

# **Vliv teploty na změnu povrchového napětí a viskozity mléka v závislosti na jeho tučnosti**

Bc. Markéta Lenikusová

---

Diplomová práce  
2018



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta technologická

---

---

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta technologická  
Ústav technologie potravin  
akademický rok: 2017/2018

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Markéta Lenikusová**  
Osobní číslo: **T16560**  
Studijní program: **N2901 Chemie a technologie potravin**  
Studijní obor: **Technologie potravin**  
Forma studia: **kombinovaná**

Téma práce: **Vliv teploty na změnu povrchového napětí a viskozity mléka v závislosti na jeho tučnosti**

Zásady pro vypracování:

### I. Teoretická část

1. Zpracujte krátkou literární rešerži v rozsahu popisující vlastnosti mléka z hlediska chemického složení a jeho fyzikálních vlastností.

### II. Praktická část

1. Zpracujte popis všech použitých experimentálních metod a postupů, specifikujte použité přístroje, chemikálie, software a jiné pracovní pomůcky použité při řešení DP.
2. Proveďte vlastní měření viskozity na průtokovém a rotačním viskozimetru pro max. 10 koncentrací standardizovaného mléka min. 3 teploty pro každý vzorek.
3. Proveďte výpočet parametrů tokových křivek, jejich modelování.
4. Zpracujte závěry z řešení DP.

Rozsah diplomové práce:

Rozsah příloh:

Forma zpracování diplomové práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

- [1] PARFITT, G. D. Dispersion of Powders in Liquids: with special reference to pigments. 2nd ed. London: Applied Science Publishers, 1973. ISBN 08-533-4533-3.
- [2] SUTHERLAND, Alan H. Varnam and Jane P. Milk and milk products: technology, chemistry and microbiology. Gaithersburg, Md: Aspen Publishers, 2001. ISBN 08-342-1955-7.
- [3] AKOH, Casimir C a David B MIN. Food Lipids: Chemistry, Nutrition, and Biochemistry. 2nd ed., rev. and expanded. New York: M. Dekker, c2002, xiii, 1005 p. Food science and technology (Marcel Dekker, Inc.). ISBN 08-247-0749-4.
- [4] PHADUNGATH, C. Casein Micelle Structure: a concise review. Casein micelle structure: a concise review. thailand, 2005, roč. 27, č. 1, s. 201-212.
- [5] SAHIN, Serpil, SUMNU Servet Gulum. Physical Properties of Foods. Springer, New York (2006). ISBN 0-387-3078-X.
- [6] HELDMAN Denis R. LUND Daryl B. Handbook of Food Engineering. CRC Press, Boca Raton (2007). ISBN 0-8247-5331-3.
- [7] FIGURA Ludger O., TEIXEIRA Arthur A. Food Physical. Physical Properties? Measurmetn and Application. Springer, Berlin (2007). ISBN 978-3-540-34191-8.

Vedoucí diplomové práce:

**prof. Ing. Lubomír Lapčík, Ph.D.**

Ústav technologie potravin

Datum zadání diplomové práce:

**2. února 2018**

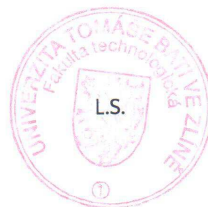
Termín odevzdání diplomové práce:

**25. dubna 2018**

Ve Zlíně dne 2. února 2018



doc. Ing. František Buňka, Ph.D.  
*děkan*



doc. Ing. František Buňka, Ph.D.  
*ředitel ústavu*

Příjmení a jméno: ..... Obor: .....

## PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že

- beru na vědomí, že odevzdáním diplomové/bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby <sup>1)</sup>;
- beru na vědomí, že diplomová/bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k nahlédnutí, že jeden výtisk diplomové/bakalářské práce bude uložen na příslušném ústavu Fakulty technologické UTB ve Zlíně a jeden výtisk bude uložen u vedoucího práce;
- byl/a jsem seznámen/a s tím, že na moji diplomovou/bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3 <sup>2)</sup>;
- beru na vědomí, že podle § 60 <sup>3)</sup> odst. 1 autorského zákona má UTB ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- beru na vědomí, že podle § 60 <sup>3)</sup> odst. 2 a 3 mohu užit své dílo – diplomovou/bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování diplomové/bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tedy pouze k nekomerčnímu využití), nelze výsledky diplomové/bakalářské práce využít ke komerčním účelům;

- beru na vědomí, že pokud je výstupem diplomové/bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Ve Zlíně .....

.....

---

<sup>1)</sup> zákon č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, § 47 Zveřejňování závěrečných prací:

(1) Vysoká škola nevýdělečně zveřejňuje disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce, u kterých proběhla obhajoba, včetně posudků oponentů a výsledku obhajoby prostřednictvím databáze kvalifikačních prací, kterou spravuje. Způsob zveřejnění stanoví vnitřní předpis vysoké školy.

(2) Disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce odevzdané uchazečem k obhajobě musí být též nejméně pět pracovních dnů před konáním obhajoby zveřejněny k nahlížení veřejnosti v místě určeném vnitřním předpisem vysoké školy nebo není-li tak určeno, v místě pracoviště vysoké školy, kde se má konat obhajoba práce. Každý si může ze zveřejněné práce pořizovat na své náklady výpisy, opisy nebo rozmnoženiny.

(3) Platí, že odevzdáním práce autor souhlasí se zveřejněním své práce podle tohoto zákona, bez ohledu na výsledek obhajoby.

<sup>2)</sup> zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 35 odst. 3:

(3) Do práva autorského také nezasahuje škola nebo školské či vzdělávací zařízení, užije-li nikoli za účelem přímého nebo nepřímého hospodářského nebo obchodního prospěchu k výuce nebo k vlastní potřebě dílo vytvořené žákem nebo studentem ke splnění školních nebo studijních povinností vyplývajících z jeho právního vztahu ke škole nebo školskému či vzdělávacímu zařízení (školní dílo).

<sup>3)</sup> zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 60 Školní dílo:

(1) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení mají za obvyklých podmínek právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla (§ 35 odst. 3). Odpírá-li autor takového díla udělit svolení bez vážného důvodu, mohou se tyto osoby domáhat nahrazení chybějícího projevu jeho vůle u soudu. Ustanovení § 35 odst. 3 zůstává nedotčeno.

(2) Není-li sjednáno jinak, může autor školního díla své dílo užit či poskytnout jinému licenci, není-li to v rozporu s oprávněnými zájmy školy nebo školského či vzdělávacího zařízení.

(3) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení jsou oprávněny požadovat, aby jim autor školního díla z výdělku jím dosaženého v souvislosti s užitím díla či poskytnutím licence podle odstavce 2 přiměřeně přispěl na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložily, a to podle okolností až do jejich skutečné výše; přitom se přihlédne k výši výdělku dosaženého školou nebo školským či vzdělávacím zařízením z užití školního díla podle odstavce 1.

## ABSTRAKT

V této práci byly popsány bílkoviny mléka a mléčný tuk, včetně tukových kuliček, a kaseinové micely. Hlavním cílem práce bylo stanovit fyzikální vlastnosti mléka. Povrchové napětí, kinematická a dynamická viskozita byly určeny u různých typů mléka (kravské, kozí) za pomoci vhodných laboratorních metod. Použitá teplota při tepelném ošetření a homogenizace mají vliv na fyzikální vlastnosti mléka. Byla stanovena hodnota kinematické i dynamické viskozity testovaných mlék v koncentrační řadě (0,5- 5,0 % hm.) při 4 různých teplotách. Došli jsme k závěru, že v koncentrační řadě se obě viskozity zvyšují, ale při konstantní koncentraci a rostoucích teplotách hodnoty viskozity klesaly. Povrchové napětí u kravského mléka bylo dvojnásobné oproti mléku kozímu.

Klíčová slova: mléko, kaseinová micela, tuková kulička, povrchové napětí, viskozita

## ABSTRACT

In this work, milk proteins and milk fat, including fat droplets and casein micelles, have been described. The main aim of this work was to determine the physical properties of milk. Surface tension, kinematic and dynamic viscosity were determined in various types of milk (cow milk, goat milk) using appropriate laboratory methods. The temperature of heat treatment and homogenization affect the physical properties of milk. The kinematic and dynamic viscosity of the tested milks in the concentration range (0.5 - 5.0 % w/w) were determined at 4 different temperatures. We conclude that both the kinematic and dynamic viscosity increased in the concentration range but decreased with rising temperature at a constant concentration. Surface tension of cow milk was double that of goat milk.

Keywords: milk, casein micelle, fat droplets, surface tension, viscosity

Toto místo slouží k poděkování lidem, kteří mi dopomohli k tomu, abych dokončila a zrealizovala svou práci, děkuji:

Prof. Ing. Lubomíru Lapčíkovi, Ph.D., vedoucímu práce za jeho čas a morální podporu,

Ing. Tomášovi Valentovi, konzultantovi práce za strávený čas a trpělivost,

Ing. Aleně Kalendové, Ph.D., za provedení FTIR analýzy,

Ing. et. Ing. Ludmile Zálešákové, za pomoc, čas strávený v laboratoři a cenné informace,

Doc, Mgr. Barboře Lapčíkové, Ph.D., za přístup do laboratoří

Dále bych chtěla poděkovat všem kolegům a zaměstnancům společnosti PEXX Consulting, s.r.o., za jejich pochopení při mém studiu.

