

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů

Katedra kvality zemědělských produktů



Pěnotvorné vlastnosti mléka

Bakalářská práce

Autor práce: Pavla Křečková

Vedoucí práce: Ing. Miroslava Potůčková

© 2015 ČZU v Praze

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci Pěnotvorné vlastnosti mléka 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 neporušila autorská práva třetích osob.

V Praze dne 15. 4. 2015

Poděkování

Ráda bych touto cestou poděkovala Ing. Miroslavě Potůčkové za odborné vedení, za pomoc a cenné rady při zpracování této bakalářské práce.

Pěnotvorné vlastnosti mléka

Souhrn

Pěnotvorné vlastnosti mléka se staly předmětem studia převážně v polovině 20. století, kdy v mlékárenském průmyslu došlo k expanzi vakuově sušeného mléka. V průběhu zpracování mléka může docházet k jeho pění, které je nežádoucí, neboť snižuje účinnost jednotlivých procesů a může poškodit výrobní zařízení. Tento jev vzniká například při odstředování, odpařování, výtoku mléka z čerpadla a trubek nebo při rekonstituci sušeného mléka. V dnešní době dochází k opětovnému studiu pěnotvorných vlastností mléka z důvodu rostoucí poptávky po nápojích tzv. „cappuccinového“ typu. Kvalita těchto produktů značně závisí na pěnívosti mléka a stabilitě vytvořené pěny.

Cílem této práce bylo shrnout současný stav dané problematiky s ohledem na faktory, které ovlivňují pěnotvorné schopnosti mléka včetně používaných metod pění a hodnocení kvality pěny. Tyto faktory byly hodnoceny jak z hlediska složení mléka, tak z technologického hlediska.

Bylo zjištěno, že pěnotvorné vlastnosti mléka jsou ovlivněny řadou faktorů. Z hlediska složení mléka je nejdůležitější obsah bílkovin, tuku, fosfolipidů, volných mastných kyselin, solí a kyselost mléka. Obsah bílkovin v kravském mléce je dostatečný k zajištění jeho adekvátních pěnotvorných vlastností. Obecně lze říci, že pěnívost mléka a stabilita jeho pěny jsou negativně ovlivněny zvyšujícím se obsahem mléčného tuku, fosfolipidů, volných mastných kyselin a kyselostí. Přídavek solí, zejména vápenatých, má naopak vliv pozitivní. Mezi technologické faktory modulující pěnotvorné vlastnosti patří tepelné ošetření a homogenizace mléka. Bylo pozorováno, že pasterované mléko vykazuje vyšší stabilitu pěny a nižší pěnívost než mléko ošetřené UHT. Homogenizace má na pěnotvorné vlastnosti vliv pozitivní. Nejvíce používanými metodami pění mléka pro výrobu nápojů „cappuccinového“ typu jsou parní injekce a míchání.

Klíčová slova: pěnívost, mléko, funkční vlastnosti

The foaming properties of milk

Summary

Foaming properties of milk have been subject of studies from the middle of the 20th century, when the manufacture of vacuum dried milk expanded. Milk foaming is undesirable during the processing because it reduces efficiency of some processing steps and can damage the equipment. This phenomenon is connected for example with milk fat separation, evaporation, flow through the pumps and pipes or milk powder reconstitution. Nowadays is the interest in the foaming properties focused on support of this behaviour for the development of a good material for „cappuccino“-type beverages preparation. High quality of these products depends significantly on milk foamability and formed foam stability.

The aim of this study was to summarise the current knowledge about this problematic in terms of the factors that affect the milk foaming properties including the foaming methods and foam quality assessment. These factors were evaluated from the milk composition and also technological point of view.

It was found that the foaming properties of milk are influenced by many factors. In terms of the material composition is the most important protein, fat, phospholipid, free fatty acid and salt content and acidity of milk. Cow's milk has enough proteins for good foaming properties. Generally, the foamability and foam stability of milk decrease with increasing fat, phospholipid, free fatty acid content and acidity. On the contrary, the addition of salts, especially calcium, has a positive effect. The most important technological factors for modulation of the milk foaming properties are thermal treatment and homogenization. It was observed that pasteurized milk has higher foam stability and lower foamability than UHT-treated milk. Homogenization has a positive effect on the foaming properties of milk. Methods which are the most frequently used for preparation of the milk foam for „cappuccino“-type beverages are steam injection and whipping.

Key words: foamability, milk, functional properties

Obsah

1	Úvod	8
2	Cíl práce.....	9
3	Přehled literární rešerše	9
3.1	Mléko.....	9
3.2	Složení kravského mléka	9
3.2.1	Laktóza.....	11
3.2.2	Mléčný tuk	12
3.2.2.1	Složení tukové kuličky.....	12
3.2.2.2	Frakce mléčného tuku	13
3.2.3	Mléčné proteiny	15
3.2.3.1	Kasein	15
3.2.3.1.1	Struktura kaseinové micely.....	17
3.2.3.2	Syrovátkové proteiny	18
3.2.3.2.1	β -laktoglobulin.....	19
3.2.3.2.2	α -laktalbumin	20
3.2.3.2.3	Hovězí sérový albumin	21
3.2.3.2.4	Imunoglobuliny.....	21
3.2.3.2.5	Proteoso-peptonová frakce	21
3.3	Pěna	22
3.3.1	Příprava pěny	22
3.3.1.1	Míchání	22
3.3.1.2	Přesycení.....	23
3.3.1.3	Injekce.....	23
3.3.2	Stabilita pěny	23
3.3.2.1	Splývání plynových bublin	24
3.3.2.2	Disproporcionace plynových bublin	25
3.3.2.3	Odtok kapaliny.....	26
3.3.3	Hodnocení pěnotvorných vlastností mléka.....	27
3.3.3.1	Pěnivost.....	27
3.3.3.2	Stabilita pěny	28

3.3.3.3	Nášleh	28
3.3.3.4	Velikost bublin.....	29
3.4	Pěnotvorné vlastnosti mléka	30
3.4.1	Povrchově aktivní látky mléka	30
3.4.2	Pěnotvorné vlastnosti bílkovin.....	31
3.4.2.1	Pěnotvorné vlastnosti kaseinových bílkovin.....	31
3.4.2.2	Pěnotvorné vlastnosti syrovátkových bílkovin	33
3.4.2.3	Vliv tepelného ošetření na pěnotvorné vlastnosti mléčných bílkovin	33
3.4.2.4	Vliv koncentrace proteinů na pěnotvorné vlastnosti mléka.....	35
3.4.2.5	Vliv proteolýzy bílkovin na pěnotvorné vlastnosti mléka	36
3.4.3	Vliv mléčného tuku na pěnotvorné vlastnosti mléka.....	36
3.4.3.1	Vliv polárních lipidů.....	38
3.4.3.2	Fosfolipidy	39
3.4.3.3	Produkty lipolýzy.....	39
3.4.4	Vliv teploty na pěnotvorné vlastnosti mléka	40
3.4.5	Vliv pH na pěnotvorné vlastnosti mléka.....	41
3.4.6	Vliv obsahu vápenatých iontů na pěnotvorné vlastnosti mléka.....	43
3.4.7	Vliv tepelného ošetření mléka	43
3.4.8	Vliv homogenizace	44
3.4.9	Vliv způsobu napěnění na pěnotvorné vlastnosti mléka.....	45
4	Závěr	46
5	Seznam literatury.....	47
6	Seznam použitých zkratk a symbolů.....	52

1 Úvod

Vědecký zájem o pěnotvorné vlastnosti mléka začal v polovině minulého století, kdy se vakuově sušené mléko stalo průmyslově významné. Během zpracování mléka může docházet k nežádoucímu pění, které může vést až k poškození výrobního zařízení. V současnosti dochází k opětovnému zájmu o studium pěnotvorných vlastností mléka a jejich využití v potravinářském průmyslu i v domácnostech při výrobě celé řady šlehaných mléčných výrobků typu: šlehačky, zmrzliny, dezertních krémů, a hlavně při přípravě mléčných pěn u kávových specialit. Jednou z nejdůležitějších vlastností mléčných pěn je jejich stabilita. Při přípravě kávových specialit musí být mléčná pěna stabilní ideálně po dobu, než je připravovaný nápoj naservírován zákazníkovi a jeho teplota zchladne na teplotu vhodnou k jeho vypití. U cappuccina by měla být stabilita pěny např. 10 – 15 min (Huppertz, 2010).

Dobré pěnotvorné vlastnosti mléka jsou souhrou řady různých faktorů. Proces tvorby pěny může záviset jak na složení mléka (bílkoviny, mléčný tuk), tak na jeho technologické úpravě (homogenizace, tepelné ošetření mléka) či na metodách tvorby mléčné pěny (Huppertz, 2010).

2 Cíl práce

Cílem bakalářské práce je zpracování literární rešerše shrnující současné poznatky o pěnотvorných vlastnostech mléka, faktorech, které je ovlivňují, a metodách jejich charakterizace. Hypotézou je, že pěnотvorné vlastnosti konzumního mléka jsou ovlivněny jeho složením, fyzikálně-chemickými parametry a technologií výroby.

3 Přehled literární rešerše

3.1 Mléko

Mléko je sekret mléčné žlázy savců sloužící primárně k výživě mláďat, druhotně pak k výživě lidí. Jedná se o emulzi mléčného tuku převážně ve formě tukových kuliček ve vodné fázi, která se skládá z dalších mléčných složek jako jsou kaseinové micely, sérové proteiny, laktóza, minerály a vitamíny. Laktóza a minerální látky se v tomto polydisperzním systému nachází ve formě pravých roztoků a bílkoviny ve formě koloidních roztoků (Fox, 2001; Raikos, 2010; Walstra et al., 2006).

Podle obsahu kaseinu v mléce lze rozlišit albuminová a kaseinová mléka. Albuminová mléka produkují samice savců masožravců, všežravců a býložravců s jednoduchým žaludkem. Obsah kaseinu je méně než 75 % z celkového množství bílkovin. Kaseinová mléka produkují samice býložravců se složeným žaludkem. Obsah kaseinu je minimálně 75 % z celkového množství bílkovin (Walstra et al., 2006).

3.2 Složení kravského mléka

Kravské mléko je nejvyužívanější druh mléka, které v době laktace produkují dva druhy dobytka: *Bos taurus* a *Bos indicus*. Existuje něco kolem 1 000 plemen a z toho je téměř 35 % holštejn-fríského typu. Složení kravského mléka a jeho energetická hodnota je uvedena v tab. I a II (Muehlhoff et al., 2013). Světová produkce hospodářsky nejvyužívanějších druhů mléka pak v tab. III (FAOSTAT, 2015).

Tab. I: Průměrné složení kravského mléka (Muehlhoff et al., 2013).

Složka	Průměr [% hm.]	Rozsah [% hm.]
Voda	87,8	87,3 – 88,1
Laktóza	4,7	4,5 – 5,1
Tuk	3,3	3,1 – 3,3
Bílkoviny	3,3	3,2 – 3,4
Popel	0,7	0,5 – 0,8

Tab. II: Průměrná energetická hodnota kravského mléka (Muehlhoff et al., 2013).

Energie	Průměr	Rozpětí
KJ	262	247 – 274
Kcal	62	59 – 66

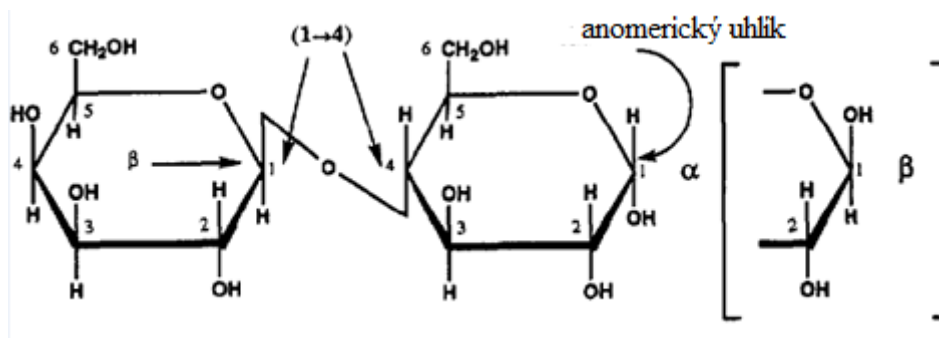
Tab. III: Světová produkce kravského, buvolího, kozího, ovčího a velbloudího mléka (FAOSTAT, 2015).

;Druh	Množství [mil. t] ¹	Podíl [%] ¹
Kravské	635,6	85,1
Buvolí	80,1	10,7
Kozí	18,0	2,4
Ovčí	10,1	1,4
Velbloudí	2,9	0,4

¹(2013)

3.2.1 Laktóza

Laktóza je hlavní disacharid v mléku, jehož množství je průměrně 4,7 g na 100 g. Jedná se o redukující disacharid tvořený z *D*-glukózy a *D*-galaktózy, které jsou spojeny β -1,4-glykosidickou vazbou. Může se vyskytovat ve dvou formách jako α - a β -anomer. Struktura laktózy je uvedena na obr. 1 (Fox and McSweeney, 1998; Muehlhoff et al., 2013).



Obr. 1: Struktura α - a β -laktózy (Fox and McSweeney, 1998).

