovými krystalky a stabilizovanými vzduchovými bublinami. Celkové zvětšení objemu zmrzliny po zmrazení je tzv. nášleh. V porovnání s tekutou zmrzlinovou směsí může nárůst objemu dosáhnout až 120 %. To má jistě vliv i na barevný odstín konečného výrobku. Zapracování vzduchu má bělicí účinek a barevné odstíny budou bledší a méně intenzivní. Proto je vhodné posoudit barevnost mraženého výrobku, zatímco barva tekuté zmrzlinové směsi může poskytnout pouze přibližnou představu (Reinhold & Schweiggert 2016).

Jedná se o nejdůležitější krok při výrobě zmrzliny, protože je to jediný krok, při kterém se tvoří ledové krystaly. Předpokládá se, že v toku zmrzliny při výstupu z freezeru

je rovnovážný obsah ledu. Čím více je ledových krystalů, tím více jich bude zachováno během tuhnutí, což povede k menší průměrné velikosti. Z tohoto důvodu je pro kvalitu výrobku zásadní kontrolovat a optimalizovat tvorbu, růst a zrání ledu v mrazícím zařízení. V ideálním případě se krystaly ledu udržují co nejmenší, aby se zvýšila krémovitost a prodloužila trvanlivost (Cook & Hartel 2010).

Teplota tuhnutí zmrzliny závisí na koncentraci rozpustných látek a mění se v závislosti na složení. Teplotu tuhnutí lze vypočítat se značnou přesností a lze ji stanovit v laboratoři pomocí kryoskopu nebo osmometru. Je závislá na obsahu sladidel a na tom, zda se v ní nachází MSNF směsi, konkrétně na obsahu laktózy a minerálních solí. Při větším použití směsných MSNF složek s vyšší koncentrací laktózy a solí, zejména těch, které jsou odvozeny z práškové syrovátky nebo z ní ve velké míře vyráběny, mají vliv na teplotu tuhnutí. Směsi s vysokým množstvím laktózy a jiných cukrů mají bod tuhnutí kolem $-3\text{ }^{\circ}\text{C}$, zatímco směsi obsahující velké množství tuku a málo laktózy se pohybují kolem $-1,4\text{ }^{\circ}\text{C}$. Během zmrazování se projevuje efekt zakoncentrování mrazem. Když se z vody vytvoří krystaly ledu, dojde k novému, nižšímu bodu tuhnutí pro zbývající roztok, protože se stal koncentrovanější vzhledem k rozpustným složkám (Goff & Hartel 2013).

3.3.7 Balení

Hlavní funkcí obalu je výrobek chránit a poskytovat informace o výrobku spotřebiteli. Obaly potravin poskytují ochranu před fyzikálními, chemickými a biologickými vlivy. Poskytují také užitečné informace jako například složení a výživové údaje. Obaly pro mražené krémy musí splňovat tři hlavní faktory. Nejdůležitějším požadavkem je ochrana před kolísáním teploty, fotooxidací a dehydratací, a také propustností pachů. Dále musí zohledňovat faktory související s distribucí, jako je celistvost obalu a jeho účinnost. Posledním důležitým faktorem, který je potřeba brát v úvahu při výběru obalového materiálu, je nakládání s tuhým komunálním odpadem (Chandan et al. 2016).

Balení zmrzliny je často komplikovaná operace, zejména pokud se jedná o specifické tvary produktu. V posledním případě může být balící krok spojen se začátkem tuhnutí, aby se porce vhodně upravily a zachovaly si odpovídající tvar. Nejčastěji je zmrzlina balena ve velkém obalu pro prodej, včetně jednotlivých kornoutů, nebo ve spotřebitelském balení pro přímý maloobchodní prodej. Hromadně balené mražené dezerty jsou baleny do jednorázových obalů, z nichž některé jsou z plastů pro opakované použití. Zmrzlinové směsi lze také nalézt zabalené v polymerových kelímcích nebo vaničkách, pružných plastových sáčcích nebo papírových sáčcích potažených voskem (Walstra et al. 2005; Karaman et al. 2015).

3.3.8 Zpevnění

Cílem zmrazování zmrzliny je přeměnit přibližně 50 % vody ve směsi na led. Zbytek vody ve směsi se zmrazí na nově vytvořené krystaly co nejrychleji při procesu zvaném zpevnování. Za účelem tuhnutí zmrzliny se balení se zmraženou zmrzlinou umístí do tvrdící komory, kde je vystaveno extrémní teplotě $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ nebo chladnější. Dojde k odpaření většiny

mrazícího vzduchu a zbývající voda zmrzne. Rychlé počáteční zmrazení pomocí velmi nízké teploty je nezbytné pro vytvoření a uchování co nejvíce malých ledových krystalů. Jakmile se více vody přemění na led, působí jako izolant, proto trvá značnou dobu, než střed směsi dosáhne teploty $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$. V ideálním případě je této teploty dosaženo za 9 - 10 hodin. Doba tuhnutí je ovlivněna především velikostí a tvarem balení, teplotou vzduchu a rychlostí proudění vzduchu. Po dosažení požadované teploty může být zmrzlina uskladněna. Tvrdicími zařízeními mohou být celé místnosti nebo různé druhy tunelů. Ve všech systémech dochází k vytváření námrazy, která je nežádoucí. Proto je důležité výparníky a další části místnosti nebo tunelu odmrazovat (Deosarkar et al. 2016; Chandan et al. 2016).

3.3.9 Skladování a distribuce

Po ztuhnutí zmrzliny se rozhoduje podle daných požadavků. Plně ztuhlá zmrzlina může být přímo naložena do nákladních automobilů, které ji převezou do distribučních míst a zmrzlina může být ihned uvedena na trh, nebo je uložena pro dlouhodobé skladování. Výrobci počítají s tím, že mezi zmrazením a uvedením na trh uplyne maximálně 5 dní. Při skladování je potřeba dodržet teplotu a obaly by měly být uloženy velmi těsně na sebe, aby se zpomalil přenos tepla a udržel se chlad (Jana et al. 2016).

Teplota při skladování se obvykle udržuje kolem -18 až $-23\text{ }^{\circ}\text{C}$. Tato teplota se cyklicky zvyšuje nebo snižuje o několik stupňů v denním cyklu (tzv. rozmrazovací cyklus), který zabraňuje tvorbě námrazy na teplosměnných plochách a dalších površích ve skladovacích prostorách. Pokaždé, když se teplota výrobku zvýší, tak nejmenší krystaly ledu roztají a pokaždé, když se teplota opět sníží, tak voda znovu zmrzne a vytvoří větší krystaly (Clark et al. 2014).

Zmrzlina je výrobek velmi citlivý na změnu teploty. Teplotní výkyvy během skladování a distribuce mohou vést ke snížení kvality v důsledku fyzikálních a chemických změn. Podmínky skladování a přepravy je možné zlepšit například použitím vhodného obalu s nízkou tepelnou difuzivitou. Předmětem výzkumu v oblasti mražených krémů jsou především změny velikosti krystalů v důsledku jevu rekrystalizace (Leducq et al. 2015).

3.4 Kvalitativní parametry

Obecně lze kvalitu potravin označit jako soubor vlastností a požadavků daných konečnými spotřebiteli. Jedná se především o senzorycké vlastnosti, chemické složení, fyzikální vlastnosti nebo také množství mikrobiologických a toxikologických kontaminantů. Lze sem zařadit i dobu trvanlivosti, druh balení a značení. Tento pojem může zahrnovat i vlastnosti týkající se schopnosti produktu splnit očekávané potřeby. Potraviny zakoupené spotřebitelem musí být bezpečné, což znamená, že nesmí obsahovat žádné patogeny ani toxické látky. Dále nesmí vykazovat známky hniloby, kažení nebo rozkladu, protože v této fázi nejsou potravinami vhodnými k lidské spotřebě a není zaručena jejich bezpečnost (Státní zemědělská a potravinářská inspekce 2016).

Potravinářský průmysl se stále více orientuje na zákazníky a potřebuje rychlejší reakce na řešení potravinových skandálů a incidentů. Dobré systémy sledovatelnosti pomáhají

minimalizovat výrobu a distribuci nebezpečných a nekvalitních výrobků, čímž se minimalizuje možnost špatné publicity, odpovědnosti a stahování výrobků z trhu (Aung & Chang 2014).