V poslední řadě komu bych chtěla poděkovat je pan Tomáš Jurášek, který ve mne věřil, že vše se v dobré obrátí.

Prohlašuji, že odevzdaná verze bakalářské/diplomové práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

# OBSAH

<b>ÚVOD</b> .....	<b>10</b>
<b>I TEORETICKÁ ČÁST</b> .....	<b>11</b>
<b>1 MLÉKO A JEHO KOMPONENTY</b> .....	<b>12</b>
1.1 BÍLKOVINY .....	12
1.1.1 Kaseinové bílkoviny.....	14
1.1.1.1 Frakce kaseinových bílkovin .....	14
1.1.1.2 Kaseinová micela.....	16
1.1.2 Sérové bílkoviny .....	20
1.2 MLÉČNÝ TUK.....	22
1.2.1 Tuková kulička.....	24
<b>2 FYZIKÁLNÍ VLASTNOSTI MLÉKA</b> .....	<b>27</b>
2.1 FYZIKÁLNÍ VLASTNOSTI KAPEK MLÉČNÉHO TUKU.....	29
2.2 POVRCHOVÉ NAPĚTÍ MLÉKA .....	31
2.3 VSKOZITA MLÉKA.....	35
<b>II PRAKTICKÁ ČÁST</b> .....	<b>38</b>
<b>3 CÍL PRÁCE</b> .....	<b>39</b>
<b>4 METODIKA PRÁCE</b> .....	<b>40</b>
4.1 CHARAKTERISTIKA VZORKŮ .....	40
4.1.1 Kravské mléko.....	40
4.1.2 Kozí mléko .....	41
4.2 ÚPRAVA VZORKŮ .....	41
4.2.1 Úprava kozího mléka .....	41
4.3 STANDARDIZACE VZORKŮ .....	42
4.4 POVRCHOVÉ NAPĚTÍ .....	42
4.5 REOLOGIE MLÉKA.....	42
4.6 INFRAČERVENÁ SPEKTROSKOPIE S FOURIEROVOU TRANSFORMACÍ (FTIR).....	43
<b>5 VÝSLEDKY A DISKUZE</b> .....	<b>44</b>
5.1 POVRCHOVÉ NAPĚTÍ MLÉKA .....	44
5.1.1 Kravské mléko.....	46
5.1.2 Kozí mléko .....	49
5.2 KINEMATICKÁ VSKOZITA MLÉKA.....	50
5.2.1 Kravské mléko UHT .....	52
5.2.2 Kozí mléko pasterované.....	56
5.3 DYNAMICKÁ VSKOZITA MLÉKA .....	57
5.3.1 Kravské mléko.....	58
5.3.2 Kozí mléko .....	60



5.4 FTIR ANALÝZA .....	62
<b>ZÁVĚR .....</b>	<b>63</b>
<b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....</b>	<b>65</b>
<b>SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK .....</b>	<b>68</b>
<b>SEZNAM OBRÁZKŮ .....</b>	<b>70</b>
<b>SEZNAM TABULEK.....</b>	<b>72</b>
<b>SEZNAM GRAFŮ .....</b>	<b>73</b>
<b>SEZNAM PŘÍLOH.....</b>	<b>74</b>

## ÚVOD

Mléko lze označit za první biologickou tekutinu, která slouží k výživě mláďat včetně člověka. Hlavní složkou je voda, bílkoviny, tuk, sacharidy (laktóza), minerální látky a vitaminy.

V teoretické části této práce byly popsány především kaseinové a sérové bílkoviny a také mléčný tuk, který se vyskytuje ve formě tukových kuliček. Dle fyzikálních vlastností můžeme mléko rozdělit na tři fáze: emulzi, v níž se nachází mléčný tuk, koloidní roztok, ve kterém jsou přítomny bílkoviny, a molekulovou fázi, kde se vyskytují laktóza a minerální látky. Hlavní operací, která v předkládané studii byla prováděna, bylo odstředování mléka, jehož cílem bylo oddělit co nejvíce mléčného tuku, tak abychom získali mléčnou plazmu s minimálním obsahem tuku.

Hlavním cílem této práce bylo popsat, jaký má vliv obsah tuku v mléce na fyzikální vlastnosti mléka při různých teplotách. Koncentrační řada byla sestavena až za hranici přirozeného výskytu mléčného tuku v mléce. Teploty pro viskozitu byly zvoleny 26, 28, 30 a 35 °C, pro povrchové napětí byla určena teplota  $23 \pm 1$  °C. Kravské mléko a smetana byly zakoupeny v tržní síti a nebyly již dále mechanicky namáhány (odstředováním či homogenizací), ani chemicky upravovány. Kozí mléko je však dodáváno od výrobce jako nestandardizované, proto muselo být pro další práci ještě upraveno. Úprava a standardizace vzorků do koncentrační řady je popsána v praktické části. Lze konstatovat, že rozdílné chemické složení a především obsah mléčného tuku má vliv na viskozitu a povrchové napětí vzorků mléka.

Bylo zjištěno, že se zvyšováním teploty se sice obsah mléčného tuku nemění, ale mění se jeho vlastnosti, které jsou spolu s bílkovinami popsány v praktické části této práce. Byla též stanovena kinematická a dynamická viskozita vzorků kravského a kozího mléka a vzájemně porovnány jejich fyzikální vlastnosti. Hodnoty viskozity a povrchového napětí byly porovnány s dalšími publikacemi a získané výsledky byly také diskutovány vzhledem ke koncentrační řadě vzorků a použitým teplotám.

## **I. TEORETICKÁ ČÁST**

# 1 MLÉKO A JEHO KOMPONENTY

Mléko můžeme označit za komplexní biologickou tekutinu, která slouží k výživě mláďat a kojenců. V první fázi po porodu je produkováno nezralé mléko tzv. mlezivo, až po delším období je produkováno zralé mléko, které je již odlišné od nezralého mléka. Zralé mléko se již využívá pro potravinářské účely. Hlavní složkou mléka je voda dále v závislosti na druhu zvířete obsahuje různé obsah tuku, bílkovin a sacharidů, také v malém množství obsahuje minerální látky a další lipofilní a hydrofilní látky, které se do mléka dostávají z krevní plazmy. Kravské mléko patří mezi kaseinová mléka, společně s ovčím, kozím a bývolím [1,2,3].

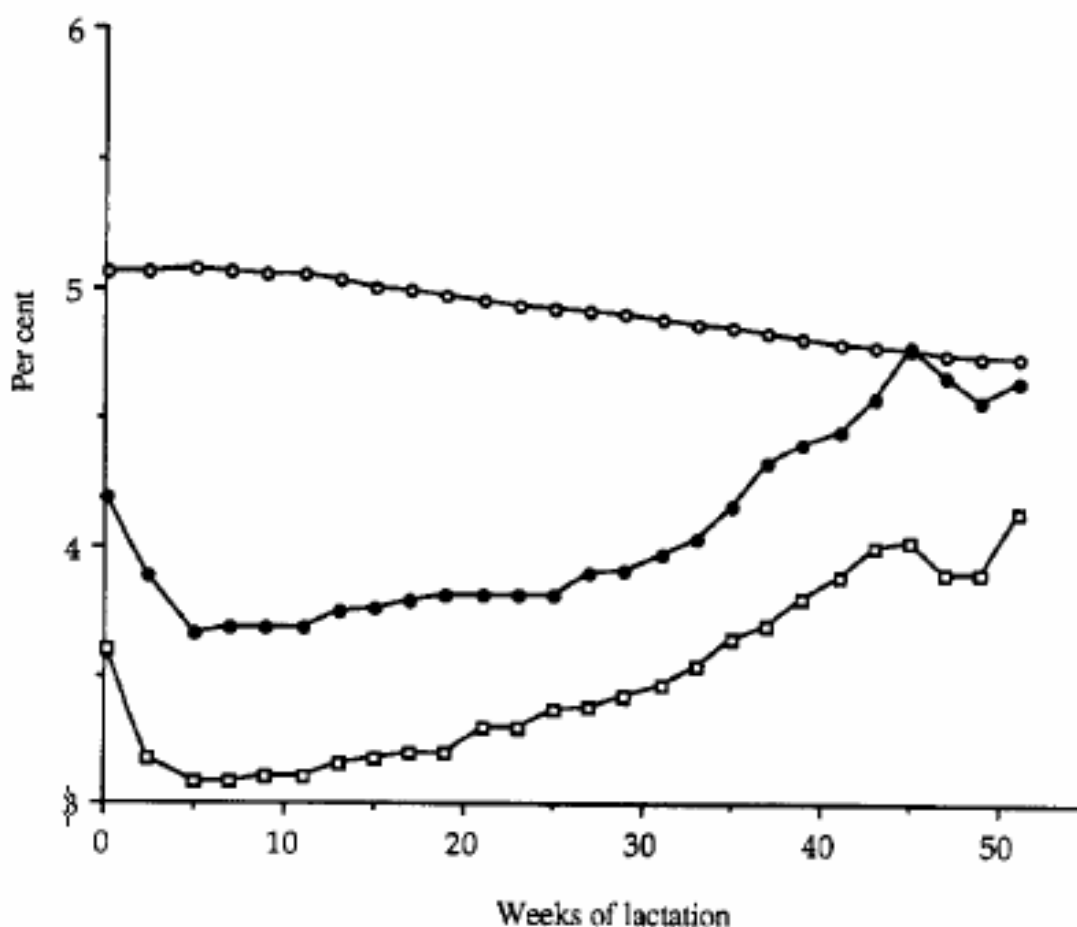
Další dělení je založeno dle vzájemného zastoupení hlavních druhů bílkovin. Mléka se dělí na kaseinová a albuminová [3]:

- kaseinová mléka jsou produkovány přežvýkavci. Kasein je zde zastoupen z nejméně 75 % celkových bílkovin,
- albuminová mléka produkují masožravci, všežravci a býložravci s jednoduchým žaludkem. Je zde tvořen kasein z méně jak 75 % celkových bílkovin.