Optické izomery mají v mlékárenském průmyslu význam kvůli své schopnosti mutarotace, která je ovlivněna teplotou, pH a koncentrací laktózy. Optické izomery α - a β -laktózy mají odlišné vlastnosti, tvar, velikost krystalů, hygroskopičnost, specifickou rotaci, sladkost a rozpustnost. Při změně zastoupení obou forem může docházet k nežádoucí krystalizaci a tvorbě písčité struktury, např. u zahuštěných mlék v důsledku rozdílné rozpustnosti. Rozdíly v rozpustnosti a krystalizaci optických izomerů laktózy jsou uvedeny v tab. IV (Fox and McSweeney, 1998).

Tab. IV: Rozdílné vlastnosti α - a β -laktózy (Fox and McSweeney, 1998).

Optický izomér	Rozpustnost	Krystalizace
α -laktóza	7,5 g. 100 g ⁻¹ vody	tvrdé, mírně hygroskopické, pomalu rozpustné krystaly
β -laktóza	48 g. 100 g ⁻¹ vody	krystaly nejsou hygroskopické, jsou lépe rozpustné

3.2.2 Mléčný tuk

Mléčný tuk se v mléce nachází převážně ve formě tzv. tukových kuliček a minoritně pak také jako volný tuk. Syrové kravské mléko obsahuje tukové kuličky s širokou distribucí velikostí, kde průměrná velikost je 3 – 4 µm (Garcia et al., 2014; Muehlhoff et al., 2013).

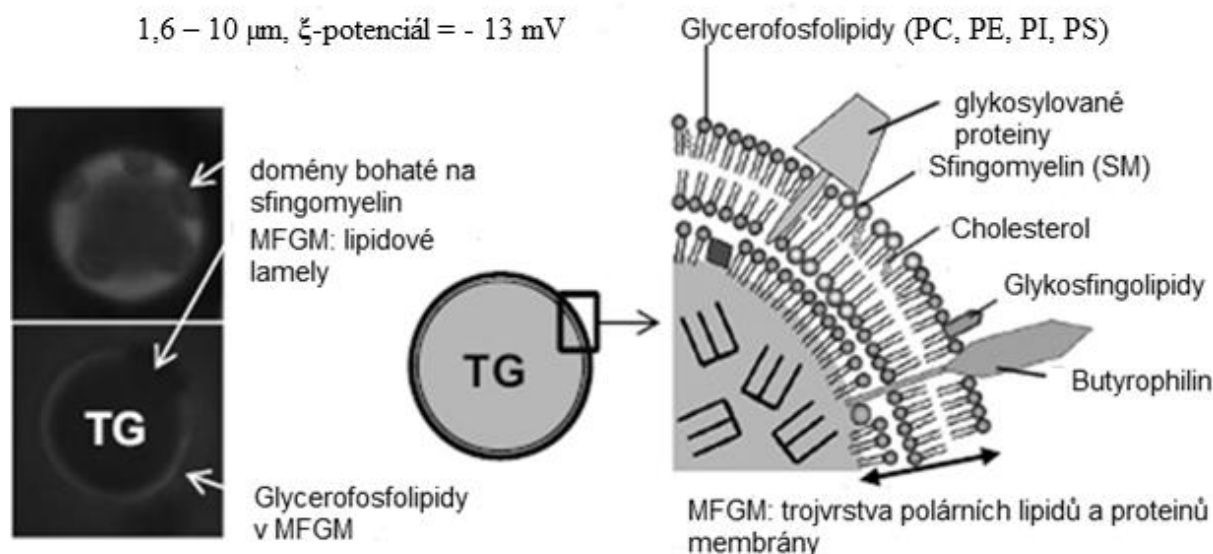
3.2.2.1 Složení tukové kuličky

Jádro tukových kuliček je složeno převážně z triacylglycerolů (TAG), které obklopuje globulární membrána (MFGM), jež je složena z trojitě vrstvy fosfolipidů s vmezeženými proteiny a cholesterolem. Fosfolipidy jsou nejdůležitější složkou membrány a tvoří 60 % všech fosfolipidů v mléce. Složení membrány tukových kuliček je uvedeno v tab. V (Gallier et al., 2013).

Tab. V: Hlavní fosfolipidy membrány tukových kuliček (Gallier et al., 2013).

Fosfolipid	Podíl [%]
Fosfatidylcholin (PC)	36
Fosfatidylethanolamin (PE)	27
Sphingomyelin (SM)	22
Fosfatidylinositol (PI)	11
Fosfatidylserin (PS)	4

Další významnou komponentou MFGM jsou steroly a estery sterolů, které zastupují 10 % z celkových sterolů. V MFGM je zastoupeno 80 % cholesterolu. Proteiny v MFGM tvoří 1 % z celkových bílkovin mléka (a současně 25 – 50 % membrány). Hlavními MFGM proteiny jsou mucin, xanthinoxidáza, butyrophilin, adipofilin a složené proteiny vázající mastné kyseliny. Složení tukové kuličky je znázorněno na obr. 2 (Gallier et al., 2013).



Obr. 2: Složení tukové kuličky (Garcia et al., 2014).

MFGM má stěžejní význam v charakteristickém chování a technologických vlastnostech mléčného tuku. Jakékoliv poškození membrány může spustit indukovanou lipolýzu a tak znehodnocení mléčného tuku. Poškození může nastat v důsledku prudkého čerpání, chybného seřízení dojícího zařízení, transportu mléka nebo jako následek nesprávně vedené homogenizace (Garcia et al., 2014).

3.2.2.2 Frakce mléčného tuku

Syrové kravské mléko obsahuje v průměru 3,3 g tuku na 100 g. Většina konzumních mlék obsahuje standardizovaný obsah tuku do 3,5 g na 100 g. Přehled hlavních frakcí mléčného tuku je uveden v tab. VI (Muehlhoff et al., 2013).

Tab. VI: Frakce mléčného tuku (Fox and McSweeney, 1998).

Frakce	[% hm.]
Triacylglyceroly (TAG)	98,00
Diacylglyceroly (DAG)	0,30
Monoacylglyceroly (MAG)	0,03
Fosfolipidy	0,80
Steroly	0,30
Volné mastné kyseliny (FFA)	0,10
Karotenoidy	Stopy
Vitamíny rozpustné v tuku	Stopy
Aromatické látky	Stopy

V mléce jsou nejvíce zastoupeny TAG, malým podílem pak DAG a MAG. DAG a MAG jsou produkty neúplné syntézy či degradace TAG, nebo se vyskytují v důsledku poškození MFGM. Fosfolipidy jsou v mléce zastoupeny v malém množství. Mezi hlavní zástupce patří fosfatidylcholin, fosfatidylethanolamin a sfingomyelin. Mezi nejdůležitější steroly patří cholesterol, který představuje více jak 95 % všech přítomných sterolů (Fox and McSweeney, 1998).

Mléčný tuk obsahuje širokou škálu mastných kyselin z nichž majoritu tvoří nasycené mastné kyseliny v množství 65 – 75 g na 100 g. Hlavní nasycené kyseliny mléka jsou kyselina palmitová, stearová a laurová. Z mononenasycených kyselin je zde nejvíce zastoupena kyselina olejová. Pro mléčný tuk je také typický obsah konjugované kyseliny linolové, v kravském mléce se pohybuje v rozmezí mezi 0,1 – 2,2 g na 100 g, a malé množství *trans*-nenasycených mastných kyselin, jež vznikají činností bachorové mikroflóry. Mastné kyseliny jsou v mléčném tuku převážně ve formě TAG, DAG a MAG, množství FFA vyšší než 0,1 % pak indikuje hydrolýzu tuku (Muehlhoff et al., 2013).

Součástí mléčného tuku jsou též karotenoidy, které dávají mléku žlutavou barvu a jsou to prekurzory vitamínu A. Dále jsou zde také obsaženy další vitamíny rozpustné v tucích, A, D, E a K. Jejich obsah v konzumním mléku je v podstatě stejný jako v syrovém, což je důsledkem jejich termostability při záhřevech používaných v mlékárenském průmyslu (Fox and McSweeney, 1998).

3.2.3 Mléčné proteiny

Mléčné proteiny dělíme na frakci kaseinů, která se sráží při pH 4,6 a na frakci syrovátkových bílkovin. V kravském mléce je přibližně 78 % kaseinu a 17 % bílkovin syrovátky (Fox, 2001; Muehlhoff et al., 2013).

3.2.3.1 Kasein

Kaseiny tvoří majoritní část bílkovin kravského mléka. Jedná se o skupinu fosfoproteinů. Prostřednictvím fosfátových skupin na sebe váží silné polyvalentní kationty, zejména vápník, ale v menším množství i zinek a jiné kationty. Kaseiny se dělí na α_{s1} -kasein, α_{s2} -kasein, β -kasein a κ -kasein. Jejich jednotlivé zastoupení je 38, 10, 36 a 12 %. Všechny kaseiny jsou relativně malé molekuly, v rozmezí molekulové hmotnosti cca 20 až 25 kDa (Fox, 2001; Fox and McSweeney, 1998; Huppertz et al., 2006; Raikos, 2010).

Vlastnosti kaseinů se výrazně liší od vlastností syrovátkových proteinů. Mají relativně vysoký náboj, jsou, až na κ -kasein, hydrofobní a vykazují nízkou úroveň sekundární a terciární struktury díky vysokému obsahu prolinu. Rozdíly mezi kaseinem a syrovátkovými bílkovinami jsou podrobně uvedeny v tab. VII. Díky vysoké viskozitě dokážou kaseiny na sebe vázat až 2,5 g H₂O na g proteinu, což jim dává velmi žádoucí funkční vlastnosti využívané v potravinářském průmyslu. Používají se například jako pěnidla a želírovací látky do instantních dezertů a šlehaných krémů (Fox and McSweeney, 1998; Huppertz et al., 2006).

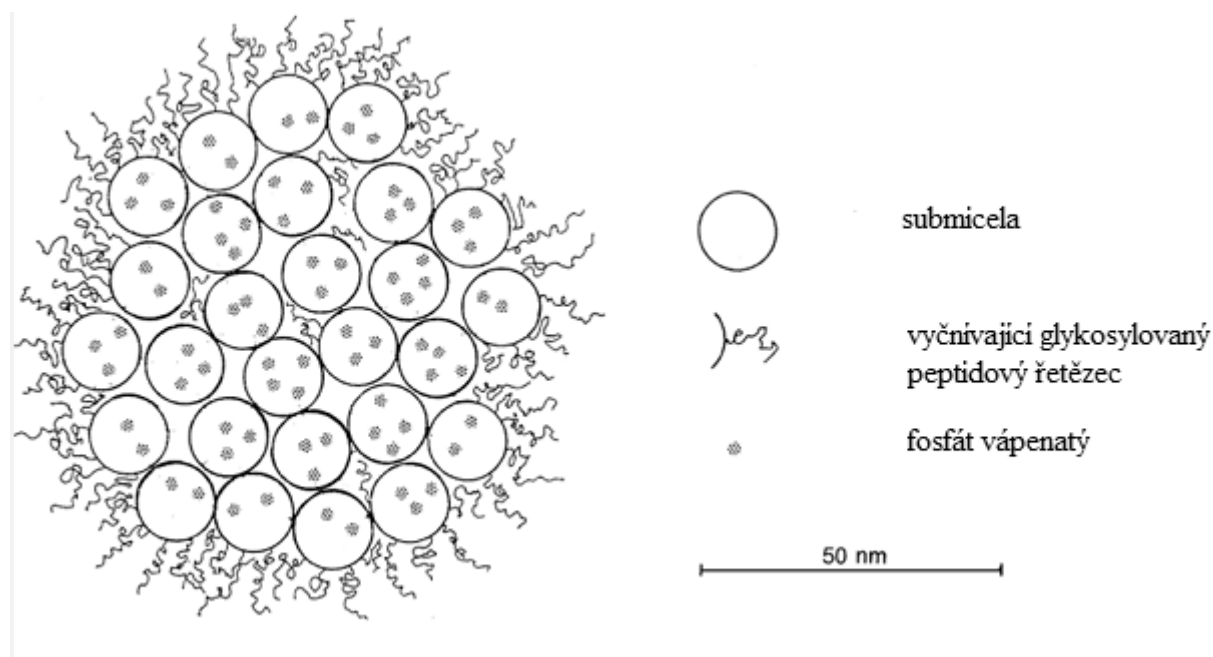
Tab. VII: Rozdíly mezi kaseinem a syrovátkovými proteiny (Fox and McSweeney, 1998).

Vlastnost	Kasein	Syrovátkové proteiny
Srážlivost	vysráží se při pH mléka $\leq 4,6$ nebo působením syřidla	vzniká syrovátka
Tepelná stabilita	stabilní vůči vysokým teplotám, mléko může být zahříváno při svém přirozeném pH 6,7 při 100 °C po dobu 24 h, při 140 °C po dobu 20 min bez koagulace	tepelně labilní, denaturují při ≥ 90 °C po dobu 10 min
Výskyt fosforu	obsah fosfátu vápenatého ovlivňuje vysokou tepelnou stabilitu a vápníkem vyvolané srážení kaseinu	fosfor není obsažen
Výskyt síry	málo síry (0,8 %), díky nízkému obsahu methioninu	bohaté na síru (1,7 %), obsahují aminokyseliny methionin, cystein a cystin
Forma výskytu	forma micel nízká úroveň sekundární a terciální struktury	koloidní roztok kvartérní struktura
Hydrofobicita	vysoká povrchová hydrofobicita	hydrofobní skupiny uvnitř ve struktuře

3.2.3.1.1 Struktura kaseinové micely

Kasein se v mléce vyskytuje z 95 % ve formě kaseinových micel o velikosti 50 až 600 nm. Průměrný poloměr je 100 nm a molekulová hmotnost 106 kDa. Za posledních 50 let byla navržena řada modelů struktury kaseinové micely. Nejrozšířenější názor je, že se kaseinová micela skládá z jednotlivých submicel (Fox and Brodkorb, 2008; Huppertz et al., 2006).