Kvalita zmrzliny závisí především na složkách použitých ve směsi, a také na technologickém procesu. Dále je silně závislá na teplotě skladování, protože nepřetržitě kolísání teploty může vést k významným vadám struktury zmrzliny souvisejícím s rekrystalizací ledových krystalů. Rekrystalizace ledu je považována za jednu z hlavních kvalitativních vad zmrzliny, která omezuje její vysokou kvalitu a trvanlivost, protože v technologii výroby zmrzliny je dobře známo, že ledové vnímání chuti má negativní vliv na přijatelnost konečného výrobku pro spotřebitele. Kvalitativní parametry pro mražené krémy nejsou přesně definovány, ale provádí se senzoričké, mikrobiologické, fyzikální a chemické hodnocení. (Bahram-Parvar et al. 2010; Tsevdou et al. 2015).

3.4.1 Senzorická analýza

Většina lidí si zmrzlinu vychutnává díky jejím smyslovým vlastnostem, mezi které patří sladká chuť, hladká, krémová a viskoelastická struktura a pocit chladu, který se projevuje na chuti zmrzliny. Chemické a fyzikální vlastnosti propůjčené přísadami a postupy využívanými při výrobě a zpracování do značné míry určují senzoričké vlastnosti. Všechny tyto vlastnosti musí být optimalizovány tak, aby bylo dosaženo dokonalosti. To zase vyžaduje správné hodnocení a včasné odhalení vad. Existují vady v chuti, struktuře, roztékavosti, barvě, špatně zvoleném obalu, obsahu mikroorganismů, nebo složení. Při hodnocení zmrzliny patří mezi nejpoužívanější chuť, čich, hmat a zrak. Hodnocení mražených dezertů není snadný úkol. Analytik musí mít zkušenosti, prostředí musí být čisté, bez zápachu, dobře osvětlené, teplotně příjemné a vhodně vybavené (Goff & Hartel 2013).

Senzoričké hodnocení zahrnuje soubor několika technik pro přesné měření lidských reakcí na potraviny, kterými minimalizuje potenciálně zkreslující vlivy jako je například značka a další informační vlivy na vnímání spotřebitele. Jako taková se snaží izolovat smyslové vlastnosti samotných potravin a poskytuje důležité a užitečné informace pro vývojáře a manažery, co je důležité za senzoričké vlastnosti u jejich výrobků. Aby byly minimalizovány zkreslující faktory, tak jsou například lidé při senzoričkému testu umístěni do jednotlivých zkušebních kabin, aby jejich posudky byly vlastní. Vzorky jsou označeny náhodnými čísly, aby si lidé neutvářeli úsudky na základě štítků a jsou v různém pořadí (Lawless & Heymann 2010).

Bylo zjištěno, že nejlépe si spotřebitelé vychutnají zmrzlinu podávanou při teplotě -12 °C, jelikož se zvýrazní chuť a sladkost. Na chuti se významně podílí sušina mléka a sladidla. V mražených dezertech, které obsahují tuk, dochází během mražení k pění. To se projevuje tak, že se tuk soustřeďuje kolem vzduchových bublin a dodává spotřebiteli pocit vláčnosti. Odtučněné mléko zase přispívá k vařenému a mírně slanému chuti, neboť dochází k přirozenému uvolňování sulfhydrylových skupin z mléka během pasterizace (Marshall et al. 2003).

Příprava vzorků a hodnocení

Obecně se pro získání vzorku zmrzliny upřednostňuje kvalitní naběračka nebo lopatka, nikoliv lžice. Pokud byl povrch výrobku obnažen, pak je třeba odstranit povrchovou vrstvu

přibližně do hloubky 0,8 cm. Dále se provádí temperování vzorků, pro které je vyhovující teplota -18 až -15 °C. Toto lze nejlépe provést přenesením vzorků zmrzliny z místnosti pro ztužování do výdejní skříně alespoň několik hodin před hodnocením (nejlépe přes noc). Tímto je zajištěno, že se zmrzlina temperuje rovnoměrně (Jana et al. 2016).

Při zkoušce tání by měl vzorek být umístěn na vhodném místě, které by mělo být čisté, dobře osvětlené a při teplotě kolem 20 °C, aby bylo během celkového procesu hodnocení možné pozorovat vlastnosti a rychlost tání. Stav zmrzliny se při vystavení běžným teplotám rychle mění, proto je nezbytně nutné, aby bylo sensorické hodnocení dokončeno v co nejkratším čase. Pozorování se provádí v Petriho misce, protože průhledné misky umožňují vlastnosti výrobku dobře vidět. Žádoucí tání probíhá po 15 až 20 minutách pozorování (Goff & Hartel 2013; Jana et al. 2016).

Textura se určuje pohmatem při krájení vzorku lžičkou a poté při žvýkání a rozplynutí v ústech. Tímto způsobem se sleduje i chuť a vůně. Hodnocení chuti obvykle vyžaduje minimálně dva stejné vzorky, protože smyslové charakteristiky se při rozplývání vzorku velmi rychle mění. S hodnocením chuti se pojí i aroma, takže je potřeba se vzorkem manipulovat a zahřívát ho v ústech, aby se uvolnily těkavé látky. Výrobci by měli považovat za přínosné provádět pravidelné sensorické hodnocení zmrzliny, aby mohli porovnat své výrobky s výrobky konkurence. V následující tabulce jsou uvedeny základní vady a odchylky od požadované chuti, které jsou nejčastěji sledovány (Goff & Hartel 2013).

Tabulka 4: Vady sledované při sensorickém hodnocení

Vada chuti	Popis příchuti	Příčina	Nápravné opatření
Nepřirozená	Přítomnost špatného aroma	Špatná kvalita aromatických látek, chyba v přidávání	Používat pouze vysoce kvalitní aromatické látky
Vařená	Ohřáté nebo spálené mléko	Vysoká teplota pasterizace	Dodržovat teplotu pasterizace
Příchuť po sirupu	Cukrová vata, karamel	Nadměrné množství sirupu, jiných sladidel	Upravit složení, výběr kvalitnějších sladidel
Kyselá	Kyselá	Kyselost v surovinách způsobená bakteriemi mléčného kvašení	Dodržování teploty na farmě a při skladování mléka
Slaná	Slaná	Vysoký obsah sušené syrovátky, příliš vysoký obsah soli	Používat vhodné přísady, nepřidávat sůl
Oxidovaná	Lepkavá, kovová	Spontánní oxidace	Sledovat suroviny obsahující tuk kvůli oxidaci
Žluklá	Plísňový sýr	Poškození tukových kuliček, aktivita lipázy, psychotropní bakterie	Aby nedocházelo k nadměrnému míchání a pění

(Upraveno podle Goff & Hartel 2013)

3.4.2 Mikrobiologické hodnocení

Mléko a mléčné produkty jsou důležitými potravinami pro velkou část světové populace, bohužel jsou také vynikajícím prostředím pro růst různých druhů mikroorganismů. Účinná kontrola těchto mikroorganismů je zásadní výzvou v mlékárenském průmyslu. Mikroorganismy, které způsobují kažení potravin, se mohou značně lišit v závislosti na kombinaci faktorů, jako jsou např. typ výrobku, způsob zpracování, teploty skladování, pH a dalších faktorů. Zkažení mléka a mléčných produktů se projevuje produkcí různých mikrobiálních produktů (metabolitů), které způsobují nežádoucí změny vlastností produktů jako je například změna vůně, chuti a textury (Bevilacqua et al. 2017; Ziyaina et al. 2020).

Zmrzlina je výrobek na bázi mléka, který může sloužit jako dobré médium pro růst mikroorganismů. Některé z nich mohou být pro člověka patogenní a jiné mohou způsobit kažení produktu. Potenciální mikrobiální nebezpečí, která se vyskytují ve zmrzlině, mohou být zavedena po pasterizaci například přidáním kontaminovaných složek, nebo nesprávnými manipulačními postupy. Správná pasterizace, hygienická manipulace a následné zpracování zmrzlinové směsi po pasterizaci mají zásadní význam pro to, aby byla připravena zmrzlina dobré kvality. Aby byla zajištěna bezpečnost spotřebitelů, tak se musí věnovat odpovídající pozornost některým klíčovým oblastem od přípravy směsi až po výrobu zmrzliny a její skladování. Kromě toho je z hlediska bezpečnosti potravin kladen důraz na zavedení systému HACCP pro všechny potravinářské podniky (Pal et al. 2012).

Zdroje kontaminace

Jak bylo zmíněno dříve, problémů způsobených vysokým počtem mikroorganismů v surovinách na výrobu by mělo být velmi málo, za předpokladu správného ošetření a manipulace. Sušené odstředěné mléko může občas obsahovat *Bacillus cereus*, a ačkoli se nejedná o závažné zdravotní riziko, měl by být jeho výskyt co nejnižší. *Bacillus cereus* může způsobit srážení mléka, a protože je aktivní i při relativně nízkých teplotách, může v extrémních případech způsobit kažení mléka. Dalším mikroorganismem odolným vůči teplotám, který se vyskytuje v sušeném mléce je *Listeria monocytogenes*. Granulovaný cukr, stejně jako další suché cukry a cukrové sirupy by měly být téměř sterilní a jediné mikroorganismy, které by se v něm mohly vyskytovat, jsou kvasinky (Robinson 2002; Goff & Hartel 2013).