## 1.1 Bílkoviny

Kravské mléko obsahuje přibližně 3,5 % bílkovin, jejich přirozenou funkcí je dodávat mláďatům esenciální aminokyseliny, které jsou potřebné pro jejich další vývoj. Bílkoviny mléka se dělí na kaseinové a sérové (syrovátkové). Můžeme také říci, že kaseiny celkem zaujmají 80 % všech bílkovin mléka. Přepočteno na 100 ml je celkový obsah sušiny mléka 12,7 g [1,10,12,19].

Kasein, který představuje v kravském mléce více než 80 % celkových bílkovin, se vysráží při pH 4,6 (izoelektrický bod) při teplotě 30 °C. Zbylé zastoupení zaujmají sérové proteiny. V poslední frakci mléčných bílkovin můžeme nalézt stopové frakce glykoproteidů. Na začátku a konci laktace je v mléce zvýšený podíl sérových bílkovin, tyto hladiny jsou zapříčiněny hladinou bílkovin krevního séra [1,10,12].



Obrázek 1) Porovnání koncentrací laktózy (○), tuku (●) a bílkoviny (□) v mléce (% obj.) v závislosti na stádiu laktace [12]

Obsah bílkovin mírně klesá až na svoje minimum, již po několika týdnech jeho koncentrace vzrůstá a asi po 5-ti týdnech laktace klesá obsah tuku v mléce, ke konci laktace se však zvyšuje. O obsahu laktózy můžeme říci, že je takřka konstantní [12].

Bílkoviny můžeme označit jako nejkompexnější složky mléka, jelikož určují základní fyzikální a chemické vlastnosti mléka. Vyznačují se vysokou nutriční hodnotou a některé mají významnou biologickou funkci např. imunoglobuliny, laktoferin a enzymy [4].

V celkovém zastoupení dusíku v mléce je v ideálním případě v bílkovinách jen 93 – 95 % a zbylý dusík je obsažen v nedusíkatých bílkovinných látkách. Tato hodnota se označuje jako hrubá bílkovina, kdy čistá bílkoviny je snížena o obsah nedusíkatých látek tedy o 5 – 7 % [4].

Dělení dusíkatých látek v mléce [4]:

- kasein,
- syrovátkové bílkoviny,
- proteoso-peptony (tepelně stabilní fosfoproteiny, rozpustné při pH 4,6)
- ostatní bílkoviny,
- nebílkovinné dusíkaté látky.

### 1.1.1 Kaseinové bílkoviny

Dle složení a sekvenční analýzy aminokyselin a také dle genetické analýzy se v mléce vyskytují 4 základní kaseinové frakce  $\alpha_{s1}$ -,  $\alpha_{s2}$ -,  $\beta$ -,  $\kappa$ -kasein. Tyto frakce lze ověřit pomocí analýzy DNA sekvence. Je známo stopové množství  $\gamma$ -kaseinu, který se přirozeně vyskytuje z důvodu omezené proteolýzy  $\beta$ -kaseinu [1,10,14].

Kaseiny jsou globulární proteiny; obsah aminokyselin je podobný s obsahem cysteinu u  $\alpha$ - $s_2$ -, a  $\kappa$ -kaseinu. Zbytky fosfoserinu dávají kaseinům svou jedinečnou vlastnost [1].

O kaseinech můžeme také říci, že jsou emulgátory (povrchově aktivní látky, které obsahují nepolární a jednu nebo více polárních oblastí). Alanin, fenylalanin, leucin a isoleucin obsahují nepolární alifatické a aromatické postranní řetězce. Aminokyseliny jako je arginin, lysin a tryptofan, které podporují kationový charakter proteinu. Druh, počet a umístění polárních aminokyselin určuje izoelektrický bod proteinu. Proteiny mohou navíc denaturovat za určitých zpracovatelských podmínek, jakými je působení vysoké teploty a smykových sil [8].

#### 1.1.1.1 Frakce kaseinových bílkovin

$\alpha$ -s-kaseiny jsou hlavní kaseinové bílkoviny. Frakce  $\alpha$ - $s_1$ - kaseinu jsou citlivé k vápenatým iontům a v jejich přítomnosti se sráží, při pH 4,6 proto dojde k vysrážení této frakce. Peptidové řetězce obsahují 8,5 % prolinu, které omezují rozsah tvorby  $\alpha$ -šroubovice. Výskyt  $\alpha$ -s-kaseinu je větší u kravského mléka než u kozího [1,10,14].

Frakce  $\beta$ -kaseinu patří mezi nejvíce hydrofobní ze všech kaseinových frakcí, jeho vysrážení nastává při koncentraci vápenatých iontů 8 – 15 mM  $Ca^{2+}$ . Štěpí se za tvorby  $\gamma$ -kaseinu. Až 95 % kaseinu se ve zralém mléce nachází ve formě micel, které se nacházejí ve vodném roztoku mléka a micely mají globulární tvar. Pokud se do mléka přidá velké množství vápníku, dojde k rozrušení micel. Obsahuje velké množství propylových zbytků, které značně ovlivňují strukturu kaseinu, jelikož propylové zbytky narušují tvorbu  $\alpha$ -helixů a  $\beta$ -listů.  $\beta$ -kasein obsahuje asi o 5 fosfoserinových zbytků více než  $\alpha$ -s-kaseiny. [1,10,14].

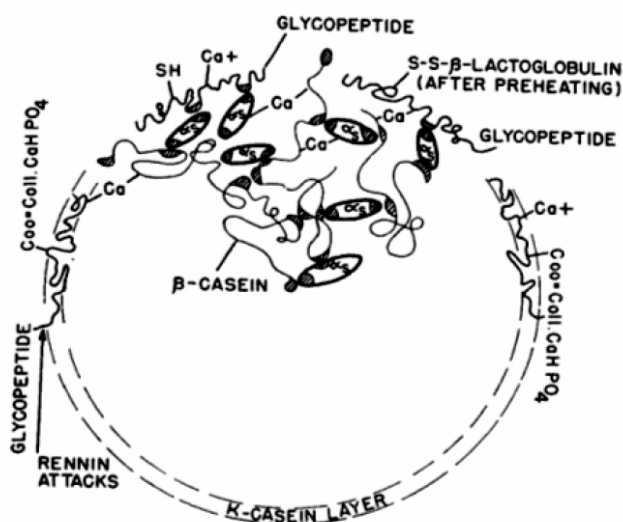
V mléku má  $\kappa$ -kasein důležitou úlohu a to stabilizaci kaseinových micel před vysrážením vápenatých iontů.  $\kappa$ -kasein má ve své molekule má pouze 1 skupinu fosfoserinu a také obsahuje nabitou skupinu oligosacharidu, kdy molekula této frakce je složena z relativně stabilních  $\alpha$ -šroubovic a  $\beta$ -listů. K chymozinu jsou citlivé vazby mezi aminokyselinami v poloze 105 – 106 mezi fenylalaninem (Phe) a metioninem (Met). Předpokládá se, že tato peptidová vazba vyčnívá z molekulárního povrchu. 1/3 z molekuly  $\kappa$ -kaseinu představuje silně iontové C-terminální části, které obsahují 3 oligosacharidové zbytky. Rozštěpený řetězec aminokyselin před peptidovou vazbou Phe - Met je vysoce hydrofobní a odpovídá para- $\kappa$ -kaseinu, který je vytvořen za pomoci chymozinu. Lipofobní frakce 106 – 169 aminokyselinových zbytků přechází do syrovátky díky sacharidické složce, která je navázaná na aminokyselinu threonin v poloze 131, 133 a 135 a nazývá se  $\kappa$ -kaseinmakropeptid. Sacharidickou složkou může být N-acetyl-D-galaktózamin, který je vazebný sacharid, dále D-galaktóza, N-acetylneuraminová kyselina [1,11,14].