První submicelární model představil v roce 1967 Morr, který navrhl, že submicely jsou drženy pohromadě pomocí mikrokryсталů koloidního fosforečnanu vápenatého (CCP). Později bylo zjištěno, že po odstranění CCP nedochází k úplnému rozpadu mikrostruktury micely. Na její soudržnosti se tedy podílejí i jiné síly jako jsou vodíkové můstky nebo hydrofobní interakce. Submicelární model kaseinové micely je zobrazen na obr. 3. (Fox, 2001; Fox and McSweeney, 1998)



Obr. 3: Struktura submicelárního modelu navržená podle Walstry v roce 1999 (Kruif, 2012).

Jádro submicely s průměrným poloměrem 2,3 nm je tvořeno z α_{s1} - α_{s2} - a β -kaseinů, povrch je pokryt hydrofilním κ -kaseinem. *N*-koncový segment κ -kaseinu je hydrofobní a směřuje do jádra submicely, hydrofilní *C*-koncová část κ -kaseinu směřuje ven k povrchu, což vytváří „chlupatý“ vzhled kaseinové micely. Tato vrstva hydrofilních konců κ -kaseinu o tloušťce 5 – 10 nm je zodpovědná za stabilitu micel s významným příspěvkem ζ -potenciálu (- 20 mV) a jeho sférickou stabilizaci. Submicelární model kaseinové micely však nebyl nikdy všeobecně přijat a nejnovější pohledy upřednostňují méně organizované struktury při zachování povrchového umístění κ -kaseinu (Fox, 2001; Fox and McSweeney, 1998; Kruif, 2012).

3.2.3.2 Syrovátkové proteiny

Syrovátka vzniká jako vedlejší produkt při výrobě sýrů a tvarohů. Syrovátkové bílkoviny se dělí na β -laktoglobulin (β -LG), α -laktalbumin (α -LA), sérový albumin (BSA), imunoglobuliny (Ig), proteoso-peptonovou frakci (PP-frakce) a minoritní bílkoviny. V mléce jsou zastoupeny v poměru 50 : 20 : 10 : 10 %. Tyto proteiny mohou být odděleny od ostatních složek syrovátky pomocí membránových procesů jako je například ultrafiltrace a reverzní osmóza či pomocí chromatografických metod (Fox, 2001; Fox and McSweeney, 1998; Muehlhoff et al., 2013).

Na rozdíl od kaseinů mají syrovátkové bílkoviny vysokou úroveň sekundární, terciální a kvartérní struktury. Jsou citlivé na srážení Ca^{2+} , nejsou fosforylovány a obsahují disulfidické můstky, které stabilizují jejich strukturu. Mají vysokou nutriční hodnotu, která je dána obsahem cysteinu a dalších esenciálních aminokyselin. Mají zajímavé funkční vlastnosti jako jsou schopnosti emulgační, pěnotvorné a želírovací (Fox, 2001; Fox and McSweeney, 1998).

3.2.3.2.1 β -laktoglobulin

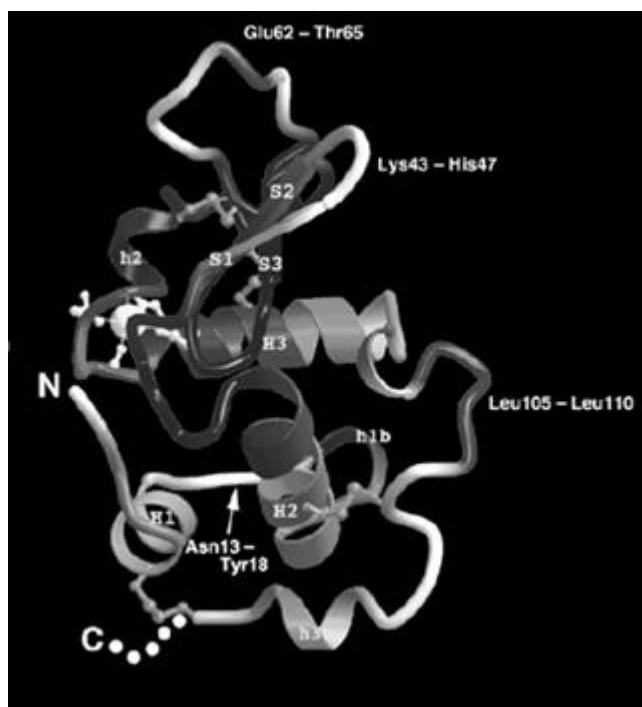
β -LG je hlavní syrovátkový protein v kravském mléce skládající se ze 162 aminokyselinových zbytků a s molekulovou hmotností 18,3 kDa. Ve své struktuře obsahuje dva intramolekulární disulfidické můstky a jednu volnou thiolovou skupinu, která hraje klíčovou roli v jeho antioxidační aktivitě. Struktura bílkoviny je znázorněna na obr. 4. β -LG má žádoucí technologické vlastnosti dané jeho fyzikálně-chemickými vlastnostmi jako je viskozita, rozpustnost, emulgační vlastnosti, pěnotvornost a schopnost želírovat. Tento protein má také vysokou nutriční hodnotu a může sloužit jako nosič lipofilních živin a léků. Je používán jako přísada do širokého spektra potravin (Stanič-Vučinić and Veličković, 2013).



Obr. 4: Struktura β -laktoglobulinu (Ashton et al., 2010).

3.2.3.2.2 α -laktalbumin

α -LA je druhou nejdůležitější syrovátkovou bílkovinou v kravském mléce. Primární struktura je tvořena 123 aminokyselinami, molekulová hmotnost je 14,2 kDa. Struktura je stabilizována čtyřmi disulfidickými vazbami a neobsahuje žádnou volnou thiolovou skupinu, nicméně, jedna z disulfidických vazeb je více citlivá na štěpení než ostatní tři z důvodu její nižší vlastní stability. Struktura α -LA je znázorněna na obr. 5. Protein existuje ve 2 základních konformacích ve formě s vázaným vápníkem (nativní α -LA) a bez vápníku. Bílkovina je součástí enzymu laktosasyntetáza, jež se podílí na syntéze laktózy v mléčné žláze. Koncentrace laktózy v mléce tedy přímo souvisí s koncentrací α -LA. Protein je rozpustný v čisté vodě (Cosidine et al., 2007; Permyakov and Berliner, 2000).



Obr. 5: Struktura α -laktalbuminu (Pike et al., 1996).

3.2.3.2.3 Hovězí sérový albumin

BSA je heterogenní bílkovina složená z 582 aminokyselinových zbytků s molekulovou hmotností 66,433 kDa. Primární struktura obsahuje 17 disulfidických můstků, které drží molekulu ve struktuře sestávající z devíti smyček. Obsahuje jednu volnou thiolovou skupinu (Considine et al., 2007).

3.2.3.2.4 Imunoglobuliny

Ig jsou ve zralém kravském mléce zastoupeny v minoritním množství, jejich hlavní význam spočívá v tvorbě imunity mláděte během prvních dnů po porodu. V mléce byly zjištěny imunoglobuliny IgG (85 – 90 %) IgA (3,6 %) a IgM (7 – 10 %) (Fox and McSweeney, 1998).

3.2.3.2.5 Proteoso-peptonová frakce

PP-frakce tvoří malý podíl bílkovin mléka. Jedná se o fosfoproteiny, které jsou tepelně stabilní do 100 °C a jsou rozpustné při pH 4,6. Obsah těchto heterogenních proteinů se v kravském mléce pohybuje od 2 do 6 % celkových bílkovin (Buccioni et al., 2013; Fox and McSweeney, 1998).

3.3 Pěna

Pěna je plynno-kapalný nebo plynno-pevný systém. V prvním případě se jedná o disperzi plynné fáze v kapalně. Plyn v pěně má obvykle větší objem než kapalina, což způsobuje vznik velkých mezifázových ploch. Velké rozdíly v hustotě dvou disperzních fází mají většinou za následek vysoké mezipovrchové napětí a tudíž i vznik relativně nestabilního systému. Proto jsou k tvorbě pěny potřebné povrchově aktivní látky, které snižují povrchové napětí mezi plynem a vodou a tím umožní jemnější rozptýlení dispergované fáze a zároveň zajistí stabilizaci systému. Začlenění plynu do potravin může zlepšit texturu a vzhled a snížit kalorickou hodnotu produktů (Huppertz, 2010; Jimenez-Junca et al., 2011; Tamm et al., 2012).

3.3.1 Příprava pěny

K tvorbě pěny je zapotřebí dodání energie, která je nutná k překonání mezifázové energie systému, jež se zvyšuje z důvodu rozšíření plochy při procesu pěnění (Huppertz, 2010; Walstra et al., 2006).

Energii je možno dodávat mechanicky například promícháváním, šleháním a protlačováním plynu fritou do kapaliny. Druhou možností dodání energie je kondenzace. Principem této metody je vznik pěny z přesycené kapaliny heterogenní nukleací nebo chemickou reakcí. Na tomto principu je založena např. funkce šlehaček ve spreji nebo tvorba pивní pěny. Podle toho, jakým způsobem energii dodáváme, rozeznáváme několik základních způsobů tvorby pěny: míchání, přesycení a injekce (Walstra et al., 2006).

3.3.1.1 Míchání

Míchání je metoda, jež využívá k tvorbě pěny dodání mechanické energie. Výsledkem intenzivního míchání (šlehání) kapaliny je zabudování plynu (nejčastěji vzduchu) ve formě bublin, kdy se nejprve vytvářejí velké bubliny, které mohou být dále děleny na menší. Tento postup je typický nejen pro přípravu šlehačky, zmrzliny nebo dezertních krémů, ale i mléčných pěn na přípravu kávových specialit. Na principu pěnění mícháním pracuje většina zpeňovačů mléka určených pro běžné domácí použití. Parametry pěny jsou ovlivněny hlavně intenzitou a dobou míchání a teplotou mléka (Huppertz, 2010; Walstra et al., 2006).

3.3.1.2 Přesycení

Při procesu přesycení dochází k rozpouštění plynu v kapalině pod tlakem. Následně pak rozpustnost plynu po snížení tlaku klesne, látka přejde opět do plynného stavu a vznikají bubliny. Příprava mléčné pěny touto cestou se běžně nepoužívá, ale princip je využíván na výrobu šlehačky ve spreji (Huppertz, 2010; Walstra et al., 2006).

3.3.1.3 Injekce

Pěnění pomocí injekce může probíhat dvěma způsoby, studeným provzdušňováním nebo pomocí vstřikování páry (Walstra et al., 2006).

Při studeném provzdušňování dochází k začlenění vzduchu nebo jiného plynu do kapaliny (mléka) při okolní teplotě. Tento způsob není využíván v potravinářském průmyslu, ale pro jeho jednoduchost je často používán ve vědeckých studiích. Hlavní vlivy, které ovlivňují parametry pěny, jsou doba trvání procesu, tlak plynu a teplota kapaliny (Huppertz, 2010).

Parní injekce je proces, při kterém nejen dochází k začlenění plynu do kapaliny, ale dochází zde také ke zvýšení její teploty (Huppertz, 2010). Měření Silvy a kol. (2008) ukázala, že pěnění mléka parní injekcí po dobu 50 s zvýšilo jeho teplotu nad 85 °C. Nicméně, nejvyšší teplota vzniklé pěny byla 65 °C a do 4 min klesla pod 50 °C (Silva et al., 2008). Tato metoda je běžně používána při přípravě mléčné pěny kávových specialit jako je Cappuccino, Latte Machiato nebo Mochaccino (Jimenez-Junca et al., 2011).

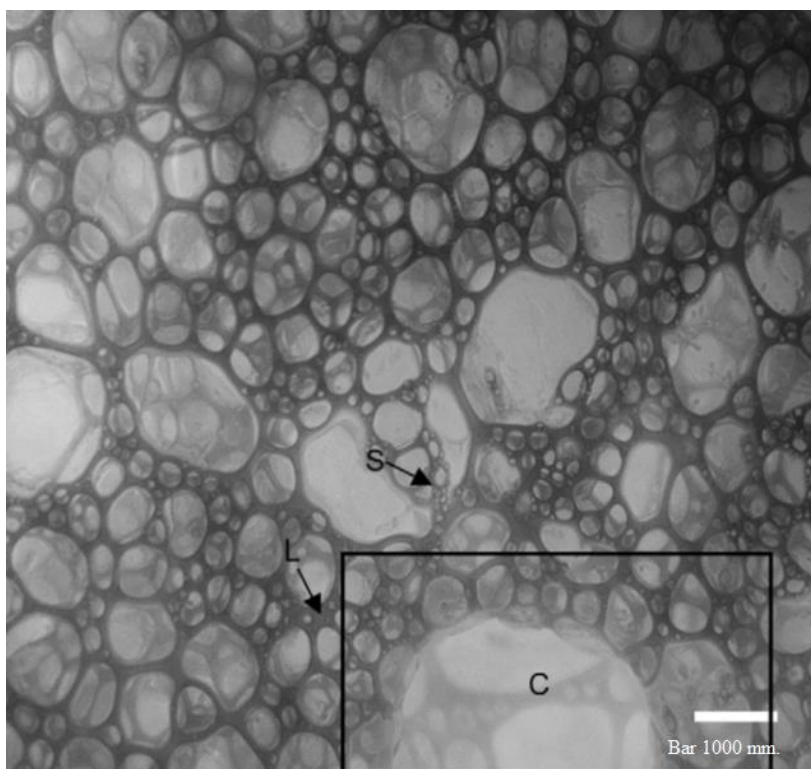
3.3.2 Stabilita pěny

Stabilita plynových bublin v pěně je definována rychlostí třech základních destabilizačních postupů, jež v ní probíhají: splývání bublin plynu a jejich disproportionace a odtok kapaliny (Huppertz, 2010).