Hlavními kroky při výrobě zmrzliny pro potlačení růstu mikroorganismů a odstranění mikrobiálního nebezpečí jsou pasterizace, zmrazení a ztuhnutí. Při kontinuální pasterizaci je dosaženo teploty nejméně 80 °C po dobu 25 sekund a následně musí být provedeno zmrazení, a to co nejrychleji, protože nízká teplota zmrzlinové směsi je nepříznivá pro množení mikroorganismů. I přesto, že je zmrzlina mražený produkt, který obecně zpomaluje růst mikroorganismů, bylo z ní identifikováno několik typů mikroorganismů, které jsou klasifikovány takto:

- Bakterie: *Alkaligenes*, *Bacillus cereus*, *B. subtilis*, *Brucella abortus*, *B. melitensis*, *Cornybacterium diptheriae*, *Enterococcus faecium*, *E. faecalis*, *Enterobacter aerogenese*, *E. liquefaciens*, *Escherichia coli*, *Klebsiella*, *Micobacterium tuberculosis*,

Proteus, Pseudomonas, Salmonella, Shigella, Staphylococcus aureus, Streptococcus pyogenese, Vibrio;

- Plíseň: *Absidia, Alternaria, Aspergillus, Fusarium, Mucor, Neurospora, Penicillium, Rhizopus;*
- Kvasinky: *Candida, Geotrichum, Rhodotorula, Saccharomyces* (Pal et al. 2012).

Překážkový efekt a detekce

Nejdůležitějším faktorem ovlivňujícím kontaminaci je správné ošetření vstupních surovin a následný technologický proces výroby. Během mražení zmrzlinové směsi dochází k uvolňování kyselin, solí a cukrů koncentrujících se ve viskózním sirupu. V určitém množství všechny tyto látky vykazují škodlivý účinek proti mikroorganismům, ať už se jedná o vegetativní formy nebo odolnější spory. Další faktor, který brání rozvoji mikroorganismů je růst extracelulárních ledových krystalů, které poškozují mikrobiální buňky. Za účelem zajištění mikrobiální bezpečnosti zmrzliny je možné ošetřit zmrzlinu ozařováním nízkými dávkami (1 kGy), které lze použít, aniž by došlo k senzoričkému zhoršení kvality. Tento postup ovšem není povolen v Evropské unii a využívá se hlavně v Asii a Americe (Özer & Akdemir-Evrendilek 2014).

Ve zmrzlinářském průmyslu se velmi účinně používají dvě stanovení mikrobiální kvality v hotových výrobcích, stejně jako ve většině mlékárenského průmyslu, se kterým je úzce spojen. Metody zahrnují stanovení standartního počtu mikroorganismů (nebo počet aerobních bakterií) a počet koliformních bakterií. Provádí se to jak u výrobků, tak u zpracovatelského zařízení a prostředí, prostřednictvím metody testů na kontakt s povrchem (např. stěrů). Tato metoda je velmi dobrým ukazatelem mikrobiální hygieny a může určit, zda výrobek splňuje mikrobiologické normy (Goff & Hartel 2013).

V souvislosti s kontaminací nelze zapomenout na správnou hygienu a sanitaci. Snadnost nebo obtížnost odstranění nečistot je dána povahou povrchu, na kterém se nacházejí. Při odstraňování nečistot je třeba dbát na kvalitu vody, typu mycího prostředku, teplotě, fyzikálním působení a čase. Sterilizace je v provozech nutná jen zřídka, protože v mražených výrobcích nedochází k velkému nárůstu mikroorganismů. Avšak všechny bakterie nemusí být odstraněny během čištění a mohou se dostat do zařízení během procesu. Proto je nezbytné, aby byly všechny povrchy, které přicházejí do styku s výrobky ošetřeny před použitím dezinfekčním prostředkem. Mezi běžně používané chemické dezinfekční prostředky patří sloučeniny obsahující chlor, jód, kyseliny a amoniové sloučeniny (Marshall et al. 2003).

3.4.3 Fyzikální a chemická analýza

Z hlediska fyzikálního hodnocení se jedná především o reologii. Reologie je fyzikální obor zabývající se složením a strukturou tekoucích a deformovatelných materiálů. Optimální hladkou strukturu a chladivý pocit, což jsou nejčastěji požadované vlastnosti zmrzliny při konzumaci, by mohla zajistit zmrzlinová směs s vhodnými reologickými vlastnostmi. Proto existuje mnoho výzkumů, které zkoumaly reologické vlastnosti zmrzlinové směsi a mražené zmrzliny s cílem získat údaje, jako je index tokového chování a koeficient konzistence, zdánlivá viskozita, tixotropie, a také skladovací a ztrátový modul. Tyto znalosti pomáhají mimo

jiné při kontrole kvality textury zmrzliny, kromě identifikace v závislosti na složení, technikách zpracování a podmínkách skladování (Bahram-Parvar 2015).

Atraktivní textura a reologie jsou rozhodujícími aspekty kvality zmrzliny. Úspěchu se dosahuje pečlivou manipulací se čtyřmi hlavními fázemi mikrostruktury zmrzliny: ledovými krystalky, vzduchovými bublinkami a tukovými kuličkami obsaženými ve viskózní tekuté matrici. Reologické vlastnosti zmrzliny se mění v každé fázi kontinuálního výrobního procesu. Po konci výrobního procesu je výsledkem mnohem tužší materiál se známou strukturou a reologií. Pro další navýšení kvality výrobku je však žádoucí znát reologii zmrzliny vytékající z freezeru. Zvláště významné jsou studie zabývající se vlivem velmi složité mikrostruktury na oscilační reologii zmrzliny (Martin et al. 2008).

Ke korelaci reologických vlastností s mikrostrukturou a kvalitativními charakteristikami zmrzliny se provádějí studie sledující reologické chování zmrzliny při nízkých deformačních amplitudách pro různé teplotní rozsahy odpovídající důležitým spotřebitelským vlastnostem zmrzliny. Výsledky ukazují, že mikrostruktura ledových krystalů určuje tuhost a „naběratenost“ zmrzliny při nízkých teplotách (-20 až -10 °C). Čím menší byla spojitost ledových krystalů, tím menší byly naměřené moduly skladovatelnosti a ztrátovosti. Mikrostruktura vzduchové a tukové fáze měla rovněž významný vliv na reologii a senzorickou „krémovitost“ zmrzliny, a to zejména v roztaveném stavu (0-10 °C). Se zvyšující se mírou přetažení vykazovala zmrzlina při teplotách vyšších než 0 °C rostoucí moduly skladovatelnosti a ztrát (Wildmoser et al. 2004).

Zda zmrzlina splňuje zákonné normy pro chemické složení se obvykle stanovuje několika metodami. Pomocí etherové extrační metody se zjišťuje obsah tuku, kdy dojde k odpaření organického rozpouštědla, zvážení extrahovaného tuku a přepočtu na procenta. Bílkoviny se stanovují Kjeldahlovou metodou, která zahrnuje rozklad vzorku koncentrovanou kyselinou sírovou, katalyzátorem a teplem. Poté pokračuje destilací a měřením obsahu dusíku ve vzorku titrací. Obsah dusíku se pak vynásobí specifickým koeficientem, a tím se získá hodnota bílkovin. Celkový obsah sušiny se stanovuje gravimetricky, kdy se do vysušené a zvážené misky naváží asi 3 g rozpuštěné zmrzliny. Vzorek se následně dá do sušárny, aby se odpařila veškerá voda, a to při teplotě 100 °C po dobu 3,5 h. Když miska se vzorkem vychladne, musí se znovu zvážit a poté se vypočítá procento celkové sušiny. Zkoušky celkové mléčné sušiny regulační orgány neprovádějí z důvodu složitosti zmrzlinových receptur (Marshall et al. 2003).

Za dynamických podmínek dochází při výrobě zmrzliny k částečnému mrznutí zmrzlinové směsi, které zahrnuje složité termodynamické a kinetické mechanismy, jako je přenos tepla, heterogenní nukleace, změny termofyzikálních vlastností a účinky zakřivení povrchu. Ke krystalizaci vody ve zmrzlinových směsích dochází při rovnovážné teplotě a je velmi ovlivněna schopností koligativních roztoků snižovat bod tuhnutí. K určení teplotní závislosti slouží dva parametry, kterými je počáteční bod mrznutí a podíl zmrzlé vody (Giudici et al. 2021).