Tabulka 1: Kaseiny mléka [1]

Kaseinová frakce	Molární hmotnost [Da]	Fosfoserinový zbytek (počet)
$\alpha$ -s <sub>1</sub> -	23 000	7 – 9
$\alpha$ -s <sub>2</sub> -	25 000	10- 13
$\beta$ -	24 000	5
$\kappa$ -	1 980	1

### 1.1.1.2 Kaseinová micela

Afinitní povaha kaseinů a jejich fosforylace usnadní interakce mezi sebou spolu s  $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$  za vzniku vysoce hydratovaných sférických komplexů, které nazýváme micely. Micely jsou různých velikostí a jejich průměr je v rozmezí 30 – 300 nm. Obsahují 92 % frakcí kaseinu, jež se v mléce vyskytují jako koloidně dispergované, které jsou v poměru 3:1:3:1 ( $\alpha$ -s<sub>1</sub>-,  $\alpha$ -s<sub>2</sub>-,  $\beta$ -,  $\kappa$ - kaseinu), zbylých 8 % je tvořeno anorganickými složkami zejména koloidním fosforečnanem vápenatým, který se skládá z vápníku, hořčíku, fosfátu a citrátu. Amorfni formy terciárního fosforečnanu vápenatého jsou rozloženy při tvorbě micely. Transformací do více stabilních forem, jako je hydroxyapatit, je zabráněno přítomností jiných iontů zejména hořčíku. Nezbytnou součástí micely je fosfát, kterým je dána teplotní stabilita micely [1,10].

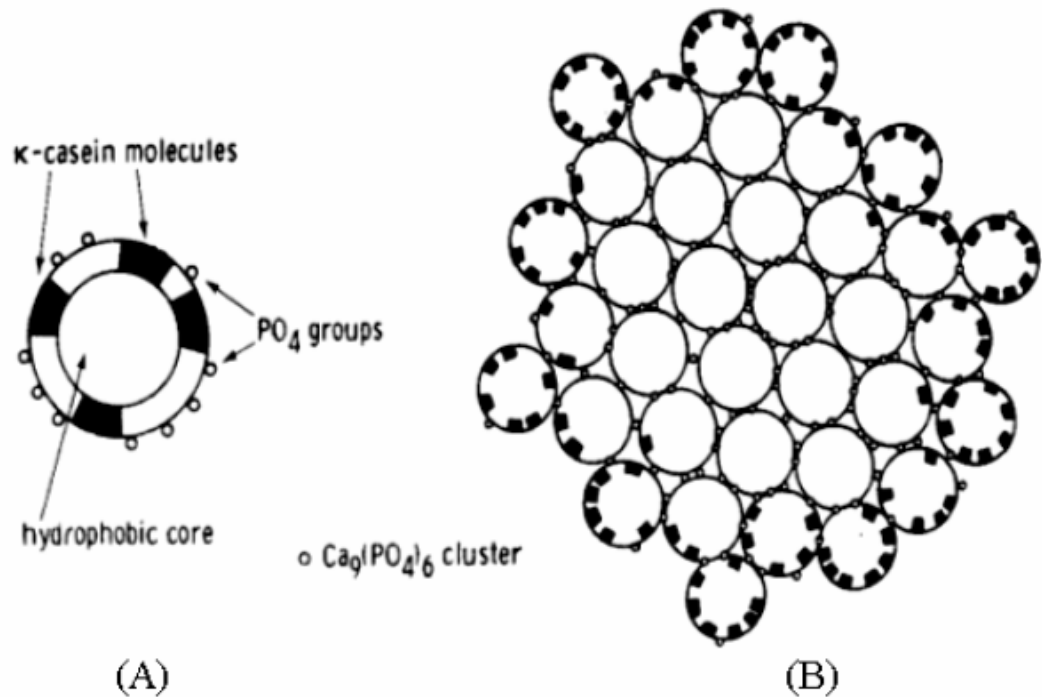


Obrázek 2) Model kaseinové micely dle Rollema (1992) [10]

Kaseinová micela se skládá ze submicel, které se skládají z více frakcí kaseinů.  $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ ,  $\alpha$ - a  $\beta$ -kaseiny jsou spojeny pomocí fosfoserinu ve struktuře  $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ .  $\kappa$ -kasein v lokalizované nebo uzavřené molekule se soustřeďuje do středu molekuly micely, zatímco hydrofilní makropeptid tvoří vrstvu vysoce hydratovaných vlasů, které vyčnívají do vodné fáze. Vlasy  $\kappa$ -kaseinu jsou odpovědné za sférickou stabilizaci kaseinových micel. Složení micely je v rovnováze s množstvím rozpustného kaseinu, některé kaseiny

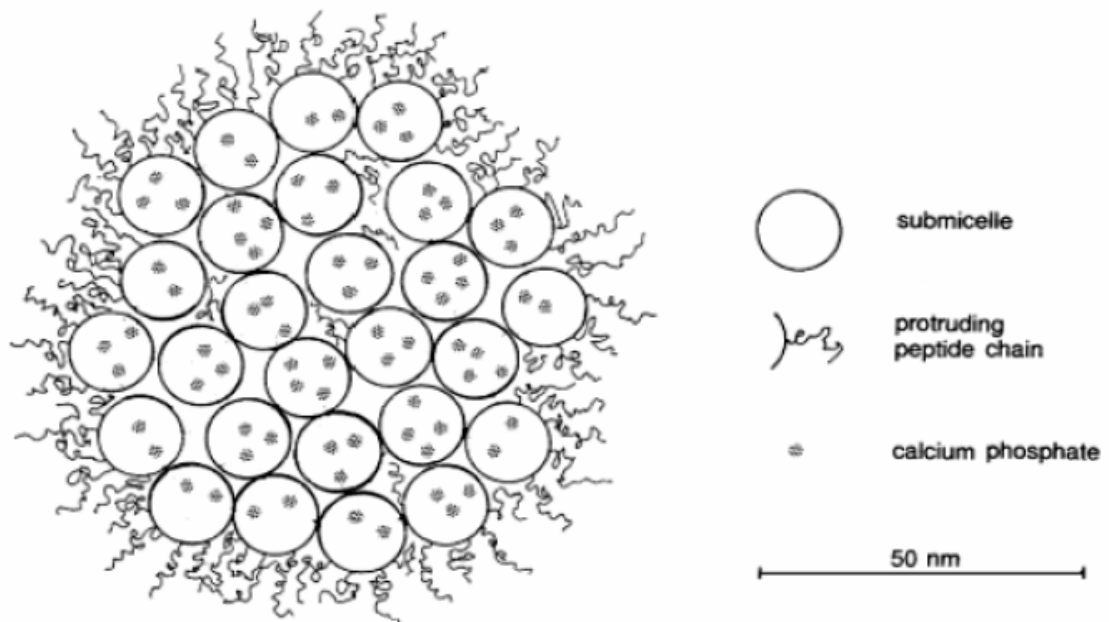


spolu s koloidním fosforečnanem vápenatým disociují z micely při teplotě skladování 0°C [1].



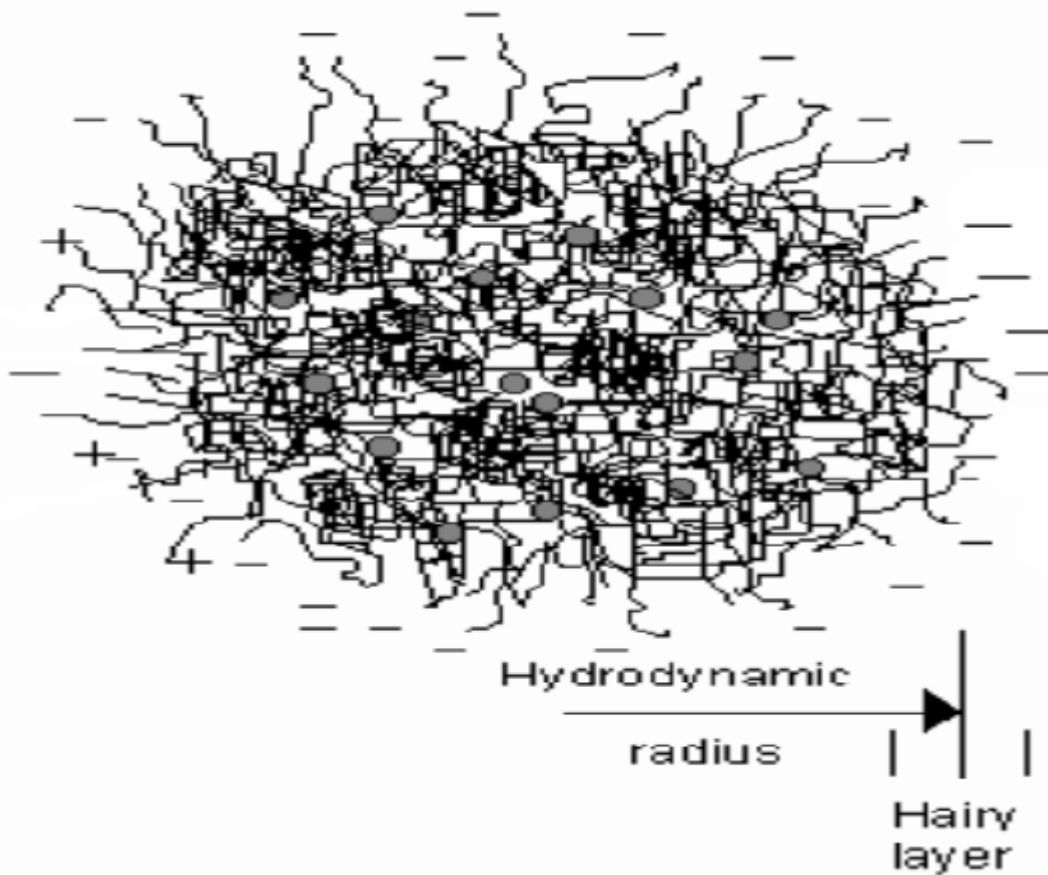
Obrázek 3) obrázek (A) znázorňuje tvorbu submicely a následně její shlukování do micely je znázorněno obrázkem (B) [10]

Teplota 120 °C působí na kasein tak, že je postupně nerozpustný a je citlivý na pH, má schopnost se srážet při izoelektrickém bodu. Předpokládá se, že α-s- a κ-kaseiny mají významnou strukturální úlohu, protože při této teplotě bylo těchto frakcí málo disociováno. K destabilizaci kaseinové micely je nutno ji podrobit záhřevu nad 140 °C po dobu 20 minut, tak aby vytvořila gel. Kaseinové micely mohou rozptýlit světlo a díky nim má mléko bílou barvu [1,10].