3.3.2.1 Splývání plynových bublin

Srůstáním se snižuje počet plynových bublin a zvětšuje se jejich velikost v pěně. Bubliny jsou stabilizovány tekutým filmem kontinuální fáze. Stabilita těchto tekutých filmů je ovlivněna především obsahem tuku v mléce a jeho složením, protože emulgované kapičky tuku se šíří přes povrch kapalného filmu a toto šíření způsobuje postupné řídnutí a v konečné fázi destrukci filmu kapaliny (Huppertz, 2010).

Kamath a kol. (2008b) zkoumali splývání bublin vzduchu v pěně vytvořené z plnotučného mléka. Průběh tohoto procesu je znázorněn na obr. 6. Praskání bublin obvykle vede k toku seskupení menších bublin směrem k oblasti destrukce, kde se tyto shlukují na povrchu bublin z nižších podkladových vrstev pěny a vyvolávají jejich následné prasknutí. V pěnách z plnotučného mléka vyráběných při teplotách 40 °C to lze přičíst šíření tekutého tuku vrstvou kapaliny k povrchu bubliny. Navíc šíření tekutého tuku by mohlo vytěsnit proteiny adsorbované na rozhraní vzduch-mléko a vést tak ke zvýšené disproportionaci bublin, tedy procesu, jež bude podrobně popsán v následující kapitole.



Obr. 6: Splývání bublin vzduchu v pěně vytvořené z plnotučného mléka při teplotě 65 °C. Vyznačená oblast představuje zvětšený pohled na poločas rozpadu pěny tohoto vzorku. Úsečka odpovídá zvětšení 1000 mm. C = srůstání vzduchových bublin, S = tok bublin směrem k prasklým bublinám, L = rozšířená oblast kapaliny na povrchu pěny po prasknutí vzduchové bubliny (Kamath et al., 2008b).

3.3.2.2 Disproporcionace plynových bublin

Disproporcionace je proces probíhající v důsledku transportu plynu z menších bublin do větších. Směr transportu je dán vyšším tlakem plynu v menších bublinách z důvodu vyššího povrchového napětí. Tento děj je popsán Laplaceovou rovnicí (Huppertz, 2010).

$$\Delta p = \frac{2\gamma}{R} \quad \text{Laplaceova rovnice (1),}$$

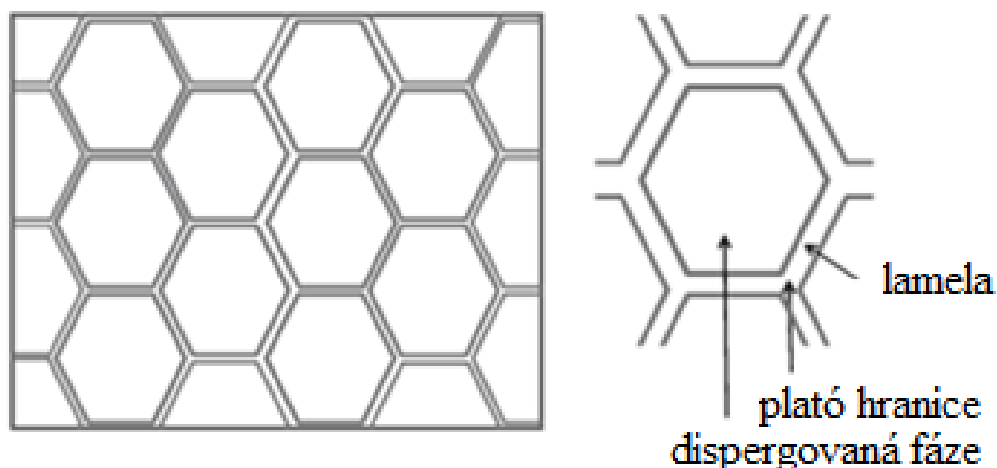
kde Δp je tlakový rozdíl, R je poloměr vzduchové bubliny a γ je povrchové napětí.

Disproporcionací dochází k postupnému snižování velikosti menších bublin a růstu větších bublin. V důsledku stále rostoucího tlakového rozdílu je tento děj postupně zrychlován, dokud malé bubliny úplně nezmizí (Huppertz, 2010).

3.3.2.3 Odtok kapaliny

Dle tvaru bublin a tloušťky kontinuální fáze mezi nimi rozlišujeme dva druhy pěn, sférické a polyedrické. Sférické pěny obsahují kulovité bubliny plynu, které jsou odděleny značným objemem kontinuální fáze (Huppertz, 2010).

Odtok kapaliny neboli vysychání pěny probíhá v důsledku rozdílu hustoty mezi plynovými bublinami a kontinuální fází a je doprovázen současným vzlínáním dispergované fáze. Během tohoto procesu tedy bubliny plynu směřují nahoru a kapalina prochází mezi nimi směrem dolů a ze sférických pěn vznikají polyedrické. Po dostatečném odvodnění pěny dojde k deformaci kulovitých bublin na mnohostěnné, které jsou odděleny pouze tenkými lamelami kontinuální fáze. Tato polyedrická (plástvovitá) konstrukce (schematicky znázorněná na obr. 7) má tři lamely, které se setkávají a dávají vznik plató hranici. Deformaci tvaru bublin způsobují vztahové síly vznikající v důsledku odtoku kapaliny (Huppertz, 2010).



Obr. 7: Schematické znázornění polyedrické pěny (vlevo) a detail lamely a plató hranice (vpravo) (Huppertz, 2010).

Vysychání pěny pokračuje dokud není dosaženo dostatečného kapilárního sání, jež je popsáno následujícím vztahem:

$$\Delta p_{cap} = \frac{\gamma}{R} \quad , \quad (2)$$

kde γ je povrchové napětí a R poloměr nekonkávní hranice. Tento vztah ukazuje, že stejné kapilární sání může být dosaženo při vyšším poloměru zakřivení, jestliže povrchové napětí je vyšší. Rychlost procesu vysychání pěny lze snížit zvýšením viskozity kontinuální fáze (Huppertz, 2010).

3.3.3 Hodnocení pěnotvorných vlastností mléka

Nejdůležitějšími parametry, jež se užívají pro hodnocení pěnotvorných vlastností mléka jsou pěnivost, stabilita pěny, nášleh a velikost bublin plynu (Huppertz, 2010).

3.3.3.1 Pěnivost

Pěnivost je schopnost mléka tvořit pěnu. Je vyjadřována jako objem pěny vytvořený z daného množství mléka. Objem pěny je stanovován jako rozdíl celkového objemu vytvořené pěny a objemu kapaliny. Lze ji také charakterizovat pomocí doby potřebné k získání stanoveného objemu pěny (Huppertz, 2010; Tamm et al., 2012).

$$V_{pěna} = V_{celk.} - V_{kapalina} \quad (3)$$

3.3.3.2 Stabilita pěny

Stabilita pěny je její schopnost udržet svůj objem a svoje vlastnosti v závislosti na době a podmínkách skladování. Stabilitu pěny lze vyjádřit poločasem rozpadu, což je doba potřebná k tomu, aby pěna snížila svůj původní objem na polovinu. Dále může být charakterizována například množstvím či rychlostí odtoku kapalné fáze v průběhu času (Huppertz, 2010; Tamm et al., 2012). Procentuální stabilita objemu pěny, *FVS*, a procentuální stabilita kapaliny, *FLS* jsou definovány jako:

$$\% FVS = \frac{V_{\text{pěna}}}{V_{\text{pěna0}}} \times 100 \quad (4)$$

$$\% FVS = \frac{V_{\text{kapalina}}}{V_{\text{kapalina0}}} \times 100 \quad (5)$$

kde $V_{\text{pěna0}}$ je původní objem pěny a $V_{\text{kapalina0}}$ je objem zachycené kapaliny v původním objemu pěny. Tyto veličiny se mění s časem. Když jsou hodnoty *FVS* sníženy na 50 %, pěna je definována poločasem rozpadu (Marinova et al., 2009).

3.3.3.3 Nášleh

Nášleh je parametr, který se vztahuje k objemu zainkorporovaného vzduchu v pěně. Zvyšuje se s klesající hustotou pěny. Nášleh se obecně vypočítá jako podíl rozdílu v hustotě mezi kapalinou a pěnou ku hustotě pěny. V praxi bývají často hustoty nahrazeny hmotnostmi daného objemu kapaliny a pěny (Huppertz, 2010).

$$\text{nášleh} = \frac{\rho_{\text{kapalina}} - \rho_{\text{pěna}}}{\rho_{\text{pěna}}} \quad (6)$$

$$\text{nášleh} = \frac{m_{\text{kapalina}} - m_{\text{pěna}}}{m_{\text{pěna}}} \quad (7)$$

3.3.3.4 Velikost bublin

Velikost bublin plynu je vyjadřována jako jejich střední průměr a distribuce velikosti. K měření jsou využívány většinou mikroskopické metody analýz obrazu. Tyto metody umožňují vizualizaci plynových bublin s minimální velikostí 20 μm a pořizování digitálních snímků pro další analýzy na počítači (Jimenez-Junca et al., 2011; Huppertz, 2010).

3.4 Pěnotvorné vlastnosti mléka

Pěnotvorné vlastnosti mléka jsou ovlivněny třemi základními faktory: složením mléka, jeho fyzikálně-chemickými vlastnostmi a technologickým ošetřením. Z hlediska složení mléka hraje roli obsah a kvalita mléčného tuku, obsah a stav bílkovin a přítomnost solí. Důležitá je i kyselost mléka, jeho tepelné ošetření a homogenizace. Kvalita mléčné pěny může být též ovlivněna způsobem její tvorby (Huppertz, 2010).

3.4.1 Povrchově aktivní látky mléka

Mléko obsahuje dva základní typy povrchově aktivních látek: bílkoviny (kasein, syrovátkové proteiny) a polární lipidy (monoglyceridy a diglyceridy, volné mastné kyseliny a fosfolipidy). Bílkoviny jsou látky o velké molekulární hmotnosti a polární lipidy naopak o nízké molekulární hmotnosti. Systémy obsahující jak vysokomolekulární, tak nízkomolekulární povrchově aktivní látky mohou vykazovat horší stabilitu pěny než systémy stabilizované pouze jedním typem povrchově aktivních látek, protože mechanismus stabilizace je protichůdný (Murray, 2007).

Nízkomolekulární povrchově aktivní látky, tedy polární lipidy, stabilizují disperzní systémy prostřednictvím Gibbs-Marangoniho mechanismu. Dochází zde k rychlé adsorpci povrchově aktivních látek z oblastí s vyšší koncentrací do oblastí s nízkou koncentrací v adsorbovaném filmu (Gibbsův účinek) a zároveň s boční difúzí molekul na mezifázovém rozhraní, které umožňuje rychlé vyrovnání koncentračních gradientů (Marangoniho účinek) (Bos et al., 1997; Walstra et al., 2006).

Vysokomolekulární povrchově aktivní proteiny mají schopnost adsorpce na rozhraní plyn-kapalina, což vede ke snížení mezifázového napětí. To je umožněno jejich amfoterní povahou, tedy obsahem hydrofilních a hydrofobních skupin v molekule. Částečně denaturované i nativní proteiny pak na fázovém rozhraní vytvářejí film pomocí vzájemných interakcí, čímž disperzi plynu v kapalině stabilizují (Borcherding et al., 2009).

3.4.2 Pěnotvorné vlastnosti bílkovin

Bílkoviny mají mnoho vlastností, díky kterým jsou široce používány v potravinářském průmyslu. Mezi tyto vlastnosti patří mimo jiné emulgační a zahušťovací schopnosti a tvorba gelu a pěn (Fox, 2001).

Funkční vlastnosti včetně pěnotvorných jsou dány složením, strukturou a fyzikálně-chemickými vlastnostmi proteinů jako jsou jejich aminokyselinové složení, molární hmotnost, sekvence sekundární a terciární struktury a povrchová hydrofobicita. Pěnotvorné vlastnosti bílkovin je možno modulovat. Jeden z vhodných způsobů představuje kupříkladu enzymatická hydrolýza. Při hydrolýze mléčných proteinů dochází k rozpadu koloidní struktury a vznikají nízkomolekulární látky s obnaženými hydrofobními skupinami na povrchu. Je-li účelem modifikace zlepšit pěnicí kapacitu a stabilitu pěny, je vhodný nízký stupeň hydrolýzy. Další možností, jak upravit pěnotvorné vlastnosti mléčných bílkovin, je ovlivnit rozsah denaturace a stupeň následné interakce syrovátkových proteinů s kaseinovými micelami. Denaturace a agregace může být modulována způsobem a teplotou záhřevu, iontovou silou a pH (Borcherding et al., 2009; Raikos, 2010; Tamm et al., 2012).