Počáteční teplota tuhnutí zmrzlinové směsi poskytuje údaj o množství přítomných rozpuštěných látek, kterými jsou především cukry a mléčné soli. Hodnotu bodu tuhnutí lze stanovit v laboratoři pomocí kryoskopu, osmometru, nebo kalorimetru. Jeho hodnotu je také možné vypočítat se značnou přesností pomocí dříve zmíněných parametrů. Teplotu bodu tuhnutí je potřeba znát z důvodu konzistence zmrzliny při dané teplotě, která následně

ovlivňuje jednoduchost nabírání zmrzliny. Dalším pojmem, který s tímto souvisí je deprese bodu mrazu, což je rozdíl mezi 0 °C a teplotou, při které začne zmrzlinová směs mrznout (Goff & Hartel 2013).

Viskozita směsi

V procesu krystalizace zmrzliny je viskozita nejvíce vyvíjející se vlastností, jelikož se kapalina v důsledku výskytu ledových krystalků mění v polotuhou látku. Viskozita směsi se sleduje a hodnotí z důvodu sensorických vlastností při konzumaci zmrzliny. Bylo zjištěno, že přidáním stabilizátorů, které zabraňují růstu ledových krystalů, lze efektivně zvýšit viskozitu sérové fáze, což má pozitivní vliv na sensorické vlastnosti a texturu. Metody měření viskozity sérové fáze jsou bohužel omezené a viskozita směsi se často používá pouze jako přibližná hodnota. Tato hodnota vyplývá z předpokladu, že viskózní směsi mají za následek viskóznější sérové fáze (Amador et al. 2017; De la Cruz Martínez et al. 2020).

Dále bylo zjištěno, že zvýšení viskozity sérové fáze má za následek menší velikost vzduchových bublin. Pokud však dojde k překročení určité hodnoty a viskozita je až příliš vysoká, dochází k nárůstu velkých vzduchových bublin a proces jejich tvorby je zřejmě zpomalen. Viskozita sérové fáze je zároveň faktor, který významně zpomaluje rychlost tání (Porto 2011).

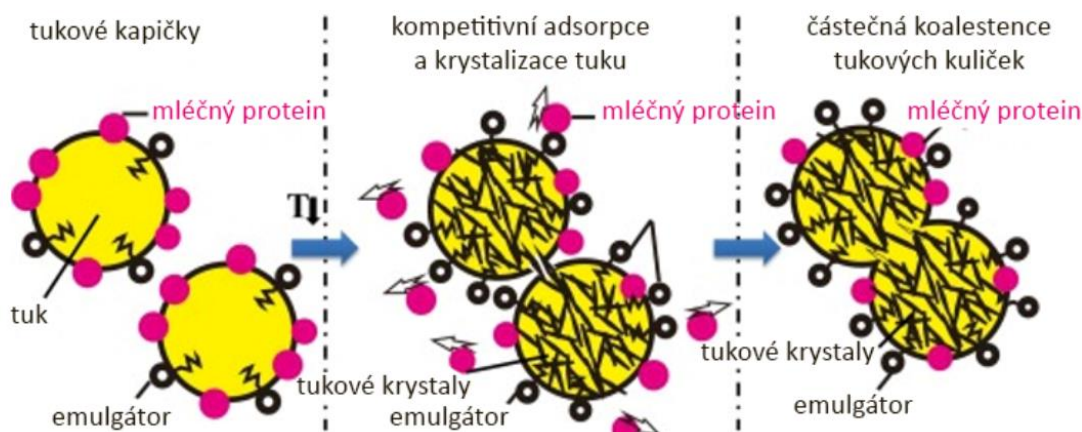
Destabilizace tuku

Zmrzlina má velmi komplexní tukovou fázi, která má rovněž vliv na fyzikální a sensorické vlastnosti výsledného produktu. Tukové kuličky mohou během procesu mražení zůstat neporušené, což znamená, že nedojde ke změně jejich velikosti nebo distribuci. Zároveň ale může dojít k tomu, že se tukové kuličky částečně spojí a vytvoří větší destabilizované shluky. K destabilizaci dochází ve freezeru při zmrazování pomocí vstříkovaného vzduchu, přičemž působí intenzivní smykové síly, které naruší strukturu tukových kuliček a následně dojde k jejich shlukování (Warren & Hartel 2018).

Shlukování tuku je výsledkem především tří různých mechanismů, kterými jsou agregace, částečná koalescence a koalescence. Agregace je spojená s tím, že se jednotlivé tukové kuličky slepují při srážkách způsobených smykovými silami při procesu mražení. Aby došlo ke koalescenci, tak je potřeba dosáhnout destabilizace tukových kuliček. Toho lze docílit přidáním emulgátorů, které vytěsňují bílkoviny na povrchu tukových kuliček. Emulgátory poté ovlivňují krystalizaci emulgovaného tuku a jeho další vlastnosti. Aby došlo k částečné koalescenci, musí krystaly tuku vystupovat z membrány tukových globulí a pronikat od jiných globulí. Proces destabilizace tuku během výroby mraženého krému je znázorněn na obr. 9 (Cheng et al. 2020; Liu et al. 2022).

Destabilizace tukových globulí je nezbytná pro dosažení požadované struktury a sensorických vlastností mraženého krému. Částečně koalescentní tuk hraje důležitou roli při stabilizaci mraženého krému, zejména pak vzduchových bublin a pěny. Bylo prokázáno, že destabilizovaný tuk má vliv na požadované parametry, jako je suchý vzhled, krémovitost a především chování zmrzliny při tání. Aby došlo k co nejvýznamnější destabilizaci tuku, je kromě přidání emulgátorů zapotřebí zajistit i nízkou teplotu a vyšší rychlost a objem

freezeru. Stupeň destabilizace tuku z hlediska velikosti agregátů a procentuálního podílu se měří technikou rozptylu světla (Koxholt et al. 2001; Liu et al. 2022).



Obrázek 9: Částečná koalescence tuku při výrobě zmrzliny

(Upraveno podle Cheng et al. 2020)

Překročení objemu

Jedná se o jednu z hlavních charakteristik mražených krémů, která je hodnocena regulačními orgány. Vzduch ve zmrzlině je důležitý pro zajištění lehké struktury, a také ovlivňuje fyzikální vlastnosti jako tání a tvrdost. Hodnota překročení udává hmotnost výrobku na jednotku objemu, která je ovlivněna množstvím vzduchu, který se do směsi vmíchá během mražení. Pokud dojde ke zdvojnásobení objemu, je dosaženo 100% překročení. Zmrzlina jsou děleny na několik skupin jako jsou superprémiové, prémiové, běžné a ekonomické. Nášleh u superprémiových zmrzlin může být až 20 %, zatímco u ekonomických zmrzlin se běžně pohybuje na maximální hranici 100 % (Marshall et al. 2003; Sofjan & Hartel 2004).

Hodnotu překročení objemu lze vypočítat jednoduchým procentuálním stanovením, při kterém se podíl, o který byl objem zvětšen vynásobí stokrát, a tím se získá finální procentuální údaj. Základní překročení se vypočítá pomocí hmotnosti daného objemu zmrzliny v porovnání s hmotností stejného objemu směsi:

$$\% = \frac{\text{hmotnost konkrétního objemu směsi} - \text{hmotnost stejného objemu zmrzliny}}{\text{hmotnost stejného objemu zmrzliny}} * 100$$

(Tharp & Young 2013)

Velikost vzduchových bublin a ledových krystalů

Vzduchové bubliny a ledové krystaly patří mezi hlavní strukturní prvky zmrzliny, které se tvoří během dynamického procesu mražení. K následným změnám dochází především při manipulaci a skladování. Velikost vzduchových bublin má vliv na rychlost tání zmrzliny, přičemž menší vzduchové bubliny pravděpodobně přispívají k pomalejší rychlosti tání. Vzduchové bubliny jsou nejprve ve formě velkých celků, které jsou postupně zmenšovány vlivem síly působící na rotující lopatky freezeru (Warren & Hartel 2018; VanWees et al. 2019).