Obrázek 4) Struktura kaseinové micely dle Walstra (1999) [10]

Jsou dva hlavní typy micel (kaseinových frakcí) kdy  $\alpha$ -s- a  $\beta$ -kaseiny mají hydrofobní charakter a soustřeďují se ke středu micely, ale na rozdíl od nich  $\alpha$ -s- a  $\beta$ -kaseiny jsou hydrofilní, protože mají cukerné zbytky a to převážně na  $\kappa$ -kaseinu. Na  $\kappa$ -kaseinu se nachází v blízkosti hydrofilní micely části C-terminální konec, který vyčnívá (vlaje) z micely. Povrch díky němu je „chlupatý“, tato vrstva zamezuje další agregaci dílčích micel pomocí sférických a elektrostatických odpuzování, tímto jsou micely stabilní [10].



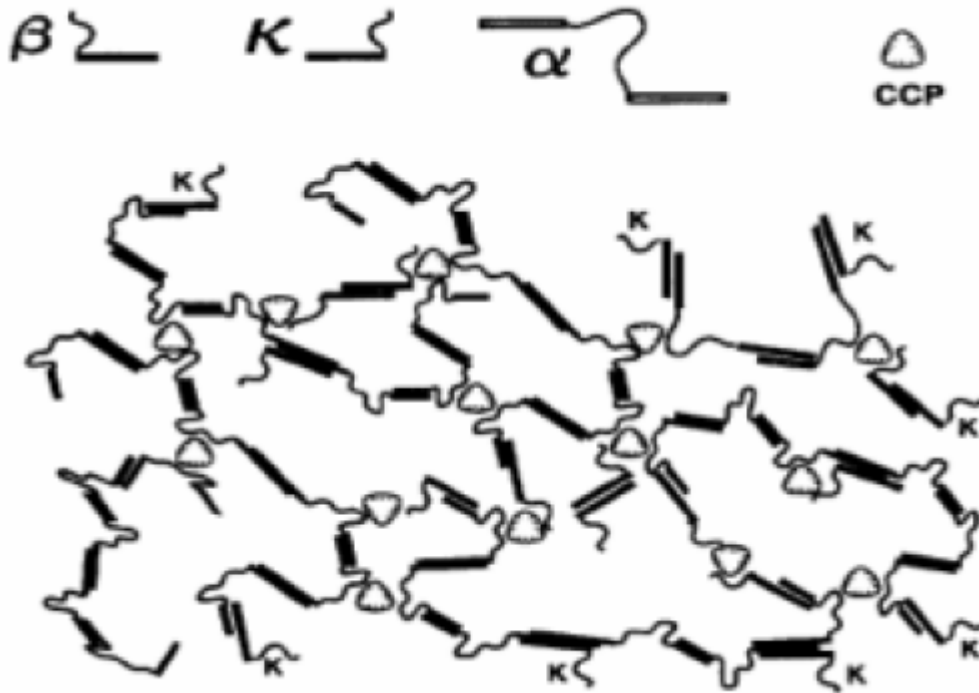
Obrázek 5) Struktura polypeptidových řetězců zesílených v jádru koloidním fosforečnanem vápenatým (CCP) poskytuje podnět k tvorbě submicel, nižší hustota segmentu je označovaná jako vlasatá vrstva. Šedé kruhy znázorňují CCP [10]

Monomery  $\beta$ -kaseinu se začínají polymerovat do řetězců, následně  $\alpha$ -s<sub>1</sub>-kaseiny jsou připojeny ke  $\beta$ -kaseinům. Zatímco  $\kappa$ -kaseiny komunikují s  $\alpha$ -s<sub>1</sub>-kaseiny za tvorby agregátů s omezenou velikostí při formování micelové struktury, CCP působí jako stabilizační činidlo v křížových vazbách s vápenatými ionty kaseinové micely při tvorbě sítě. V této síti směřuje  $\beta$ -kasein dovnitř a  $\kappa$ -kasein je na vnější straně [10,16].

Kaseinová micela bývá mnohdy znázorněna jako zamotaná forma flexibilní kaseinové sítě, která tvoří gelovou strukturu s mikrogranulemi CCP přes fosfátovou skupinu  $\kappa$ -kaseinu, který tvoří tzv. chlupatou vrstvu. Zjednodušeně zde hraje významnou roli CCP a vyčnívající konce  $\kappa$ -kaseinu. Povrchový potenciál je cca -20 mV při pH 6,7. Složená micela má molekulovou hmotnost  $10^6$  až  $10^7$  kDa [10,14].

Sdružování kaseinů umožňuje dosáhnoutí polymerace pomocí CCP a je považováno za jednu z vazeb mezi kaseinovými micelami, a v důsledku toho se děje odpuzování kaseinových

micel pro negativní náboj na fosfoserinu. Následně se elektrostatické odpuzování mezi micelami snižuje a to vede až ke sdružování do proteinů [10].



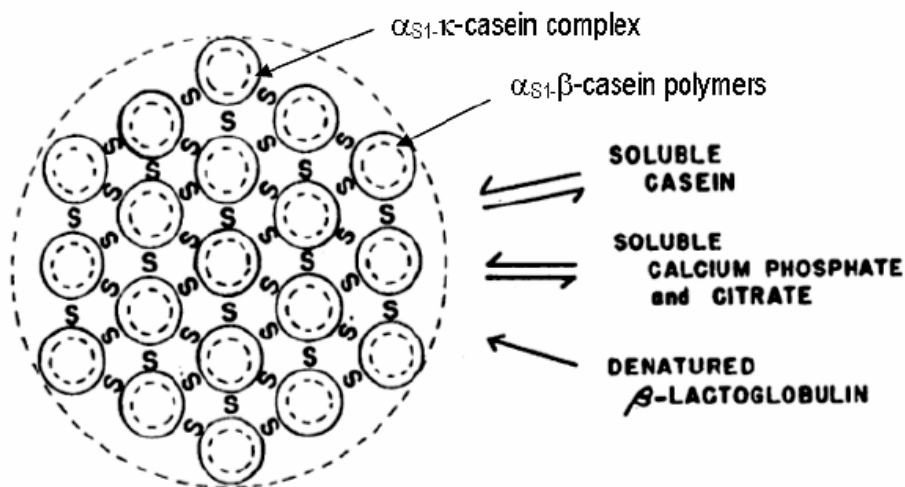
Obrázek 6) Sestavování struktury kaseinové micely [10]

### 1.1.2 Sérové bílkoviny

Obecně můžeme syrovátkové proteiny označit jako globulární a hydrofobní proteiny. Termín syrovátkové či sérové proteiny znamená mléčné bílkoviny, které zbudou v séru po vysrážení kaseinu nebo jeho odstranění. Syrovátkové proteiny nejsou koagulovány pomocí kyselin a jsou také odolné vůči působení syřidla nebo enzymatického srážení za pomoci chymozinu, což je hlavní rozdíl od kaseinových bílkovin. Obsahují asi 20 % celkové mléčné bílkoviny. Sérové proteiny zahrnují 2 hlavní produkty,  $\beta$ -laktoglobulin a  $\alpha$ -laktalbumin, dále proteoso-peptony, které vznikají jako štěpy z  $\beta$ -kaseinu, malé množství krevních proteinů, sérum albumin, imunoglobuliny, stopové množství enzymů a proteinů se specifickou metabolickou funkcí jako jsou lysozym a laktoferin [1,10,13,14].

Majoritní frakce obsahuje téměř 50 %  $\beta$ -laktoglobulinu, který je také hlavním syrovátkovým proteinem a jenž podléhá omezenému vlastnímu sdružení při hodnotách pH mléka z dimeru s geometrií připomínající dvě dopadající koule. Tato frakce disociuje při 60 °C, čímž se stává náchylnější a dále dojde k denaturaci terciární struktury.  $\alpha$ -laktalbumin má primární strukturu připomínající lysozym, má vysoce kompaktní a v podstatě kulovitý tvar. Frakce  $\alpha$ -laktalbuminu je větší a tepelně stabilnější ve srovnání s  $\beta$ -laktoglobulinem. Stabilnější  $\alpha$ -laktalbumin má následně jednu volnou sulfhydrylovou skupinu, která dovolu- je zahájit alkalickou výměnu disulfidické reakce [1,13].