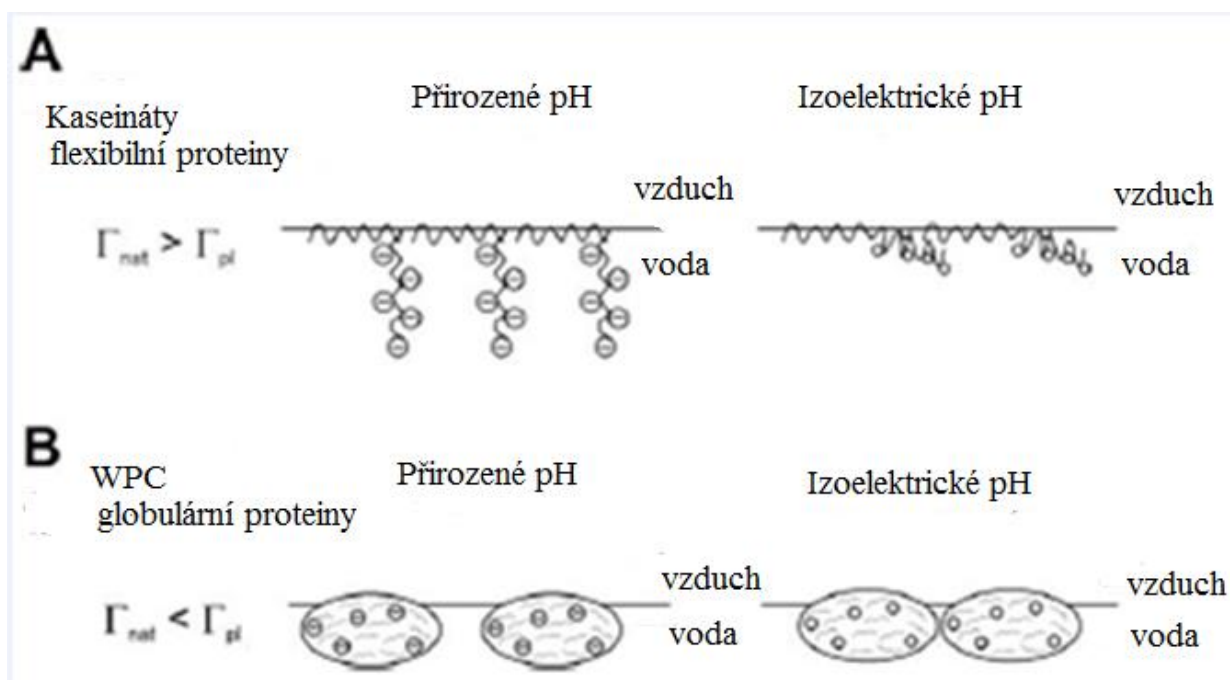
3.4.2.1 Pěnotvorné vlastnosti kaseinových bílkovin

Obecně lze říci, že kasein má lepší pěnotvorné schopnosti než syrovátkové bílkoviny. Bylo zjištěno, že kaseinové adsorpční vrstvy jsou hustší, silnější a zajistí lepší stabilizaci systému při pH vzdáleném od jeho pI. Při pI (pH 4,6) je pěnicí schopnost minimální, naopak při přirozeném pH mléka (6,4 – 6,8) kasein tvoří velmi stabilní pěny a pěnotvorné vlastnosti jsou lepší než u pěn stabilizovaných syrovátkovými koncentráty (WPC). Po přidání elektrolytu se navíc adsorpce a odpor mezi plochami zvyšuje a tím se zvyšují i pěnotvorné schopnosti (Marinova et al., 2009).

Vnější adsorpční vrstva kaseinu se skládá z hydrofilního řetězce κ -kaseinu, který je dále rozšířen do glykosylovaného „ocasů“ nebo „smyčky“. Velké vzdálenosti mezi jednotlivými hydrofilními řetězci pak umožňují elektrolytickým iontům proniknout mezi ně a velmi účinně stínit elektrostatickému odpuzování mezi molekulami v adsorpční vrstvě (Graham and Phillips, 1980; Marinova et al., 2009; Pereira et al., 2003). Marinova a kol. (2009) se domnívají, že snížení pěnivosti mléka v isoelektrickém bodu kaseinu není jenom kvůli jeho vysrážení, ale také kvůli sníženému povrchovému napětí a tím slabšímu

odporu mezi jednotlivými kaseinovými molekulami, které pak nemůžou zajistit dostatečnou stabilizaci povrchu bublin pěny. Popisovaný jev je znázorněn na obr. 8 (Marinova et al., 2009).

Studie Marinova a kol. (2009) potvrdila, že povrchové vlastnosti kaseinu jsou určeny převážně β -kaseinem. β -kasein má vysokou povrchovou aktivitu, která mu dává dobré pěnotvorné a emulgační vlastnosti. Tyto vlastnosti jsou ovlivněny jeho strukturou, která obsahuje vysoké množství prolinu, jež brání vzniku sekundární struktury. Teoretické výpočty však ukazují, že β -kasein dosahuje určitého stupně vyšších struktur. Je tedy předpokládáno, že má velmi flexibilní a nestabilní molekulu. Nedostatek stabilních sekundárních a terciárních struktur způsobuje stabilitu β -kaseinu vůči denaturačním činidlům, např. močovině, a denaturačnímu účinku vysokých teplot, což taktéž přispívá k jeho vysoké povrchové aktivitě (Fox, 2001).



Obr. 8: Spekulativní schématický obrázek adsorbovaných vrstev (Marinova et al., 2009).

3.4.2.2 Pěnotvorné vlastnosti syrovátkových bílkovin

Syrovátkové proteiny vykazují díky své struktuře dobrou povrchovou aktivitu a tak se mohou uplatňovat jako stabilizátory pěn a emulzí. Pěnotvorné vlastnosti bílkovin syrovátky jsou dány jejich rychlostí difúze na fázovém rozhraní, mírou adsorpce na fázovém rozhraní, možností rozvinout globulární molekulární strukturu a schopností agregace na fázovém rozhraní (Tamm et al., 2012).

Povrchové vlastnosti syrovátkového koncentrátu (WPC) jsou odlišné od vlastností β -LG. Bez ohledu na konkrétní povrchovou kompozici se adsorpční vrstva skládá z globulárních proteinů. Při přirozeném pH mléka jsou molekuly syrovátkových bílkovin záporně nabity a elektrostatický odpor zabraňuje tvorbě husté adsorpční vrstvy. Globulární molekuly WPC se pravděpodobně nemohou zpevnit a zajistit nezbytnou tloušťku adsorpční vrstvy a tím stabilizaci pěny daleko od svého pI a to i po přidání elektrolytu. Pěnění WPC a syrovátkových izolátů (WPI) je maximální v blízkosti jejich efektivního pI, tedy $\approx$ pH 4,2 (Marinova et al., 2009).

3.4.2.3 Vliv tepelného ošetření na pěnotvorné vlastnosti mléčných bílkovin

Tepelné ošetření mléka má za cíl zajistit jeho zdravotní nezávadnost a prodloužit trvanlivost. U mléka, které je používáno na výrobu mléčných výrobků, jsou voleny parametry záhřevu také s ohledem na dosažení požadovaných organoleptických vlastností (Raikos, 2010).

Mléko lze ošetřit dvěma základními způsoby, pasterací nebo sterilací. Dlouhodobá pasterace mléka probíhá při teplotě 63 °C po dobu 30 min, šetrná pasterace při 72 °C po dobu minimálně 15 s a vysoká pasterace při teplotách nad 85 °C po dobu 5 – 8 s. Trvanlivost pasterovaného mléka je obvykle 7 dní při 6 – 8 °C. Druhou možností je sterilace, která se dělí na UHT a sterilaci v obalech. UHT režim probíhá v rozmezí teplot od 135 do 150 °C po dobu 2 – 10 s. Sterilace v obalu pak při 110 až 140 °C po dobu 20 - 30 min. Sterilované mléko musí být do svého otevření mikrobiologicky stabilní při pokojové teplotě minimálně 6 měsíců. Mezi pasterací a sterilací je tzv. Extended Shelf Life (ESL) záhřev, jež probíhá při teplotě 125 – 135 °C po dobu minimálně 0,5 s. Trvanlivost takto ošetřených výrobků je 6 týdnů při teplotě 6 – 8 °C (Muehlhoff et al., 2013; Walstra et al., 2006).

Při zahřívání mléka nad 65 °C dochází k denaturaci syrovátkových bílkovin. Během denaturace se mění konformace proteinu, bílkovina se rozvine a hydrofobní skupiny, které byly dříve uvnitř molekuly jsou odkryty. Tento proces vede ke změnám funkčních vlastností proteinu. Denaturace může mít pozitivní, ale i negativní vliv na pěnotvorné vlastnosti mléčných bílkovin (Raikos, 2010).

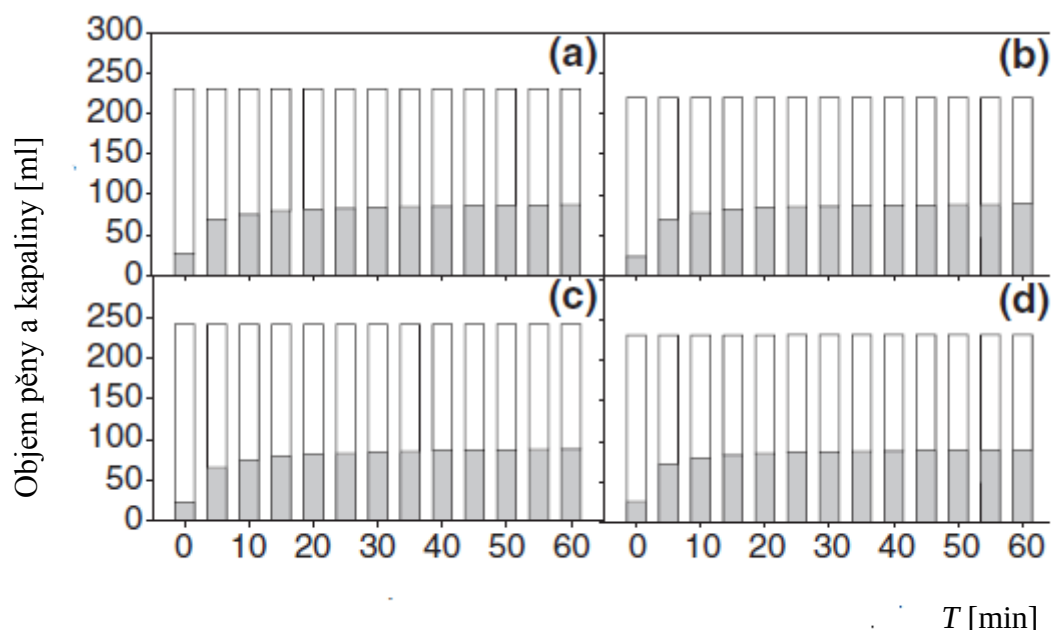
Hlavní bílkovina syrovátky, β -LG, obsahuje ve své vnitřní struktuře jednu thiolovou skupinu, která při denaturaci různými činidly nebo teplem reaguje s jinými bílkovinami z nichž je nejdůležitější κ -kasein. Tepelná denaturace β -LG nastává při zahřevu nad 75 °C po dobu delší jak 15 s (Fox, 2001).

Při tepelném zpracování syrového mléka se tedy začnou nejdříve tvořit malé agregáty β -LG a pokud se teplota nebo čas působení stále zvyšuje, jejich velikost roste. Jestliže dochází ke stálému zvyšování teploty nebo času zahřevu, začne denaturovat také další syrovátková bílkovina, α -LA. Ten poté vytváří komplexy s agregáty β -LG. Komplexy obou bílkovin se váží na povrch kaseinových micel, respektive na κ -kasein nebo zůstávají v séru mléka v rozpustné formě komplexů. Nicméně, nedávné studie ukazují, že pokud je přítomen κ -kasein, je preferována hydrofobní interakce a/nebo tvorba disulfidového můstku mezi frakcemi kaseinu a tepelně denaturovanými syrovátkovými proteiny. Tato vazba má ochranný účinek proti velkému množství tepelně indukovaných agregátů syrovátkových bílkovin. Jiné studie ukázaly, že α_{s1} - nebo β -kasein také inhibují tepelně indukované agregace syrovátkových proteinů nebo jiných globulárních proteinů, i přestože zde nemůže probíhat vazba pomocí disulfidových můstků (Raikos, 2010).

Vazba denaturovaných syrovátkových proteinů na kasein je ovlivněna také kyselostí mléka. Při hodnotách pH pod 6,6 je většina agregátů spojena s kaseinovými micelami, zatímco při hodnotách pH nad 6,6 se většina agregátů nachází v mléčném séru v rozpustné formě (Raikos, 2010).

3.4.2.4 Vliv koncentrace proteinů na pěnotvorné vlastnosti mléka

Koncentrace proteinů v odstředěném mléce je tak vysoká, že jí lze 4krát snížit, aniž by to ovlivnilo objem vzniklé pěny nebo její stabilitu (Huppertz, 2010). Borchering a kol. (2009) prokázali, že střední průměr bubliny (D_{10}) se snižuje s rostoucím obsahem bílkovin až do 4% koncentrace bílkovin (0,25 – 0,18 mm po 1 min a 0,41 – 0,29 mm po 20 min skladování). D_{10} s obsahem bílkovin 4 až 6 % pak byl již velmi podobný. Během skladování se bubliny k sobě přibližují a postupně splývají, což vede nejprve k ztenčování filmu mléka okolo nich a později k jejich prasknutí. Z tohoto důvodu je stabilita pěny nepřímo úměrná rychlosti disproportionace a srůstání bublin. Zdánlivá viskozita a povrchové napětí odstředěného mléka se zvyšujícím se obsahem proteinů rostou jen mírně a mají jen malý vliv na stabilitu pěny. Vliv koncentrace proteinů na pěnotvorné vlastnosti mléka je znázorněn na obr. 9 (Huppertz, 2010).