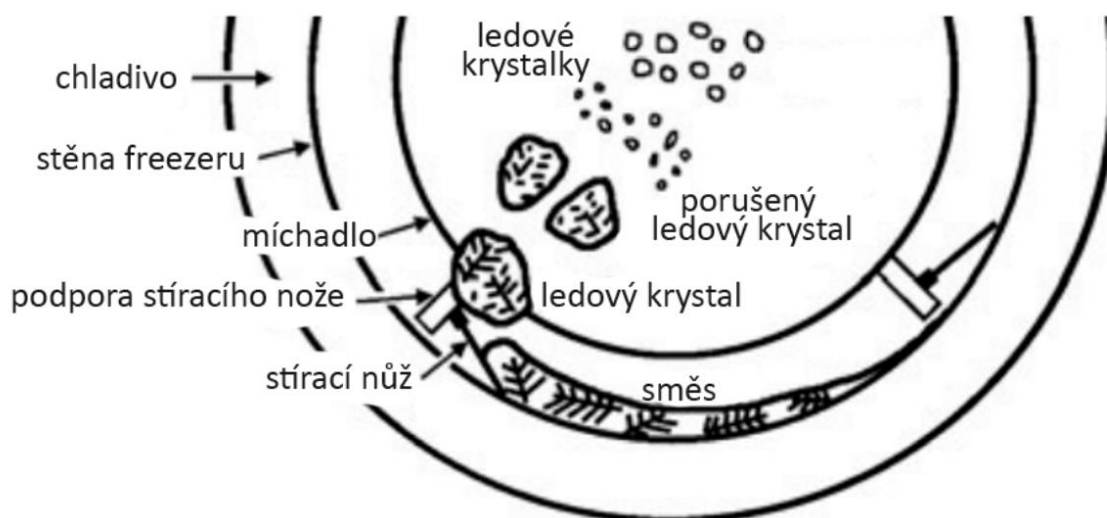
Vzhledem k tomu, že se při zmenšování vzduchových bublin vytváří nový povrch, musí být nějak stabilizovány, aby se zabránilo jejich koalesenci. Předpokládá se, že částečně

koalescentní tuk, který tvoří síť uprostřed séra od sebe odděluje vzduchové bubliny a zabraňuje jejich opětovnému spojení. Dále se pravděpodobnost koalescence snižuje s teplotou v důsledku zvýšené viskozity séra, což ale neplatí během posledních fází skladování a dochází tak k tvorbě nepravidelně tvarovaných vzduchových bublin (Sofjan & Hartel 2004).

Vliv na velikost vzduchových bublin a jejich množství má také doba, po kterou je směs ponechána ve stroji během mražení. Delší doba vede ke vzniku menších vzduchových bublin a zároveň k vyššímu překročení objemu. Tato doba ale ovlivňuje i velikost ledových krystalů, které se s delším setrváním ve freezeru zvětšují. Proto se při rozhodování o rezidenčním čase musí počítat s konkurenčními jevy. Ke zjištění velikosti vzduchových bublin a ledových krystalů se používá světelný mikroskop, kdy se vzorek nejdříve temperuje a mikroskop poté pořizuje snímky, které jsou vyhodnoceny speciálními programy. Vznik a vliv ledových krystalů na kvalitu finálního produktu je popsán v následujících odstavcích (Porto 2011; Wu et al. 2019).

Krystalizace. Krystalizace vody je důležitým faktorem, který určuje konečnou kvalitu zmrzlin. Čím menší je velikost krystalů ledu v konečném výrobku, tím lepší je jeho kvalita, jelikož zmrzlině společně s tukem dodávají krémovitost. Velké ledové krystaly způsobují hrubou, zrnitou a ledovou strukturu zmrzliny. Ledové krystaly se začínají tvořit ve freezeru během tuhnutí a při skladování dochází k jejich zvětšení. Na velikost krystalů má vliv průběh zmrazování, kdy dochází nejdříve ke vzniku krystalů u stěny freezeru a potom k postupnému přenosu chladu do středu, kde se některé krystaly rozpuštějí, zatímco jiné rostou. Za normálních okolností se vytvářejí dendritické (stromovité) a jehlicovité krystaly. Obecně lze říci, že při rychlém zmrazování vznikají vláknité krystaly, zatímco pomalé zmrazování umožňuje rovnoměrný růst do hladších tvarů (Masuda et al. 2023).

Bod mrznutí směsi je rozhodující pro výrobu přijatelného výrobku. Výrobky jako je zmrzlina, musí mít dostatečně nízký bod mrznutí, aby umožnil dostatečnou tvorbu malých ledových krystalů. Když je dosaženo bodu mrazu vody, tak se začne měnit na ledové krystaly, a tím se zvýší koncentrace cukrů a dalších rozpuštěných látek přítomných ve směsi. Zvýšená koncentrace těchto látek dále snižuje bod tuhnutí, a proto je nutný další pokles teploty, aby se vytvořilo více ledových krystalů. Když se koncentrace látek stanou velmi vysokými, tak se proces krystalizace ledu zastaví a část vody zůstane nezmrzlá (10-15 %). Proces krystalizace vody při výrobě zmrzliny je zobrazen na obrázku č.10 (Adapa et al. 2000; Cook & Hartel 2010).



Obrázek 10: Krystalizace vody při výrobě zmrzliny

(Upraveno podle Cook & Hartel 2010)

Rekrystalizace. Rekrystalizace je proces, při kterém dochází ke změně vlastností ledových krystalů jako je tvar, velikost, počet, orientace a dokonalost. Hlavním principem tedy je, že během skladování dochází k vytváření větších stabilnějších krystalů na povrchu produktu vlivem kolísání teploty. To má za následek zmenšování povrchové volné energie hrubé krystalové soustavy. Větší krystaly ledu mohou působit další poškození struktury produktu (Zhu et al. 2019).

Zmrzlina je výrobek extrémně citlivý na teplotu, a proto jsou kolísáním teplot velmi ovlivněny její fyzikální vlastnosti, jak již bylo zmíněno dříve. Teplotní výkyvy (tepelný šok) jsou zodpovědné za zvýšení migrační rekrystalizace z pohybu vody z jednoho krystalu na druhý, což stimuluje růst velkých ledových krystalů a mizení malých ledových krystalů, čímž se zmenšuje plocha povrchu krystalů a v důsledku toho i volný povrch ledových krystalů. Nežádoucí hrubou texturu zmrzliny mohou způsobit krystaly o velikosti větší než 50 μm . Bylo provedeno mnoho výzkumů, aby bylo dokázáno, že na kvalitu zmrzliny má velký vliv skladovací teplota. Proto je nutné udržovat skladovací teplotu na nízké a konstantní úrovni, aby se zabránilo rekrystalizaci. Dalším velmi účinným způsobem pro zpomalení rekrystalizace je přidání stabilizátorů, které zvyšují viskozitu nezmrazené sérové fáze (Shargawy & Goff 2022).

Během skladování dochází k difúzi nezmrazené vody ze sérové fáze na povrch krystalů, a tím se zvyšuje růst a rekrystalizace ledu. Rekrystalizace většinou probíhá dvěma nejčastějšími mechanismy, a to akrecí a migrací. Akrece je spojení dvou nebo více sousedních krystalů do jednoho. Tento proces vyžaduje, aby se krystaly ledu nacházely v těsné blízkosti, protože se nepohybují. Pojem migrace zahrnuje tání menších krystalů a pohyb roztavené kapaliny k povrchu větších krystalů. Tento mechanismus je ovlivněn teplotou uvnitř výrobku. Čím nižší je teplota zmrazení, tím pomalejší je rychlost migrace molekul vody. Pokud je teplota dostatečně nízká, je pro molekuly vody velmi obtížné shlukovat se do velkých krystalů ledu. Mírné zvýšení teploty způsobuje tání malých krystalků ledu. Po následovném snížení teploty se roztavené krystalky ledu znovu shlukují ve velké ledové krystaly, které jsou větší

než původní krystaly. Lze tedy říci, že velikost a četnost teplotních výkyvů vede ke zvětšení ekvivalentního průměru ledových krystalů (Adapa et al. 2000; Zhu et al. 2019).

Rychlost tání

Tání je jednou z nejdůležitějších vlastností zmrzliny nejen pro spotřebu a přepravu, ale také pro výzkum. Slouží k předvídání některých fyzikálních vlastností, jako je zachování tvaru při tání, nebo k porovnání vlivu různých složení a podmínek zpracování na mikrostrukturu. Výzkum se provádí tak, že se plátek zmrzliny umístí na drátěnou síť a nechá se dostatečně dlouho tát (Wu et al. 2019).

Při této zkoušce se získá typická křivka tání, na které je možné pozorovat tři fáze chování zmrzliny, a to fázi zpoždění, fázi rychlého tání a stacionární fázi. Fáze zpoždění značí dobu, kdy dojde ke kápnutí první kapky a udává se v minutách. Jde o rychlost pronikání tepla do zmrzliny, které způsobuje tání ledových krystalků. Následně dojde ke snížení viskozity, které způsobí přechod do druhé fáze. V této fázi zmrzlina prokápává drátěným sítím maximální rychlostí. Ke zpomalení a nástupu stacionární fáze dojde, když se navzájem srážejí tukové kuličky a vzduchové bubliny a tvoří trojrozměrnou síť (Wu et al. 2019; Liu 2024).