Ve struktuře sérových bílkovin jsou typické kompaktní globulární proteiny s relativně rovnoměrným rozložením sekvencí nepolárních a polárních nabitých zbytků. Vykazují intramolekulární ohýbání za tvorby disulfidických vazeb mezi cysteinovými zbytky, které rozruší většinu hydrofobních zbytků ve středu molekuly, proto nejsou schopny syrovátkové bílkoviny se zapojit do reakcí v nativním stavu. Sirovátkové proteiny jsou oproti kaseinovým tepelně labilní, což umožňuje denaturovaným sérovým bílkovinám pohlit více vody. Značná denaturace již může nastat při 80 °C. Denaturace je doprovázena rozsáhlým rozbitím disulfidických vazeb, které stabilizují strukturu sérových proteinů. Denaturace  $\beta$ -laktoglobulinu má daleko větší význam od 100 °C a vyšších teplot, kdy dojde k reakci mezi  $\beta$ -laktoglobulinem a  $\kappa$ -kaseinem. Interakce pravděpodobně vyžadují thiosulfidovou záměnu, zatímco  $\kappa$ -kasein zůstává na povrchu a vlastnosti povrchu micely jsou pozměněny. Tento obrat ovlivní reakce micely s  $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$  v pořadí její stability [1,14].



Obrázek 7) Reakce kaseinových frakcí s denaturovaným  $\beta$ -laktoglobulinem pomocí disulfidických můstků dle Wonga (1988) [10]

Přehřátí nestandardizovaného mléka při 90 °C redukuje jeho stabilitu během dalšího zpracování při vyšší teplotě [1].

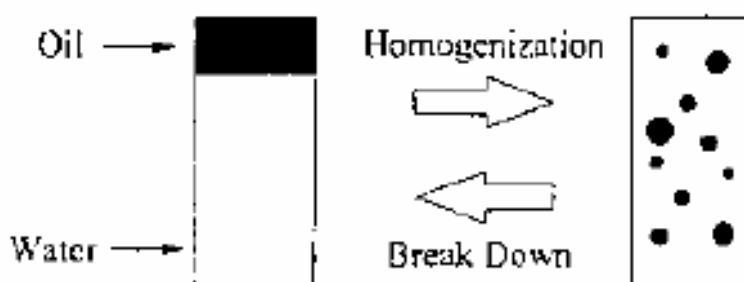
Tabulka 2) Sérové bílkoviny mléka [1]

Syrovátková frakce	Molární hmotnost [Da]
$\beta$ -laktoglobulin	18 300
$\alpha$ -laktalbumin	14 000
Sérum albumin	63 000
imunoglobuliny	Nad 1 000 000

## 1.2 Mléčný tuk

Mléčný tuk (smetana) je potravinová emulze, která se skládá z olejových (tukových) kapek rozptýlených ve vodné fázi jakožto emulze typu olej ve vodě (O/W). Dle mléčného tuku v mléce se odvíjí jeho viskozita a barva. Mléčný tuk je složen z triacylglycerolu

a mastných kyselin. V mléce je rozptýlen v podobě tukových kuliček, které jsou obklopeny lipoproteinovou membránou. Také je charakteristický vysokým obsahem nižších mastných kyselin. V syrovém mléce se mléčný tuk vyskytuje jako polydisperzní systém, který je velice variabilní složkou z hlediska kvalitativní i kvantitativní. Ve formě emulze bývá mléčný tuk přítomen ihned po nadojení, tudíž ho můžeme takto najít v syrovém (tepelně neošetřeném) mléce a do suspenze přechází po vychlazení [3,6,7,12].



Obrázek 8) Emulze jsou termodynamicky nestabilní systémy, které mají tendenci vrátit se zpět do jednotné olejové a vodné fáze v průběhu zpracování. Proto výroba emulzí vyžaduje dodání energie (je energeticky náročná) [7]

V případě mastných kyselin, které jsou vázány ve fosfolipidech, je největší podíl tvořen z nenasycených mastných kyselin (např. olejová, arachidonová). Nasycené mastné kyseliny jsou zastoupeny jako kyselina myristová, palmitová, stearová. Fosfolipidy přecházejí do podmáslí při stloukání smetany [5].

Pokud budeme mléčný tuk charakterizovat pouze dle zastoupení jednotlivých skupin mastných kyselin tj. dle nasycenosti řetězce, dělení je následující [15]:

- nasycené 70 – 75 %,
- nenasycené s jednou dvojnou vazbou v řetězci (monoénové) 20 – 25 %,
- nenasycené mastné kyseliny s více dvojnými vazbami (polyénové) 2 – 5 %.

Tabulka 3) Složení mastných kyselin v mléčném tuku [% obj.] [27]

Mastná kyselina	Mléčný kravský tuk	Mléčný kozí tuk
<b>Nasyčené mastné kyseliny</b>		
Másečná	2,5 – 6,2	3
Kaprinová	1,5 – 3,8	6,3
Kaprlová	1,0 – 1,9	2,9
Kaprinová	2,1 – 4,0	10,4
Laurová	2,3 – 4,7	5,6
Myristová	8,5 – 12,8	12,8
<b>Nenasycené mastné kyseliny</b>		
Olejevá	19,7 – 31,2	13,3

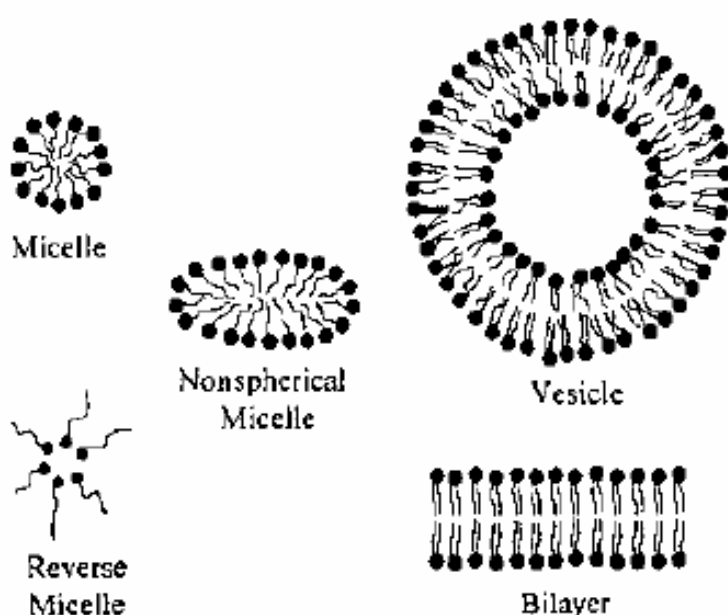
### 1.2.1 Tuková kulička

Tukové kapénky v mléce nejsou volné, nýbrž jsou na povrchu chráněné dvojrstvou, kdy nepolární vrstva je orientována směrem dovnitř tukové kapénky a lipofobní (polární vrstva) je natočena tak, aby byla směrem k vodné fázi mléka. Lipofilní část fosfolipidové vrstvy je ve směru do vnitřní části micely, kde jsou kromě triacylglycerolů také cholesterol, karoteny a lipofilní vitaminy. V hydrofilní vrstvě jsou rozptýleny bílkovinné složky (v tukuprosté sušině smetany je vyšší obsah bílkovin). Fosfolipidové obaly tukových kapének zabraňují jejich vzájemnému splnutí (pomocí elektrického náboje). Fosfolipidy nemají ve své molekule navázanou mastnou kyselinu, ale estericky vázanou kyselinu fosforečnou. Na kyselinu fosforečnou se váží cholin  $C_7NH_{16}O_2^+$ , etanolamin  $C_2H_7N_1O_1$  či serin  $C_3H_7NO_3$ . Fosfolipidy obsahují hlavně lecitin neboli fosfatidilcholin, další třetina fosfolipidu je tvořena fosfatidyletanolaminem čili kefalinem a poslední třetinu zaujímají sfingomyelin, fosfatidylserin a fosfatidylcholin [5].

V čerstvě nadojeném mléce velikost tukových kapének kolísá v rozpětí 0,1 – 10  $\mu\text{m}$ . 70 – 80 % veškerého počtu tukových kapének mléčného tuku je o velikosti 1  $\mu\text{m}$ , z celkové hmotnosti představují již nepatrný podíl tuku [5].



Velikost kapiček se může lišit svou disperzitou. Vlastnosti potravin, které jsou emulzí, se neustále mění s časem v důsledku působení různých chemických, fyzikálních a biologických procesů. Emulze je podrobena změnám teploty (pasterace, sterilace, chlazení) a různých mechanických sil (odstředování), které ovlivňují jejich fyzikálně-chemické vlastnosti. Hlavním úkolem lipidů na bázi emulgátorů v emulzi je zvýšit tvorbu a stabilitu produktu, mohou však také měnit souhrnné fyzikálně-chemické vlastnosti interakcí s proteiny či změnou struktury tukových krystalů [7].