Obr. 9: Vliv koncentrace proteinů na objem a stabilitu mléčné pěny. Změna objemu pěny (bílá barva) a původní tekutiny (šedá barva) během skladování po dobu 60 min při teplotě 25 °C. Pěna byla vytvořena mechanickým šleháním 100 ml rekonstituovaného odtučněného mléka. Obsah bílkovin (a) 10,0; (b) 7,5; (c) 5,0; (d) 2,5 % hm. z celkového obsahu pevných látek (Huppertz, 2010).

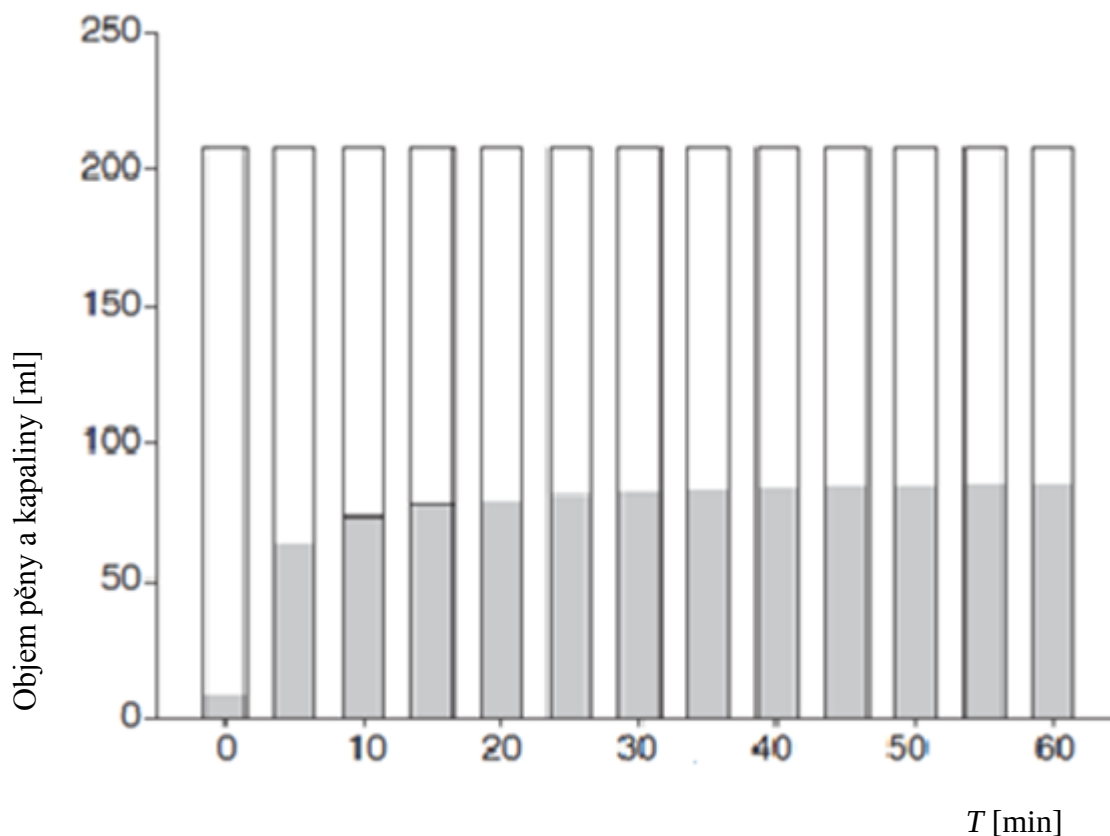
3.4.2.5 Vliv proteolýzy bílkovin na pěnotvorné vlastnosti mléka

Pěnotvorné vlastnosti odstředěného mléka jsou pravděpodobně ovlivněny proteolytickou degradací mléčných bílkovin. Snížení pěnivosti je téměř lineární s rostoucí koncentrací PP-fракce v mléce (Buccioni et al., 2013; Huppertz, 2010).

3.4.3 Vliv mléčného tuku na pěnotvorné vlastnosti mléka

Vliv množství mléčného tuku na pěnivost mléka lze charakterizovat rozdíly mezi pěnotvornými schopnostmi mléka odstředěného a plnotučného. Pěny vyrobené z odstředěného a plnotučného mléka se značně liší ve vzhledu a velikosti bublin. Z odstředěného mléka vznikají objemnější a stabilnější pěny, jež jsou stabilizovány především mléčnými bílkoviny (Kamath et al., 2008a). Tyto rozdíly také potvrzují studie Gamboa a Barraquia (2012) a Oetjena a kol (2014). Na obr. 10 je znázorněna pěnivost a stabilita pěny vyrobené z odstředěného mléka. Z obr. 9 vyplývá, že po 30 s šlehání rekonstituovaného odstředěného mléka zdvojnásobilo toto svůj objem. Po 1h skladování takto připravené mléčné pěny byl její objem jen málo ovlivněn. Objem kapaliny pod pěnou se však zvyšoval s rostoucí dobou skladování, ačkoliv výška horní části hranice pěny zůstala relativně nedotčena. Z toho vyplývá, že snižování objemu pěn z odstředěného mléka je způsobeno především odtokem kapaliny (Gamboa and Barraquia, 2012; Huppertz, 2010; Oetjen et al., 2014).

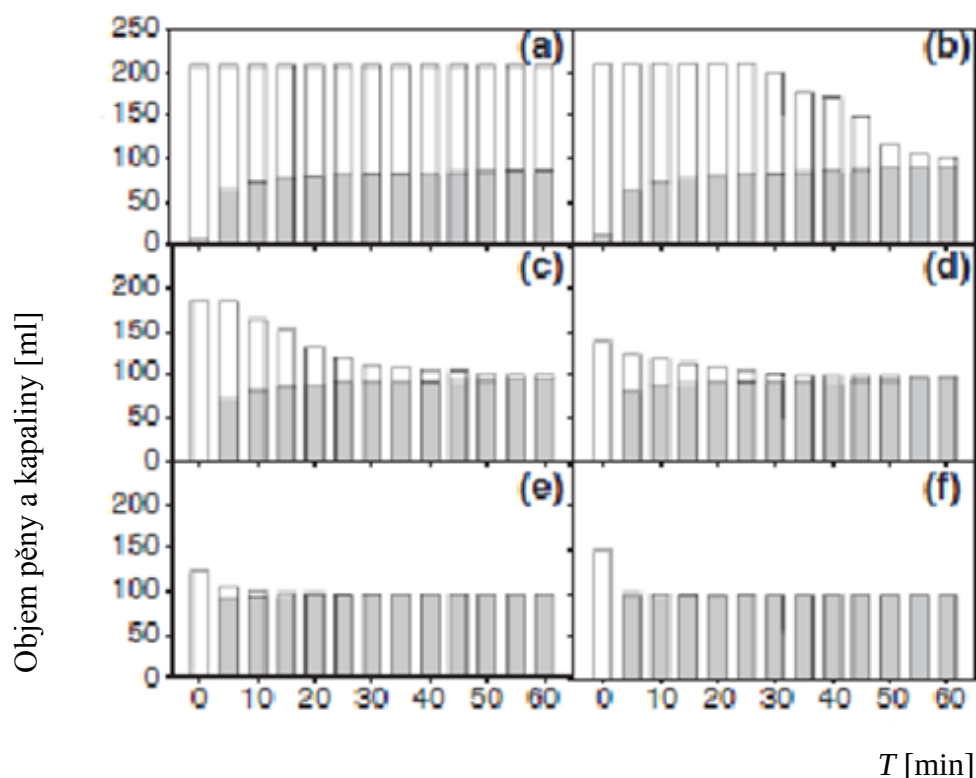
Pěny z plnotučného mléka naopak vykazují menší velikost bublin, které také rychleji praskají v důsledku jejich splývání během skladování kvůli vyššímu obsahu volného kapalného tuku (Kamath et al, 2008a).



Obr. 10: Pěnotvorné vlastnosti odstředěného mléka. Změna objemu pěny (bílá barva) a původní kapaliny (šedá barva), během skladování po dobu 60 min při teplotě 25 °C. Pěna byla vytvořena mechanickým šleháním 100 ml rekonstituovaného odstředěného mléka (Huppertz, 2010).

Tuk v kontinuální fázi má i v malém množství silně destabilizující vliv jak na tvorbu pěny, tak na její stabilitu. Obecně, vliv mléčného tuku na pěnotvorné vlastnosti mléka závisí na jeho složení, skupenství a na teplotě pění. Mléčný tuk se může v tukových kuličkách nalézat ve dvou formách a jejich kombinacích: v tekuté a v krystalické (Kamath et al., 2008a).

Vliv obsahu mléčného tuku na pěnotvorné vlastnosti mléka je znázorněn na obr.11. Je zde patrné, že přidání 1 dílu plnotučného mléka na 99 dílů odstředěného mléka, což odpovídá koncentraci 0,04 % hm. tuku v mléce, silně snižuje stabilitu pěny. Po zvýšení podílu plnotučného mléka se pak postupně snižoval jak objem, tak stabilita pěny. Při koncentraci 0,4 % hm. tuku v mléce, již stabilita pěny byla nižší, než 5 min (Huppertz, 2010).



Obr. 11: Vliv obsahu mléčného tuku na pěnotvorné vlastnosti mléka. Změna objemu pěny (bílá barva) a původní kapaliny (šedá barva) během skladování po dobu 60 min při teplotě 25 °C. Pěna byla vytvořena mechanickým šleháním 100 ml 10 % hm. rekonstituovaného odstředěného mléka a 13 % hm. rekonstituovaného plnotučného mléka. Poměr odstředěné : plnotučné mléko (a) 100 : 0; (b) 99 : 1; (c) 95 : 5; (d) 90 : 10; (e) 75 : 25; (f) 0 : 100 (Huppertz, 2010).

3.4.3.1 Vliv polárních lipidů

Specifické povrchově aktivní frakce mléčného tuku (polární lipidy, fosfolipidy a produkty lipolýzy) ovlivňují pěnivost mléka tím, že mohou soutěžit s mléčnými bílkovinami na fázovém rozhraní jak bylo podrobně popsáno v kap. 3.4.1 (Huppertz, 2010).

3.4.3.2 Fosfolipidy

Hladina fosfolipidů v mléce se mění s ročním obdobím, nejvyšší obsah byl zaznamenán v zimě, nejnižší pak v létě. Bylo zjištěno, že změny obsahu fosfolipidů v mléce silně korelují se změnami stability pěny. Vysoké hladiny fosfolipidů vedly k nízké stabilitě pěny a naopak, což lze vysvětlit konkurencí stabilizačních mechanismů polárních lipidů a bílkovin, které byly podrobně popsány v kap. 3.4.1 (Huppertz, 2010).

3.4.3.3 Produkty lipolýzy

Hlavním zdrojem těchto látek v mléce je lipolýza, což je enzymatický proces rozkladu TAG. Jedná se o DAG, MAG, a především FFA (Huppertz, 2010). Nativní lipázy mléka jsou inaktivovány při konvenční pasteraci, ale poškození membrány tukových kuliček ještě před inaktivací lipáz může mít za následek hydrolýzu tuku. Lipolýza může být také důsledkem působení bakteriálních enzymů, které se vyskytují v mléce s horší mikrobiální kvalitou. Na rozdíl od nativních lipáz mohou být bakteriální enzymy velmi tepelně stabilní a zůstat aktivní i po pasteraci nebo dokonce po UHT ošetření (Deeth, 2006).

Vyšší koncentrace FFA má negativní vliv na pěnotvorné vlastnosti mléka. Pěnivost a stabilita pěny se snižuje a hrubost pěny se zvyšuje s jejich rostoucí koncentrací. FFA přítomné v mléčné pěně totiž pravděpodobně způsobují rychlé srůstání vzduchových bublin. Při koncentraci FFA nižší, než $3,0 \mu\text{eqv}\cdot\text{ml}^{-1}$, je škodlivý účinek FFA větší, když je mléko pěněné při nižších teplotách. Při vyšších koncentracích FFA (nad $3,0 \mu\text{eqv}\cdot\text{ml}^{-1}$), jsou pěnotvorné vlastnosti mléka zhoršené bez ohledu na teplotu, při které bylo mléko napěněno. Povrchové napětí mléka klesá s koncentrací FFA a tím dochází ke zhoršení jeho pěnotvorných vlastností. Nicméně hodnoty absolutního povrchového napětí mléka nemohou být použity jako ukazatel koncentrace FFA a pěnotvorných schopností, protože ostatní komponenty mléka jako jsou bílkoviny, tuky a fosfolipidy tuto hodnotu také významně ovlivňují a mají tak tendenci maskovat vliv měnících se koncentrací FFA (Kamath et al., 2008a).

Ve své studii Buchanan (1965) pozoroval lineární vztah mezi povrchovým napětím mléka a objemem pěny. Studie Kamatha a kol. (2008b) potvrzují tato zjištění a ukazují, že poruchy pěnotvorných vlastností mléka jsou způsobeny jeho sníženým povrchovým napětím v důsledku lipolýzy. Buchanan (1965) pozoroval také závislost mezi délkou řetězců mastných kyselin a pěnotvornými schopnostmi mléka. Došel k závěru, že pěnotvorné vlastnosti mléka se zhoršují s rostoucí délkou řetězce mastných kyselin. Po přidání kyseliny máselné byla pěnivost lepší, než po přidání kyseliny kaprylové, kde byly pěnotvorné vlastnosti mléka lehce sníženy, a po přidání sodné soli kyseliny stearové již došlo ke značnému snížení pěnivosti.