Rychlost průniku tepla do směsi závisí na mikrostrukturních prvcích. Obecně lze říci, že zmrzliny s vysokým náslehem mají tendenci tát pomaleji, protože vzduch funguje jako izolant. Naopak led je dobrým vodičem tepla, což naznačuje, že produkty s vysokým obsahem ledu tají rychleji. Při tání se led rozpuští na čistou vodu, která difunduje do séra a zředuje kontinuální fázi, což urychluje odtok séra přes zbývající struktury, a tím pádem i rychlost tání (Muse & Hartel 2004; Warren & Hartel 2018).

Tvrdot

Tvrdot zmrzliny je hodnocena při typických teplotách, při kterých je podávána spotřebiteli. Je ovlivněna třemi faktory a to bodem tání, celkovým obsahem pevných látek, a také hodnotou náslehu a typem a množstvím stabilizátoru. Výběr typu a množství stabilizátoru je ovlivněn nejen tvrdostí, ale především nutností upravit charakteristiky ledu a vody tak, aby se zvýšila doba použitelnosti produktu. V případě, že zmrzlinářská prodejna uchovává v jednom mrazicím boxu více druhů zmrzliny, každou v samostatné nádobě určené k nabírání, je možné nastavit pouze jednu teplotu. Je proto důležité, aby bod tání všech příchutí zmrzliny byl co nejvíce podobný. Vzhledem k rozdílným recepturám, které ovlivňují koncentraci rozpuštěných látek a tím pádem i bod tání, je velmi obtížné toho dosáhnout (Marshall et al. 2003; Goff & Hartel 2013).

Zjistit hodnotu tvrdosti lze pomocí penetrometru nebo vpichovací sondy. Oba přístroje pracují jako analyzátoři textury a zaznamenávají údaje o síle deformace. U sondy se také měří odpor proti pronikání sondy do zmrzliny, a to u zmrzliny, která má přesně danou teplotu. Po následném porovnání s referenční křivkou se zhodnotí, zda je potřeba upravit složení (Marshall et al. 2003, Goff & Hartel 2013).

3.5 HACCP

Systém HACCP (Hazard Analysis and Critical Control Points) lze v dnešní době použít jako synonymum pro hygienické zabezpečení potravin. Jedná se o mezinárodně uznávanou metodu, která slouží k předvídání, identifikaci, prevenci a kontrole biologických, chemických a fyzikálních rizik ve výrobním procesu potravin. Systém HACCP je možné uplatnit v celém spektru potravinářského průmyslu, pokud jednotlivá odvětví dodržují zásady správné výrobní praxe a obecné zásady hygieny potravin, které jsou popsány v Codex Alimentarius (Panfiloiu et al. 2010; Moahmmady et al. 2019).

Narižení (ES) č. 852/2004 o hygieně potravin vyžaduje, aby provozovatelé potravinářských podniků identifikovali kritické body v procesech výroby, přípravy, skladování, přepravy a distribuce pokrmů. Jejich úkolem je tyto body pravidelně monitorovat, zaznamenávat výsledky kontrol a analyzovat je. Tento přístup, založený na principu správné výrobní praxe a dodržování hygienických norem, má preventivní charakter a zaměřuje se na včasnou detekci potenciálních hrozeb, aby se zabránilo riziku ohrožující zdraví spotřebitelů (Hygienická stanice hlavního města Prahy 2021).

Pro zavedení systému HACCP je potřeba splňovat sedm hlavních zásad, kterými jsou:

- 1) Analýza nebezpečí a seznam preventivních opatření;
- 2) Určení kritických kontrolních bodů;
- 3) Stanovení limitů pro kritické body, které nelze překročit;
- 4) Zavedení monitorovacího systému;
- 5) Stanovení preventivních a kontrolních opatření;
- 6) Stanovení postupů pro zápis;
- 7) Ověřování systému.

(Rosak-Szyrocka & Abbase 2020).

Navzdory velkému pokroku v systému HACCP nadále dochází k případům onemocnění z potravin, kontaminaci nebo k nutnosti stahovat potraviny z trhu. Je nutné říci, že tento systém není univerzálním řešením a i přes jeho pečlivé uplatňování nemůže předcházet všem možným problémům. K selhání může dojít kvůli úmyslným činům nebo při objevení nových rizik. Správné pochopení a aplikace systému HACCP jsou pro potravinářský podnik klíčové. Pro jeho fungování je důležité mít dostatečné zdroje a infrastrukturu pro pravidelnou revizi a aktualizaci systému (Motarjemi & Lelieveld 2014).

3.5.1 Uplatnění systému HACCP při výrobě mražených krémů

Systém HACCP je tvořen pro jednotlivé podniky, aby byla vyhodnocena rizika přímo vyplývající z daného provozu. Dále jsou kladeny rozdílné nároky na točenou nebo kopečkovou zmrzlinu, kde dále záleží na druhu (smetanová, sorbet apod.). Obecně lze však shrnout, že výrobci musí pro zavedení systému zajistit, aby se nejednalo pouze o jejich výrobek, ale aby byl v systému zahrnut nákup surovin, výrobní postupy, distribuce, prodej a koneční spotřebitelé (Bašić et al. 2005).

Každý výrobek prochází individuální analýzou, která se týká složení, konkrétních složek a pravděpodobných procesů, které mohou za určitých podmínek probíhat. Hodnotí se klíčové procesní technologie (homogenizace, pasterizace, mražení), používané materiály, fyzické kontaminanty (skořápky ořechů, kovy) a chemické látky (alergeny, migrace látek z obalů, přídatné látky). Dále je třeba zvážit klíčová nebezpečí, kdy u mražených krémů je největší riziko mikrobiologické. Kontrolní opatření zahrnují především zajištění kvality dodavatele, kroky řízení procesu, prevenci křížové kontaminace, řízení teploty a označování. Příklad systému HACCP je zobrazen na tabulce č.5 (Mortimore & Wallace 2012; Am et al. 2013).

Tabulka 5: HACCP plán pro výrobní linku zmrzliny

CCP (kritické kontrolní body)	Nebezpečí	Kontrolní opatření	Kritické limity	Monitorovací procedury	Nápravná opatření	Ověření
Pasterizace	Přežití patogenů (<i>Bacillus cereus</i> , <i>Listeria monocytogenes</i> , <i>Salmonella</i> spp. atd.)	Správná pasterizace pro zničení vegetativních forem patogenů	Teplota nastavena na 80 °C/25 sekund	Kontrola teploměru a času Kontrola vybavení Záznamy teploměru	Pokud směs nesplňuje kritické limity, musí být znovu pasterizována	Kontrola záznamů
Zrání	Kontaminace	Rychlé zchlazení směsi pod 4 °C a její udržení, aby nemohly růst patogeny	<4 °C	Záznam z teploměru	Vyřazení nebo znovu pasterizace směsi	Kontrola záznamů
Označení	Alergenní složky	Označování dle instrukcí	Kompletní instrukce na etiketě	Vizuálně zkontrolováno personálem jako správné označení	Pokud byla zmrzlina zabalena a označena špatně, musí být vyhozena	Záznamy na etiketě Kontrola instrukcí a zákaznické stížnosti

(Upraveno podle Am et al. 2013)

4 Závěr

Cílem této bakalářské práce týkající se mražených krémů, bylo zaměřit se na kvalitativní parametry, složení, výrobní proces, skladování a distribuci a následné hodnocení mražených krémů. Dále se práce zabývala legislativními požadavky na jakost dle vyhlášky č. 397/2016 Sb., o požadavcích na mléko a mléčné výrobky, mražené krémy a jedlé tuky a oleje. Práce zahrnovala i bližší seznámení s riziky spojenými s celým výrobním procesem.

Určení kvalitativních parametrů mražených krémů bylo těžce dohledatelné, jelikož se jedná o velice komplexní potravinové systémy a studie se často zabývaly rozdílnými parametry. Proto je tato práce zaměřená na nejčastější zkoumané vlastnosti, které ovlivňují kvalitu. Jelikož se práce zabývala mraženými krémy s mléčným základem, byla velká část práce věnována popisu mléka a obsahu mléčných složek, které výsledné produkty musí obsahovat, aby splňovaly legislativní požadavky. Ukázalo se, že největší vliv na kvalitu konečného produktu má celkové složení směsi a mikrostruktura, která se mění během výrobního procesu. Všechny výzkumy zaměřené na mražené krémy, které byly doposud prováděny, se zaměřovaly a přizpůsobovaly především požadavkům na kvalitu od spotřebitelů.

Bylo zjištěno, že nejdůležitější je výběr surovin, správně zpracovaná receptura a dodržení technologického procesu při výrobě, při kterém dochází ke změnám mikrostruktury. Ke změnám mikrostruktury dochází vlivem působení rozdílných teplot a mechanického zacházení. Dodržování technologického procesu určuje výslednou jemnost, krémovost a jiné senzorycké i fyzikální požadavky, které jsou od mraženého krému očekávány.