Obrázek 9) Koloidy vytvořené sdužením povrchových molekul [7]

V olejové fázi se nachází TAG, DAG a MAG, MK, vitaminy a cholesterol. Mezifázová membrána může být složena z povrchově aktivních složek různých typů včetně malých molekul, které jsou povrchově aktivní látky (fosfolipidy, polysacharidy a proteiny). Všechny emulgátory na bázi lipidů jsou amfifilní molekuly, které mají hydrofilní skupinu s vysokou afinitou pro vodu a lipofilní skupinu k afinitě s olejem. Povrchové micely jsou nejdůležitějším typem sdužení koloidních struktur emulzí, u nichž se zaměřujeme především na jejich vlastnosti [7].

Membrána tukové kuličky se skládá z [12]:

- proteinu 25 – 60 %,
- neutrální lipidy 56 – 80 %,
  - volné mastné kyseliny 0,6 – 6,3 %,
- fosfolipidů,
  - fosfatidylcholin 34 %
  - fosfatidyletanolamin 28 %.

## 2 FYZIKÁLNÍ VLASTNOSTI MLÉKA

Mléko je mnohasložková směs a současně také polydisperzní systém, který se skládá z tří hlavních fází. V emulzní fázi se nachází mléčný tuk, koloidní roztok je tvořen z bílkovin, poslední molekulová fáze je tvořena laktózou a minerálními látkami. Bílý až krémový vzhled mléka je zapříčiněn mléčným tukem, kaseinem a částečně rozpuštěným  $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ . Průměrná hustota mléka činí  $1,03 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ . U čerstvě nadojeného mléka je hodnota pH v rozmezí 6,5 až 6,7. Pokud mléko pění, je to zapříčiněno díky nízkému povrchovému napětí a také shlukování (hromadění) bílkovin na rozhraní fáze mléko – vzduch [2].

Systém mléka, který je tvořen rozptýlenými kapkami v olejové (tukové) fázi se nazývá emulze typu voda v oleji (W/O). Emulze jsou termodynamicky nestabilní systémy, protože je vyžadována energie potřebná pro zvýšení povrchové plochy mezi olejovou a vodnou fází. Emulgátory (v mléce) jsou povrchově aktivní molekuly, které adsorbují na povrchu čerstvě vytvořených kapiček a zabraňují shlukování kapiček mléčného tuku. Většina potravin jsou emulgátory – amfifilní molekuly, protože mají jak polární tak i nepolární oblasti na stejné molekule [7].

Podle povahy hlavní skupiny, povrchově aktivní látky jsou klasifikovány jako [20]:

- neiontové (neutrální),
- aniontové (negativně nabitá skupina povrchové „hlavy“ ve vodě, pokud je pH poměrně nízké),
- kationtové (kladně nabité).

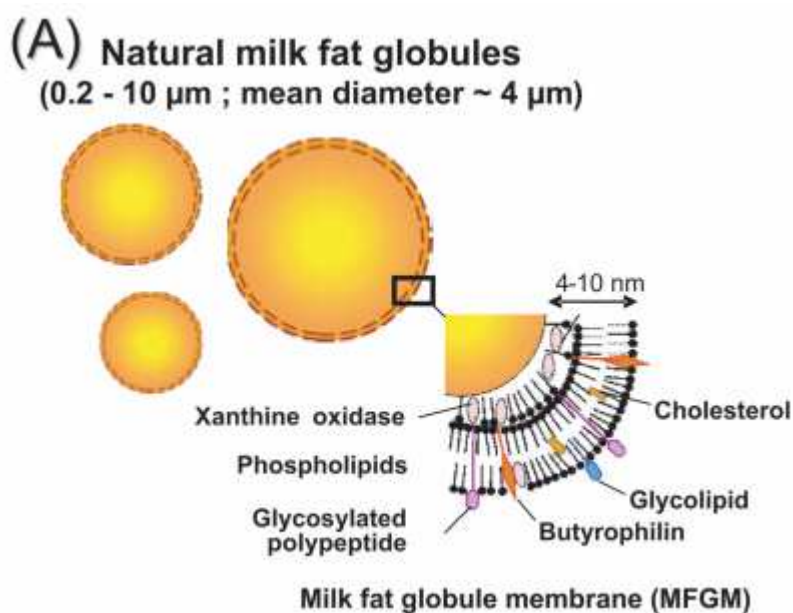
Jak již bylo zmíněno, kaseiny jsou často označovány jako povrchově aktivní látky a také mohou plnit širokou škálu funkcí [20]:

- jsou nezbytné pro tvorbu pěn a emulzí,
- mohou být také použity k destabilizaci emulzí nebo pěny,
- adsorpcí na rozhraní mohou výrazně změnit vlastnosti smáčení,
- mohou podporovat "rozpuštění" látek, a to buď vstřebáváním micely surfaktantu, nebo adsorpcí na malé částice.

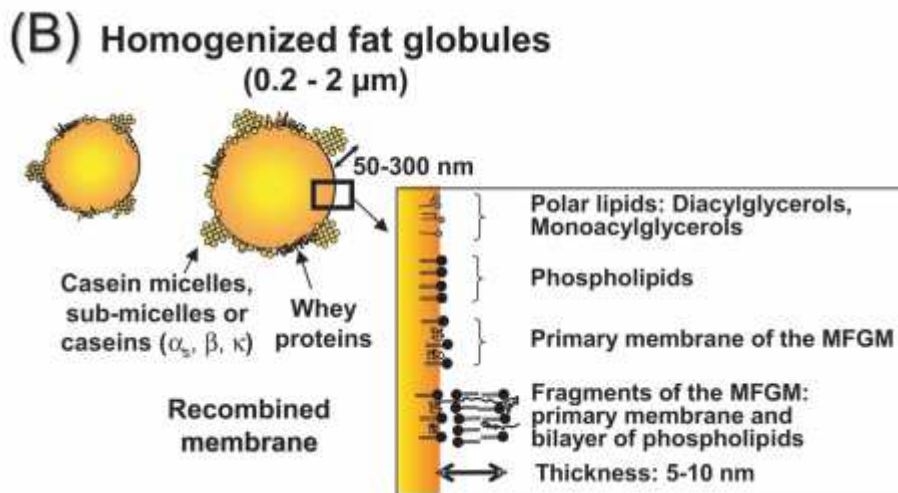
V potravinách jsou na bázi lipidů (emulgátorů) fosfolipidy a amfifilní biopolymery (proteiny). Vystupování smetany je způsobeno rozdílnou hustotou mléčné plazmy ( $1,035 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ )

a mléčného tuku ( $0,93 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ ) a také díky velikosti tukových kuliček. Další vlastností mléka je srážení, které je způsobené změnou stavu koloidního roztoku (sol) na sraženinu (gel) [2,7].

Hustota dané složky se mění s procházejícím fázovým přechodem (tání nebo tuhnutí), které je možno pozorovat u vzorku s teplotou a časem. Pro mléčný tuk, který nebyl podroben homogenizaci, je častým jevem shlukování tukových kuliček. Částečné splnutí vede k rozsáhlému shlukování kapének a tím snižuje stabilitu emulze, proto můžeme říci, že má smetana (mléčný tuk) vyšší viskozitu. Na obrázku 10, 11 lze vidět rozdíl mezi homogenizovanou tukovou kuličkou a ponechanou bez ošetření, kdy velikost kuliček bez nebo po ošetření se liší až pětinasobkem své velikosti [7,22].



Obrázek 10) tuková kulička neošetřená homogenizací [22]



Obrázek 11) tuková kulička po homogenizaci [22]

## 2.1 Fyzikální vlastnosti kapek mléčného tuku

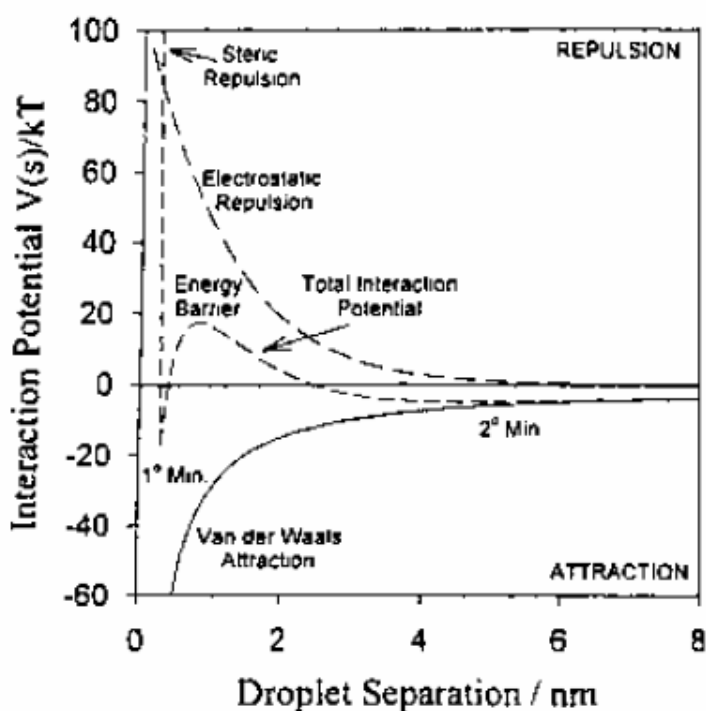
Mléko obsahuje  $15 \times 10^8$  globule/ml s celkovou mezifázovou plochou 1,2-2,5  $\text{m}^2/\text{g}$  tuku. Velikost kapének, které jsou získány, závisí na rovnováze mezi dvěma protilehlými mechanizmy: narušené kapky a koalescenci kapky. Tendence pro emulzi kapek lze rozdělit v průběhu homogenizace a závisí na síle mezifázové sil, které drží dohromady kapičky, ve srovnání s pevností rušivých sil v homogenizátoru. Kapky mléčného tuku jsou kulaté, protože se minimalizuje kontaktní plocha mezi tukovou a vodnou fází. S klesajícím povrchovým napětím lze snadněji provést homogenizaci (rozbití tukové kuličky). K deformaci kapky mléčného tuku je nutné vytvořit napětí, které je větší než tlak vyplývající z rovnice (1), tyto podmínky trvají dostatečně dlouhou dobu na to, aby mohla být tuková kulička rozbita [7,12].

$$\Delta P_1 = \frac{2\gamma}{r} \quad (1)$$

Mezifázová síla drží pospolu kapky a je dána hodnotou  $\Delta P_1$  (Laplacův tlak), kde  $\gamma$  je mezifázové napětí mezi olejem a vodou,  $r$  je poloměr kapky. O emulzi mléčného tuku můžeme říci, že je to velký dynamický systém, ve kterém se kapičky neustále pohybují a často dojde k jejich sražení mezi sebou [7].