3.4.4 Vliv teploty na pěnotvorné vlastnosti mléka

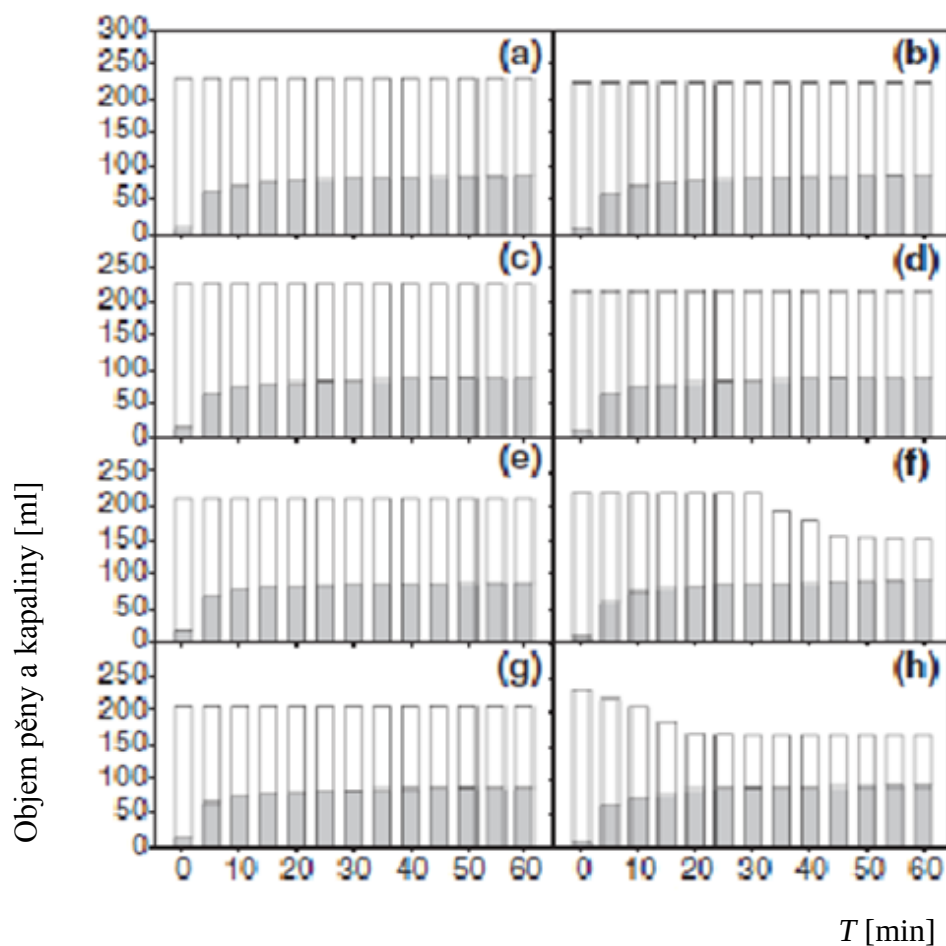
Obecně lze vliv teploty na pěnotvorné vlastnosti mléka charakterizovat tak, že objem pěny se zvyšuje postupně s rostoucí teplotou mléka, zatímco násleh pěny a průměr bublin klesá. Při rostoucí teplotě totiž dochází k poklesu povrchového napětí a viskozity mléka, který má za následek, že proteiny působící jako stabilizátory mléčné pěny mohou rychleji difundovat k rozhraní plyn-kapalina a tak efektivněji stabilizovat systém (Borchertding et al., 2008; Kamath et al., 2008b). Ze studie Kamatha a kol. (2008b) vyplývá, že stabilita pěn z odstředěného mléka je také silně ovlivněna teplotou, při které je pění prováděno. Bylo zjištěno, že pěny z odstředěného mléka mají vyšší stabilitu když, jsou vytvářeny při 45 °C, než pěny připravené při vyšší nebo nižší teplotě. Hoffmann a kol. (2002) uvádí, že mléčné pěny z odstředěného mléka tvořené při 50 °C byly podstatně stabilnější než ty, které vznikaly při teplotě 70 °C. Není zcela jasné, proč pěny z odstředěného mléka mají vyšší stabilitu mezi 40 – 50 °C. Kamath a kol. (2008b) uvedli, že tento jev může být pravděpodobně způsoben tím, že při teplotě 45 °C je 95 % kaseinu ve formě micel, což pravděpodobně zvyšuje stabilitu pěny. Důvodem ke snížení stability pěn vytvořených z odstředěného mléka při teplotě nad 45 °C by mohl být disociovaný kasein, který se vyskytuje zejména při teplotě nad 60 °C. Úroveň disociovaného kaseinu v mléce se také zvyšuje s klesající teplotou mléka z 45 °C na 5 °C. β -kasein, který je sice vysoce povrchově aktivní, ale tvoří nestabilní pěny, představuje až 60 % z disociovaných kaseinů při teplotě 5 °C.

Plnotučné mléko tvoří nejhůře stabilní pěny v rozmezí od 5 do 35 °C. Při této teplotě se nachází mléčný tuk jak ve formě kapalné, tak pevné a tukové kuličky jsou křehké. Při procesu pění tak mohou tukové krystaly prorazit membránu tukových kuliček a tenký film mezi tukovou kuličkou a rozhraním plyn-mléko, což vede k šíření kapalného tuku. Protože se kapalný tuk rychle adsorbuje na fázové rozhraní, nedochází k tvorbě viskoelastické mezifázové vrstvy, která je nutná ke stabilizaci pěny. Dochází tedy k praskání a srůstání bublin (Kamath et al., 2008a; Oetjen et al., 2014). Naopak při teplotách nižších než 10 °C je většina mléčného tuku vykrytalizovaná, což dává tukové kuličce výrazně vyšší odolnost proti deformaci a narušení (Huppertz, 2010). Při teplotách mléka nad 40 °C je veškerý tuk v kapalném stavu a to také díky vyšší elasticitě snižuje možnost prasknutí tukové kuličky a tím destabilizaci mléčné pěny (Kamath et al., 2008a).

3.4.5 Vliv pH na pěnotvorné vlastnosti mléka

Při pokojové teplotě je pH čerstvého mléka 6,6 – 6,7. Změna pH vede ke změně koloidních vlastností mléčných bílkovin. Snížení pH vede ke zvýšení poměru nemicelárního kaseinu, vápníku a fosfátů (Borcherding et al., 2009). Vlivem pH na pěnotvorné vlastnosti odstředěného mléka se zabýval Borcherding a kol. (2009) a výsledky jejich studie jsou znázorněny na obr. 12. Je z něj dobře vidět, že objem pěny při pH 6,2; 6,5; 6,7 a 7,0 (a – h) byl prakticky stejný a všechny vzorky vykazovaly též dobrou stabilitu během skladování po dobu 1 h. D_{10} byl také ovlivněn pH v rozmezí 6,2 – 7,0 (a – h) (Huppertz, 2010).

Pokud bylo pH sníženo na hodnotu 5,6 došlo ke zvýšení pěnivosti odstředěného mléka. Tato zvýšená pěnivost mohla být způsobena disociací zvláště β -kaseinu z kaseinových micel. Při pH 4,5 – 5,0 mělo již mléko velmi špatné pěnotvorné vlastnosti, protože při této hodnotě pH probíhá vysrážení kaseinu. Stabilita pěny se zvyšovala se snižujícím se rozdílem mezi pH pění a pI kaseinu. Elektrostatické přitažlivé síly mezi bílkovinami jsou nejsilnější v jejich pI. To má za následek maximální adsorpci proteinu na fázové rozhraní. Mezifázové filmy, díky elektrostatickým vazbám mezi molekulami, jsou nejsilnější, mají vysokou viskozitu a elasticitu (Borcherding et al., 2009).



Obr. 12: Vliv pH na pěnotvorné vlastnosti odstředěného mléka. Změna objemu pěny (bílá barva) a původní tekutiny (šedá barva), během skladování po dobu 60 min při teplotě 25 °C. Pěna byla vytvořena mechanickým způsobem ze 100 ml tepelně neošetřeného (a, c, e ,g) nebo tepelně ošetřeného (10 min, 90 °C; b, d, f, h) rekonstituovaného odstředěného mléka o sušině 10 % hm. (a; b) pH 6,2 ;(c; d) 6,5 ;(e; f) 6,7 ;(g; h) 7,0 (Huppertz, 2010).

3.4.6 Vliv obsahu vápenatých iontů na pěnotvorné vlastnosti mléka

Rovnováha minerálních látek v mléce má velký vliv především na stabilitu kaseinu a kaseinových micel. Po přidavku vápenatých solí kyseliny citronové, ethylendiamintetraoctové či hexametafosforečné, jež mají chelatační účinek, byly zaznamenány lepší pěnotvorné vlastnosti mléka díky disociaci kaseinových micel (Augustin and Clarke, 2008; Ward et al., 1997). Ward a kol. (1997) uvedli, že přidavek vápenatých činidel do mléka zvýšil objem vzniklé pěny a stabilita pěny vůči odvodnění se také zlepšila. Lepší pěnivost vysvětlovali zvýšením obsahu nemichelárních proteinů, které se mohou rychle adsorbovat na rozhraní vzduch-kapalina.

3.4.7 Vliv tepelného ošetření mléka

Při záhřevu mléka na teplotu 90 °C po dobu 10 min denaturují, bez ohledu na pH (6,2; 6,5; 6,7 nebo 7,0), téměř všechny syrovátkové bílkoviny, které však mají jen malý vliv na pěnivost mléka (Huppertz, 2010). Huppertz (2010) uvádí, že stabilita mléčných pěn je do značné míry ovlivněna tepelnou zátěží mléka v průběhu prvních 30 min pění nebo hned po napění. Při delší době skladování byly pěny z tepelně upraveného mléka méně stabilní než ty z tepelně neošetřených vzorků. Tepelné ošetření mlék bylo provedeno při pH 6,7 nebo 7,0. Kamath a kol. (2008a) uvádí, že pěny vyrobené z pasterizovaného odstředěného mléka při teplotě 5 – 85 °C byly více stabilní než ty, které vznikly z UHT odstředěného mléka za stejných podmínek pění. Tepelné zpracování má jen malé účinky na rychlost vysychání pěn z odstředěného mléka (Kamath et al., 2008a)

Lepší pěnivost UHT než pasterovaného plnotučného mléka při teplotě 5 až 35 °C, kterou zaznamenal Kamath a kol. (2008b) může být důsledkem vzniku tepelně indukovaných agregátů syrovátkových bílkovin s kaseinem, které se nachází na povrchu homogenizovaných tukových kapének a stabilizují jejich membránu proti narušení. Vyšší stabilita pěny z UHT homogenizovaného plnotučného mléka, ve srovnání se syrovým plnotučným mlékem a pasterovaným homogenizovaným plnotučným mlékem při teplotě 45 °C, souvisí pravděpodobně také s touto stabilizací tukových kuliček.

Agregáty chrání tukovou kuličku i během chladnutí pěny, tudíž nedochází k jejímu narušení tukovými krystaly, které se tvoří v důsledku poklesu teploty. UHT mléko má navíc vyšší viskozitu než syrové plnotučné mléko a pasterované homogenizované plnotučné mléko, což má za následek pomalejší tok kapaliny a tedy vyšší stabilitu pěny. Na rozdíl od syrového plnotučného mléka a pasterovaného homogenizovaného plnotučného mléka, která prokázala progresivní zvýšení stability pěny s rostoucí teplotou, stabilita pěny z trvanlivého homogenizovaného plnotučného mléka dosáhla maxima při teplotě 65 °C. Při následném zvýšení teploty na 75 a 85 °C došlo naopak k poklesu stability pěny. Homogenizované plnotučné pasterované nebo UHT ošetřené mléko také vykazovalo lepší pěnotvorné schopnosti než syrové plnotučné mléko v teplotním rozmezí mezi 5 – 35 °C, tedy v oblasti křehkých tukových kuliček (Kamath a kol., 2008b).

Na poměr denaturovaných syrovátkových bílkovin napoutaných na kaseinové micely a rozptýlených v mléčném séru má silný vliv pH. To je pravděpodobně důvodem toho, že tepelné zpracování mléka při pH 6,2 nebo 6,5 mělo pouze malý vliv na stabilitu z něj vytvořené pěny, zatímco jeho tepelné zpracování při pH 6,7 nebo 7,0 mělo naopak velký vliv na stabilitu z něj vzniklé pěny. Mléko zahřívání při pH 6,2 nebo 6,5 má denaturované syrovátkové proteiny převážně spojené s kaseinovými micelami, zatímco mléko, které je tepelně ošetřeno při pH 6,7 nebo 7,0, má značnou část denaturovaných syrovátkových proteinů v séru mléka. Agregáty syrovátkových bílkovin přítomné v mléčném séru pak brání vytvoření soudržných proteinových vrstev na rozhraní plyn-voda, čímž snižují stabilitu mléčné pěny (Huppertz, 2010).