Kvalita byla posouzena i na základě senzoryckého, mikrobiologického, fyzikálního a chemického hodnocení. Z pohledu spotřebitelů je vnímání organoleptických vlastností mražených krémů rozhodující, proto se práce soustředila na senzorycké hodnocení a možný vznik vad a odchylek a určení příčin. Senzorycké hodnocení ukázalo, že požadované texturní i chuťové vlastnosti jsou výsledkem použitých surovin a zpracování. Stejný závěr lze vyvodit i u fyzikálního a chemického hodnocení, kdy byla hodnocena například viskozita směsi, destabilizace tuku, rychlost tání a tvrdost. U všech těchto parametrů se ukázalo, že jsou ovlivňovány surovinami a mění se mikrostrukturou během výroby.

Významný kritický bod při výrobě mražených krémů je mikrobiologické riziko, ačkoliv mražené krémy na první dojem působí, že jsou nepříznivým prostředím pro výskyt mikroorganismů. Na rozdíl od jiných kvalitativních parametrů, mohou mikroorganismy způsobit kažení produktu, a zároveň ohrozit zdraví spotřebitele. Bylo zjištěno, že k mikrobiologické kontaminaci může dojít při chybném ošetření vstupních surovin, jejich skladování, manipulaci a při nedodržování hygieny.

5 Literatura

- Adapa S, Schmidt KA, Jeon IJ, Herald TJ, Flores RA. 2000. MECHANISMS OF ICE CRYSTALLIZATION AND RECRYSTALLIZATION IN ICE CREAM: A REVIEW. *Food Reviews International* **16**:259-271.
- Agropress. 2023. Mlezivo – to co každý chov potřebuje. Available from <https://www.agropress.cz/mlezivo-skotu/> (accessed April 2024).
- Am S, Efa L, Sm D. 2013. Evaluation of microbiological safety of an ice cream production line after HACCP implementation. *International Journal of Biology, Pharmacy and Allied Sciences* **2**: 2192-2203.
- Amador J, Hartel RW, Rankin S. 2017. The Effects of Fat Structures and Ice Cream Mix Viscosity on Physical and Sensory Properties of Ice Cream. *Journal of Food Science*. DOI: 10.1111/1750-3841.13780.
- Aung MM, Chang YS. 2014. Traceability in a food supply chain: Safety and quality perspectives. *Food Control* **39**:172-184.
- Bahram-Parvar M, Razavi SMA, Khodaparast MHH. 2010. Rheological Characterization and Sensory Evaluation of a Typical Soft Ice Cream Made with Selected Food Hydrocolloids. *Food Science and Technology International* **16**:79-88.
- Bahram-Parvar M, Tehrani MM. 2011. Application and Functions of Stabilizers in Ice Cream. *Food Reviews International* **27**:389-407.
- Bahram-Parvar M. 2015. A review of modern instrumental techniques for measurements of ice cream characteristics. *Food Chemistry* **188**:625-631.
- Bašić M, Vilušić M, Ahmetašević E. 2005. Primjena HACCP sustava u proizvodnji sladoleda. *Mljekarstvo* **55**:51-60.
- Belitz HD, Grosch W, Schieberle P. 2009. *Food Chemistry*. Springer Berlin, Heidelberg, Germany.
- Benešová O, Dupal L, Michalová I. 2017. Mražené krémy, edice Jak poznáme kvalitu?. Sdružení českých spotřebitelů, z. ú., a Potravinářská komora ČR.
- Bevilacqua A, Corbo MR, Sinigaglia M. 2017. *The Microbiological Quality of Food: Foodborne Spoilers*. Woodhead Publishing is an imprint of Elsevier, United Kingdom.
- Bezpečnost potravin. 2013. Mléko. Informační centrum bezpečnosti potravin, Ministerstvo zemědělství, Těšnov. Available from <https://bezpecnostpotravin.cz/termin/mleko/> (accessed November 2023).
- Bezpečnost potravin. Nedatováno. Invertní cukr. Informační centrum bezpečnosti potravin, Ministerstvo zemědělství, Těšnov. Available from <https://bezpecnostpotravin.cz/termin/invertni-cukr/> (accessed April 2024).
- Bylund G. 1995. *Dairy processing handbook*. Tetra Pak Processing Systems AB, Lund, Sweden.
- Clark S, Jung S, Lamsal B. 2014. *Food Processing: Principles and Applications (2)*. Wiley-Blackwell, USA.
- Clarke Ch. 2012. *The Science of Ice Cream*. Royal Society of Chemistry (2). RSC Publishing, Colworth Science Park, Bedford, UK.

- Cook KLK, Hartel RW. 2010. Mechanisms of Ice Crystallization in Ice Cream Production. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety* **9**:213-222.
- De la Cruz Martínez A, Portales Delgado RE, Pérez Martínez JD, González Ramírez JE, Villalobos Lara AD, Borrás Enríquez AJ, Moscosa Santillán. 2020. Estimation of Ice Cream Mixture Viscosity during Batch Crystallization in a Scraped Surface Heat Exchanger. *Processes*. DOI: 10.3390/pr8020167.
- Deosarkar SS, Khedkar CD, Kalyankar SD, Sarode AR. 2016. Ice Cream: Uses and Method of Manufacture. *Encyclopedia of Food and Health*. DOI:10.1016/B978-0-12-384947-2.00384-6.
- Fox PF, McSweeney PLH. 2006. *Advanced Dairy Chemistry Volume 2 (3)*. Springer Science + Business Media, Inc., USA.
- Garti N, Sato K. 2001. *Crystallization processes in fat and lipid systems*. CRC Press, Boca Raton.
- Giudici P, Baiano A, Chiari P, De Vero L, Ghanbarzadeh B, Falcone PM. 2021. A Mathematical Modeling of Freezing Process in the Batch Production of Ice Cream. *Foods*. DOI: 10.3390/foods10020334.
- Goff HD, Hartel RW. 2013. *Ice Cream: Seventh edition*. Springer Science + Business Media, New York.
- Goff HD. 1997. Colloidal aspects of ice cream. *International Dairy Journal* **7**:363-373.
- Goff HD. 2002. Formation and stabilization of structure in ice cream and related products. *Current Opinion in Colloid and Interface Science* **7**:432-437.
- Homayouni A, Javadi Z, Ansari F, Pourjafar H, Jafarzadeh M, Barzegar A. 2018. Advanced Methods in Ice Cream Analysis: a Review. *Food Analytical Methods*. DOI: 10.1007/s12161-018-1292-0.
- Hull P. 2010. *Glucose Syrups: Technology and Applications*. Wiley-Blackwell, Singapore.
- Hygienická stanice hlavního města Prahy. 2021. Co je to HACCP? A jak rozsáhlá příručka musí být? Available from <https://www.hygp Praha.cz/co-je-to-haccp-a-jak-rozsahla-prirucka-musi-byt/> (accessed March 2024).
- Chandan RC, Kilara A, Shah NP. 2016. *Dairy Processing & Quality Assurance (2)*. Wiley-Blackwell, USA.
- Cheng J, Dudu OE, Li X, Yan T. 2020. Effect of emulsifier-fat interactions and interfacial competitive adsorption of emulsifiers with proteins on fat crystallization and stability of whipped-frozen emulsions. *Food Hydrocolloids*. DOI: 10.1016/j.foodhyd.2019.105491.
- Cheung PCK, Mehta BM. 2015. *Handbook of Food Chemistry*. Springer Berlin, Heidelberg, Germany.
- Jana A, Pinto S, Moorthy PRS. 2016. *Ice Cream & Frozen Desserts*. Agrimoon, India.
- Karaman AD, Özer B, Pascall MA, Alvarez V. 2015. Recent Advances in Dairy Packaging. *Food Reviews International* **31**:295-318.
- Kilara A, Vaghela MN. 2018. *Proteins in Food Processing (2)*. Woodhead Publishing Series in Food Science, Technology and Nutrition, United States.
- Koxholt MMR, Eisenmann B, Hinrichs J. 2001. Effect of the Fat Globule Sizes on the Meltdown of Ice Cream. *Journal of Dairy Science* **84**:31-37.