3.4.8 Vliv homogenizace

Homogenizace je proces, při kterém je mléko pod vysokým tlakem protlačováno skrz malou štěrbinu. Mléčný tuk je tím rozbit na částice, o velikosti menší než 1 μm, jež zůstanou emulgované v mléku a nevyvstávají na hladině. Cílem homogenizace je zlepšení konzistence a kvality konzumního mléka. Homogenizací dochází ke 3 základním pochodům, které ovlivňují pěnivost mléka (Kamath et al., 2008b).

Prvním pochodem je zmenšení mezifázových ploch vhodných k případnému šíření mléčného tuku snížením velikosti tukových kuliček. Díky tomu se kapalný tuk šíří omezeně, čímž se snižuje riziko, že by vyvolal destabilizaci mléčné pěny (Kamath et al., 2008b).

Díky zmenšení tukových kuliček je také snížena velikost krystalů a množství kapalného tuku v kuličce. Díky tomu klesá jak riziko propíchnutí tukové kuličky, tak i následné množství vylitého kapalného podílu (Kamath et al., 2008b).

Třetím pochodem je pak snížení citlivosti tukových kuliček k narušení tím, že při homogenizaci vznikají obaly tukových kuliček obsahující kaseinové micely a syrovátkové bílkoviny, jež mají vyšší mechanickou odolnost vůči narušení než původní membrány tukových kapének (Kamath et al., 2008b).

3.4.9 Vliv způsobu napěnění na pěnotvorné vlastnosti mléka

Studie Goha a kol. (2009) ukazují, že různé způsoby vzniku pěny (studené provzdušňování, vstřikování páry a mechanické míchání) generují různě stabilní a našlehané pěny. V rámci jedné metody jsou tyto parametry s ohledem na složení a tepelné ošetření mléka (rekonstituované odstředěné mléko, pasterované odstředěné mléko, UHT odstředěné mléko, pasterované plnotučné mléko, UHT plnotučné mléko) srovnatelné.

4 Závěr

Vypracovaná literární rešerše potvrzuje stanovenou hypotézu, že pěnotvorné vlastnosti konzumního mléka jsou ovlivněny jeho složením, fyzikálně-chemickými parametry a technologií výroby.

Proces tvorby pěny závisí jak na složení mléka (bílkoviny, mléčný tuk) tak na jeho technologické úpravě (tepelné ošetření mléka, homogenizace). Nejdůležitější složkou mléka jsou bílkoviny. Při tvorbě pěn se uplatňují jako povrchově aktivní látky, jež je stabilizují. Koncentrace bílkovin v mléce je dostatečná k zajištění jeho adekvátních pěnotvorných vlastností. Avšak snížení pěnivosti mléka je téměř lineární s rostoucí koncentrací produktů proteolýzy. Proteiny dělíme na dva druhy a to kasein a syrovátkové bílkoviny. Kasein má lepší pěnotvorné schopnosti než syrovátkové bílkoviny, neboť tvoří adsorpční vrstvy, které jsou hustší, silnější a zajistí tak lepší stabilizaci systému. Povrchové vlastnosti kaseinů jsou určeny převážně β -kaseinem, který má vysokou povrchovou aktivitu, díky níž má též dobré pěnotvorné schopnosti, ačkoli stabilita pěn, je-li disociován, je nižší. Pěny z odstředěného mléka, u kterých je vliv přítomnosti tuku minimální, mají nejvyšší stabilitu, když jsou tvořeny při 45 °C, pravděpodobně díky tomu, že při teplotě 45 °C je 95 % kaseinu ve formě micel.

Mléko obsahuje ještě jeden druh pěnotvorných agens, kterými jsou polární lipidy. Avšak tyto vytváří méně stabilní systémy, než je tomu v případě bílkovin. Mechanismus stabilizace těchto 2 druhů povrchově aktivních látek je protichůdný. Volný mléčný tuk přítomný v kontinuální fázi má silně negativní vliv na pěnotvorné vlastnosti mléka. Přítomnost fosfolipidů a volných mastných kyselin také silně zhoršuje pěnivost mléka a stabilitu vytvořené pěny. Plnotučné mléko tvoří nejvíce stabilní pěny tehdy, je-li tuk v tukových kuličkách plně kapalný nebo pevný, tedy při teplotách < 5 °C a > 35 °C.

Homogenizace má na pěnotvorné vlastnosti mléka pozitivní vliv, protože snižuje velikost tukových kuliček a tím se zmenšují i mezifázové plochy po kterých se může tekutý mléčný tuk destabilizující vzniklou pěnu šířit. Má tedy zásadní význam u plnotučného mléka.

Pěnivost plnotučného a odstředěného mléka dále ovlivňuje pH, obsah vápenatých solí, tepelné ošetření a způsob napěnění. Nejvyšší pěnivost odstředěného mléka byla zaznamenána při pH 5,6 pravděpodobně z důvodu disociace zvláště β -kaseinu z kaseinových micel. Po přidavku vápenatých solí byl zaznamenán zvýšený objem pěny a lepší pěnicí vlastnosti odstředěného mléka. Lepší pěnivost lze opět pravděpodobně vysvětlit zvýšením obsahu nemichelárních proteinů.

Existují studie o tom, že různé metody pění generují různě stabilní a našlehané pěny.

5 Seznam literatury

- Ashton, L., Dusting, J., Imomoh, E., Balabani, S., Blanch, E. W. 2010. Susceptibility of Different Proteins to Flow-Induced Conformational Changes Monitored with Raman Spectroscopy. *Biophysical Journal*. 98. 707 – 714.
- Augustin, M. A., Clarke, P. T. 2008. Skim milk powders with enhanced foaming and steam-frothing properties. *Dairy Science and Technology*. 88. 149 – 161.
- Buccioni, A., Minieri, S., Rapaccini, S. 2013. Effect of total proteose-peptone content on the variability of bovine milk foaming property. *Italian Journal of Animal Science*. 12 (1). 72 – 76.
- Buchanan, R. A. 1965. Lipolysis and the frothing of milk. *The Australian Journal of Dairy Technology*. 20. 62 – 66.
- Borcherding, K., Lorenzen, P. CH., Hoffmann, W. 2009. Effect of protein content, casein-whey protein ratio and pH value on the foaming properties of skimmed milk. *International Journal of Dairy Technology*. 2. 161 – 169.
- Borcherding, K., Hoffmann, W., Lorenzen, P. CH., Schrader, K. 2008. Effect of milk homogenisation and foaming temperature on properties and microstructure of foams from pasteurised whole milk. *LWT – Food Science and Technology*. 10. 2036 – 2043.
- Bos, A. M., Nylander, T., Arnebrandt, T., Clark, D. C. 1997. Protein/emulsifier interactions. *Food Emulsifiers and their Application*. 95 – 146.
- Considine, T., Patel, H. A., Anema, S. G., Singh, H., Creamer, L. K. 2007. Interactions of milk proteins during heat and high hydrostatic pressure treatments — A Review. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*. 8. 1 – 23.
- Deeth, H. C. 2006. Lipoprotein lipase and lipolysis in milk. *International Dairy Journal*. 16. 555 – 562.

FAOSTAT. 2015. Statistická databáze FAO. [online] [cit. 2015-03-05]. Dostupné z < <http://faostat.fao.org/>>

Fox, P. F. 2001. Milk proteins as food ingredients. *International Journal of Dairy Technology*. 54. 41 – 55.

Fox, P. F., Brodkorb, A. 2008. The casein micelle. Historical aspects current concepts and significance. *International Dairy Journal*. 18. 677 – 684.

Fox, P. F., McSweeney, P. L. H. 1998. *Dairy Chemistry and Biochemistry*. Blackie Academic & Professional. London. p. 478. ISBN: 0 412 72000 0.

Gallier, S., Cui, J., Olson, T. D., Rutherford, S. M., Ye, A., Moughan, P. J., Singh, H. 2013. In vivo digestion of bovine milk fat globules: Effect of processing and interfacial structural changes I Gastric digestion. *Food Chemistry*. 141. 3273 – 3281.

Gamboa, G. V., Barraquio, V. L. 2012. Foaming Properties at Different Fat Levels and Age of Milk. *Philipp Agric Scientist*. 3. 391 – 396.

Garcia, C., Antona, C., Robert, B., Lopez, CH., Armand, M. 2014. The size and interfacial composition of milk fat globules are key factors controlling triglycerides bioavailability in simulated human gastro-duodenal digestion. *Food Hydrocolloids*. 35. 494 – 504.

Goh, J., Kravchuk, O., Deeth, H. 2009. Comparison of mechanical agitation, steam injection and air bubbling for foaming milk of different types. *Milchwissenschaft*. 64. 121 – 124.

Graham, D. E., Phillips, M. C. 1980. Proteins at liquid interfaces IV Dilatational properties. *Journal of Colloid and Interface Science*. 76 (1). 227 – 239.

- Hoffmann, W., Wieczorek, A., Borchering, K. 2002. Investigation in formation and stability of milk foam. *Kieler Milchwirtschaftliche Forschungsberichte*. 3. 243 – 255.
- Huppertz, T. 2010. Foaming properties of milk: A review of the influence of composition and processing. *International Journal of Dairy Technology*. 4. 477 – 488.
- Huppertz, T., Fox, P. F., Kruif, K. G., Kelly, A. L. 2006. High pressure-induced changes in bovine milk proteins: A review. *Biochimica et Biophysica Acta*. 1764. 593 – 598.
- Jimenez-Junca, C. A., Gumy, J. C., Sher, A., Niranjana, K. 2011. Rheology of Milk Foams Produced by Steam Injection. *Journal of Food Science*. 9. 569 – 575.
- Kamath, S., Wulandewi, A., Deeth, H. 2008a. Relationship between surface tension, free fatty acid concentration and foaming properties of milk. *Food Research International*. 6. 623 – 629.
- Kamath, S., Huppertz, T., Houlihan, A. V., Deeth, H. C. 2008b. The influence of temperature on the foaming of milk. *International Dairy Journal*. 10 – 11. 994 – 1002.
- Kruif, C. G., Huppertz, T., Urban, V. S., Petukhov, A. V. 2012. Casein micelles and their internal structure. *Advances in Colloid and Interface Science*. 171 – 172. 36 – 52.
- Marinova, K. G., Basheva, E. S., Nenova, B., Temelska, M., Mirarefi, A. Y., Campbell, B., Ivanov, I. B. 2009. Physico-chemical factors controlling the foamability and foam stability of milk proteins: Sodium caseinate and whey protein concentrates. *Food Hydrocolloids*. 23. 1864 – 1876.
- Muehlhoff, E., Bennett, A., McMahon, D. 2013. Milk and dairy products in human nutrition. *FAO*. Rome. p. 376. ISBN: 978-92-5-107863-1.
- Murray, B. S. 2007. Stabilization of bubbles and foams. *Current Opinion in Colloid & Interface Science*. 12. 232 – 241.

Oetjen, K., Bilke-Krause, Ch., Madani, M., Willers, T. 2014. Temperature effect on foamability, foam stability, and foam structure of milk. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*. 460. 280 – 285.

Pereira, L. G. C., Johansson, C., Radke, C. J., Blanch, H. W. 2003. Surface forces and drainage kinetics of protein-stabilized aqueous films. *Langmuir*, 19 (18). 7503 – 7513.

Permyakov, E. A., Berliner, L. J. 2000. α -Lactalbumin: structure and function. *FEBS Letters*. 3. 269 – 274.

Pike, A. C. W., Brew, K., Acharya, K. R. 1996. Crystal structures of guinea-pig, goat and bovine α -lactalbumin highlight the enhanced conformational flexibility of regions that are significant for its action in lactose synthase. *Structure*. 4. 691 – 703.

Raikos, V. 2010. Effect of heat treatment on milk protein functionality at emulsion interfaces. A review. *Food Hydrocolloids*. 24. 259 – 265.

Silva, S., Espiga, A., Niranjana, K., Livings, S., Gumy, J. C., Sher, A. 2008. Formation and stability of milk foams. *Bubbles in Food*. 2. 153 – 161.

Stanić-Vučinić, D., Veličković, T. Č. 2013. The modifications of bovine β -lactoglobulin – effects on its structural and functional properties. *Journal of the Serbian Chemical Society*. 78. 445 – 461.

Tamm, F., Sauer, G., Scampicchio, M., Drusch, S. 2012. Pendant drop tensiometry for the evaluation of the foaming properties of milk-derived proteins. *Food Hydrocolloids*. 2. 371 – 377.

Walstra, P., Wouters, J. T. M., Geurts, T. J. 2006. *Dairy Science and Technology: Second Edition*. Taylor & Francis Group. Boca Raton. p. 782. ISBN: 0-8247-2763-0. 782.

Ward, B. R., Goddard, S. J., Augustin, M. A., McKinnon, I. R. 1997. EDTA-induced dissociation of casein micelles and its effect on foaming properties of milk. *Journal of Dairy Research*. 64. 495 – 504.

6 Seznam použitých zkratk a symbolů

BSA	krevní (hovězí) sérový albumin
CCP	koloidní fosforečnan vápenatý
D_{10}	střední průměr bubliny
DAG	diacylglyceroly
ESL záhřev	ultrapasterační záhřev
FFA	volné mastné kyseliny
Ig	imunoglobuliny
LA	laktalbumin
LG	laktoglobulin
MAG	monoacylglyceroly
MFGM	mléčná globulární membrána mléčného tuku
PC	fosfatidylcholin
PE	fosfatidylethanolamin
PI	fosfatidylinositol
PP-frakce	proteoso-peptonové frakce
PS	fosfatidylserin
SM	sphingomyelin
TAG	triglyceridy
WPC	koncentrát syrovátkových bílkovin
WPI	izolát syrovátkových bílkovin