- Lawless HT, Heymann H. 2010. *Sensory evaluation of Food Principles and Practices* (2). Springer, New York.
- Leducq D, Ndoye FT, Alvarez G. 2015. Phase change material for the thermal protection of ice cream during storage and transportation. *International Journal of Refrigeration* **52**:133-139.
- Legassa O. 2020. Ice Cream Nutrition and Its Health Impacts. *International Journal of Food and Nutritional Science* **7**:19-27.
- Liu X, Sala G, Scholten E. 2022. Effect of fat aggregate size and percentage on the melting properties of ice cream. *Food Research International*. DOI: 10.1016/j.foodres.2022.111709.
- Liu X. 2024. Fat replacing strategies for full-fat ice cream: Role of fat, polysaccharide structure and protein dispersibility [DSc. Thesis]. Wageningen University, the Netherlands.
- Loffredi E, Moriano ME, Masseroni L, Alamprese C. 2021. Effects of different emulsifier substitutes on artisanal ice cream quality. *LWT – Food Science and Technology*. DOI: 10.1016/j.lwt.2020.110499.
- Marshall RT, Goff HD, Hartel RW. 2003. *Ice Cream*. Kluwer Academic/Plenum Publishers, New York.
- Martin PJ, Odic KN, Rusell AB, Burns IW, Wilson DI. 2008. Rheology of Commercial and Model Ice Creams. *Applied Rheology*. DOI:10.1515/arh-2008-0002.
- Masuda H, Sawano M, Iyota H, Shimoyamada M. 2023. Kinetics of size change in air bubble and fat globule during ice cream freezing process. *Journal of Food Process Engineering*. Volume. DOI: 10.1111/jfpe.14420.
- Ministerstvo zemědělství. 2016. Vyhláška č. 397/2016 Sb., o požadavcích na mléko a mléčné výrobky, mražené krémy a jedlé tuky a oleje. Available from <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2016-397> (accessed September 2023).
- Moahmmady M, Wahid AA, Hashem AAM. 2019. Food safety system application during production of ice cream. *Bulletin of the National Nutrition Institute of the Arab Republic of Egypt* **53**:23-40.
- Mortimore S, Wallace C. 2012. *HACCP: A Practical Approach* (3). Springer, Boston.
- Motarjemi Y, Lelieveld H. 2014. *Food Safety Management: A Practical Guide for the Food Industry*. Academic Press, USA.
- Muse MR, Hartel RW. 2004. Ice cream structural elements that affect melting rate and hardness. *Journal of Dairy Science* **87**:1-10.
- Özer B, Akdemir-Evrendilek G. 2014. *Dairy Microbiology and Biochemistry Recent Developments*. CRC Press, Boca Raton.
- Pal M, Tesfaye S, Weldegebriel S. 2012. Hygienic and Microbiological aspects of Ice Cream. *Beverage & Food World* **39**:42-43.
- Panfiloiu M, Firezak M, Perju DM, Simion G. 2010. QUALITY CONTROL OF ICE-CREAM PRODUCTS USING THE HACCP METHOD. *Banat's Journal of Biotechnology*. Available from <http://dse.usab-tm.ro/en/bjb.html> (accessed March 2024).

- Pavel Gregor. 2023. Zmrzliny rostou od května od srpna. Available from https://www.zboziaprodej.cz/wp-content/uploads/2023/05/C017-23_ZaP300_jednostrany.pdf (accessed March 2024).
- Pereira PC. 2014. Milk nutritional composition and its role in human health. *Nutrition* **30**: 619-627.
- Porto Ruben. 2011. Ice Cream Science. Porto Ruben. Available from <https://icecreamsceince.com> (accessed June 2023)
- Potravinářská komora České republiky. 2021. Mléko a mléčné výrobky: rozdíly a souvislosti s výrobky rostlinnými. Česká technologická platforma pro potravinu, Praha.
- Reinhold C, Schweiggert RM. 2016. Handbook on Natural Pigments in Food and Beverages. Woodhead Publishing Series in Food Science, Technology and Nutrition, United States.
- Rizzo G, Norton JE, Norton IT. 2015. Emulsifier effects on fat crystallization. *Food Structure* **4**:27-33.
- Robinson RK. 2002. Dairy Microbiology Handbook, Third Edition. Wiley-Interscience A John Wiley and Sons, Inc., New York.
- Romulo A, Meindrawan B, Marpietylie. 2021. Effect of Dairy and Non-Dairy Ingredients on the Physical Characteristic of Ice Cream: A Review. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. DOI:10.1088/1755-1315/794/1/012145.
- Rosak-Szyrocka J, Abbase AA. 2020. Quality management and safety of food in HACCP system aspect. *Production Engineering Archives* **26**:50-53.
- Sharqawy MH, Goff HD. 2022. Effect of temperature variation on ice cream recrystallization during freezer defrost cycles. *Journal of Food Engineering*. DOI: 10.1016/j.jfoodeng.2022.111188.
- Sofjan RP, Hartel RW. 2004. Effects of overrun on structural and physical characteristics of ice cream. *International Dairy Journal* **14**:255-262.
- Soukoulis Ch, Chandrinou I, Tzia C. 2008. Study of the functionality of selected hydrocolloids and their blends with kappa-carrageenan on the storage quality of vanilla ice cream. *LWT - Food Science and Technology* **41**: 1816-1827.
- Státní zemědělská a potravinářská inspekce. 2016. Slovníček pojmů. Ministerstvo zemědělství, Available from <https://www.szpi.gov.cz/clanek/slovnicek-pojmu.aspx> (accessed February 2024).
- Státní zemědělská a potravinářská inspekce. 2018. Balené zmrzliny, mražené krémy. Available from <https://www.szpi.gov.cz/docDetail.aspx?docid=1000200&docType=ART&nid=11327> (accessed August 2023).
- Syed QA, Anwar S, Shukat R, Zahoor T. 2018. Effects of different ingredients on texture of ice cream. *Journal of Nutritional Health & Food Engineering* **8**:422-435.
- Tharp BW, Young LS. 2013. Tharp & Young on Ice Cream: An Encyclopedic Guide to Ice Cream Science and Technology. DEStech Publications, Inc., USA.
- Thompson A, Boland M, Singh H. 2009. Milk Proteins From Expression to Food. Academic Press is an imprint of Elsevier, USA.
- Tsevdou M, Gogou E, Dermesonluoglu E, Taoukis P. 2015. Modelling the effect of storage temperature on the viscoelastic properties and quality of ice cream. *Journal of Food Engineering* **148**:35-42.

- Underbelly. 2016. Ice Cream Emulsifiers. Posted in Blog, Ice Cream, Original Research. Available from <https://under-belly.org/ice-cream-emulsifiers/> (accessed February 2024).
- VanWees SR, Rankin SA, Hartel RW. 2019. The microstructural, melting, rheological, and sensorial properties of high-overrun frozen desserts. *Journal of Texture Studies* **51**:92-100.
- Walstra P, Wouters JTM, Geurts TJ. 2005. *Dairy science and Technology* (2). CRC Press, Boca Raton.
- Warren MM, Hartel RW. 2018. Effects of Emulsifier, Overrun and Dasher Speed on Ice Cream Microstructure and Melting Properties. *Journal of Food Science* **83**:639-647.
- Weir C, Weir R. 2010. *Ice Creams, Sorbets & Gelati: The Definitive Guide*. London.
- Wildmoser H, Schewiller J, Windhab E. 2004. Impact of disperse microstructure on rheology and quality aspects of ice cream. *LWT- Food Science and Technology* **37**:881-891.
- Wu B, O Freire D, Hartel RW. 2019. The Effect of Overrun, Fat Destabilization, and Ice Cream Mix Viscosity on Entire Meltdown Behavior. *Journal of Food Science* **84**:2562-2571.
- Zhu Z, Zhou Q, Sun DW. 2019. Measuring and controlling ice crystallization in frozen foods: A review of recent developments. *Trends in Food Science & Technology* **90**:13-25.
- Ziyaina M, Rasco B, Sablani S. 2020. Rapid methods of microbial detection in dairy products. *Food Control*. DOI: 10.1016/j.foodcont.2019.107008.

6 Seznam obrázků a tabulek

Seznam obrázků

Obrázek 1: Struktura mraženého krému	9
Obrázek 2: Struktura mléka při různém rozlišení.....	14
Obrázek 3: Molekula sacharózy	18
Obrázek 4: Molekula D-glukózy (dextróza).....	19
Obrázek 5: Molekula fruktózy	19
Obrázek 6: Molekula laktózy.....	20
Obrázek 7: Struktura tuku po přidání emulgátoru	23
Obrázek 8: Schéma zpracování zmrzliny včetně teplotního profilu.....	25
Obrázek 9: Částečná koalescence tuku při výrobě zmrzliny	37
Obrázek 10: Krystalizace vody při výrobě zmrzliny	39

Seznam tabulek

Tabulka 1: Fyzikální a chemické požadavky na jakost mražených krémů	12
Tabulka 2: Členění mražených krémů na druhy, skupiny a podskupiny.....	12
Tabulka 3: Obsah hlavních složek kravského mléka	15
Tabulka 4: Vady sledované při senzoričtém hodnocení	32
Tabulka 5: HACCP plán pro výrobní linku zmrzliny.....	43