Uvažujeme o emulzi, ve které máme pouze významné typy interakcí kapek mezi sebou a také kde jsou Van der Waalsovy síly, elektrostatické odpuzování a sterické odpuzování. Cel-

kové snížení (mezipokles) dvojice potenciálů má komplexní závislost na oddělení kapek, protože je to součet těchto tří různých interakcí, a může vykazovat přitažlivé působení u některé separace a u jiné zase odpudivé. Na obrázku 12 je typický profil snížení páru elektrochemického potenciálu proti oddělení pro emulzi, která je stabilizovaná nabitými polymery. Pokud jsou dvě kapky odděleny velkou vzdáleností, není již mezi nimi účinná interakce, ale jakmile se pohybují blíže k sobě, Van der Waalovy přitažlivé síly převládají a dominuje zpočátku mělký minimální profil, tento děj se označuje jako sekundární minimum. V případě, že hloubka minimálního profilu je velká v porovnání s tepelnou energií, mají kapičky tendenci vyvločkovat. Pokud je malý ve srovnání s tepelnou energií, kapičky se nedokáží shlukovat. V užší separaci odpudivé síly elektrostatische interakce dominují a zde je energetická bariéra, kterou musí překonat, proto aby se kapky mohly přiblížit. Je-li tato energie ve srovnání s tepelnou energií dostatečně velká, bude bránit tomu, aby kapičky spadly do hlubokého primárního minima z bezprostřední blízkosti izolace. Není-li velká v porovnání s tepelnou energií, tak mají sklon padat do primárního minima, které vede k flokulaci kapek. Tato situace vede kapky k nemožnosti spojení z důvodu silné nadvlády sterického odpuzování na blízké separace [7].



Obrázek 12) Celkové možné interakce pro emulze stabilizované nabitými biopolymery [7]

Emulze, které jsou stabilizovány pomocí odpuzivých elektrostatických interakcí, jsou zvláště citlivé na iontovou sílu. pH vodné fáze při nízké koncentraci iontů může být dostatečně vysoká energetická bariéra, aby zabránila kapce se dostat do stavu potřebného pro shlukování do primárního minima. Se zvyšující se koncentrací iontů se promítají elektrostatické interakce a stávají se účinnější, což snižuje výšku energetické bariéry. Nad určitou koncentrací iontů již není bariéra dostatečně vysoká, proto dochází k vyvločkování a tento děj je odpovědný za srážení v přítomnosti solí do emulze stabilizované iontovými emulgátory. Povrchový náboj proteinových stabilizovaných emulzí klesá s hodnotou pH v blízkosti izoelektrického bodu. Zde dochází ke snížení odpuzivých elektrostatických interakcí mezi kapičkami a to vede k vysrážení [7].

## 2.2 Povrchové napětí mléka

Povrchové napětí (volnou mezifázovou energii) působící na kapalinu lze považovat za dvě síly působící na plochu o jednotkovém množství [20]:

- za sílu působící na jednotku délky povrchu,
- práci potřebnou ke zvětšení oblasti.

Povrchové napětí můžeme vyjádřit v jednotkách SI (N/m) a také lze říci, že povrchové napětí má stejný rozměr jako povrchová energie, která je vyjádřena v SI jednotkách jako  $J/m^2$ . Ve skutečnosti lze pouze říci, že hodnoty jsou stejné, jedná-li se o stejné látky či čisté látky. S nárůstem teploty se kinetická energie molekul zvyšuje a soudržné síly mezi nimi klesají, což vede k poklesu mezifázového napětí. Např. povrchové napětí vody klesá ze 72,6 na 58,9 N/m s nárůstem teploty z 20 °C na 100 °C [20,21].

Iontové povrchově aktivní látky poskytují stabilitu tím, že způsobí, že všechny kapky emulze mají stejný elektrický náboj, a proto se vzájemně odpuzují elektrostaticky. Neiontové povrchově aktivní látky poskytují stabilitu tím, že tvoří řadu s krátkým dosahem odpuzivé síly (např. sterický překryv, hydratace, termální flukтуаční interakce), které zabraňují, aby se kapičky dostaly příliš blízko k sobě [7].

Povrchové napětí se skládá ze dvou fázových oblastí, kdy je jedna fáze přítomná jako kulička, u které lze předpokládat sférický tvar (mléčný tuk a mléčné bílkoviny), a druhá fáze je voda, ve které jsou tyto částice rozptýlené. Pokud je jedna fáze přítomna

jako kulička, má tendenci přejímat sférický tvar, který zaujímá nejmenší povrch pro daný objem [20].

Povrchové napětí mléka je základní fyzikální vlastností, jež se týká stability pěn, emulzí a filmů; ovlivňuje frakcionaci, koncentraci a sušení [21].

Mléčný tuk adsorbuje sérové bílkoviny jako emulgátory. Mnoho proteinů jsou dobré povrchově aktivní látky a mohou být adsorbovány na rozhraní, kde se vytvoří buď monovrstva nebo polyvrstva, více či méně nevratně, v závislosti na typu proteinu. Když jsou molekuly proteinů adsorbovány na rozhraní, mohou se rozvinout a uspořádat svou konformaci, aby vyhovovala novému prostředí [7,12,21].

Faktory, o kterých je známo, že ovlivňují rozsah povrchového napětí, jsou[24]:

- intermolekulární síly:
  - silnější intermolekulární síly vedou k vyšším hodnotám povrchové napětí,
  - intermolekulární síly mohou být zařazeny do soudržných a kohezních sil,
- vodíkové vazby:
  - kapaliny s vodíkovými vazbami mají vyšší hodnoty povrchu napětí,
- teplota:
  - zvýšení teploty vede k nižším hodnotám povrchu napětí pro většinu kapalin, jejichž přitažlivé síly mezi molekulami jsou zmenšeny,
- vlastnosti kapalin:
  - vlastnosti, jako je obsah tuku, lipolýza, stárnutí atd.

Povrchové napětí mléka je přibližně sedmdesát procent povrchového napětí vody a ovlivňuje [24]:

- krémování,
- funkci membránových buněk tuků,
- pěnové procesy v mlékárenském průmyslu.



Na rozhraní mezi tekutinou a vzduchem se molekuly kapaliny chovají odlišně od kapaliny podobných molekul v objemové fázi. Molekuly v objemové fázi jsou vystaveny přitažlivým silám ve všech směrech s dalšími molekulami kapaliny, zatímco molekuly na povrchu nebo rozhraní jsou vystaveny pouze přitažlivé síle směřující k objemu fáze. Tato vnitřní přitažlivost snižuje počet molekul na povrchu, což má za následek snížení mezifázové oblasti. Síly způsobující snížení v povrchové nebo mezilehlé oblasti jsou označovány jako povrchové napětí nebo mezifázové napětí [21].

Mléko obsahuje několik povrchově aktivních látek (kaseinové micely, fosfolipidy, proteiny syrovátky a mastné kyseliny), které mohou snadno adsorbovat na rozhraní vzduch-voda a snížit povrchové napětí; soli a laktóza nepřispívají k povrchovému napětí. Molekuly emulgátoru mohou adsorbovat na rozhraní olej-voda, protože mohou přijmout orientaci, ve které hydrofilní část molekuly je umístěna ve vodě, zatímco hydrofobní část se nachází v oleji [7,21].

Napětí je značné s ohledem na velkou mezifázovou oblast v emulzi. To minimalizuje volnou energii spojenou s kontaktem hydrofilní a hydrofobní oblasti, a proto snižuje mezifázové napětí. Toto snížení mezifázového napětí je důležité, protože to usnadňuje další narušení kapek emulze; to znamená, že je zapotřebí méně energie k rozdělení kapky, když se sníží povrchové napětí. Jakmile adsorbuje na povrchu kapky, musí emulgátor poskytovat odpornou sílu, která je dostatečně silná, aby zabránila spojení kapky s kapkami sousedními. Olejová a vodná fáze rychle splývá a také se odděluje; tzv. emulgační film okolo tukové kuličky tvoří membrána tukových kuliček [7,12].

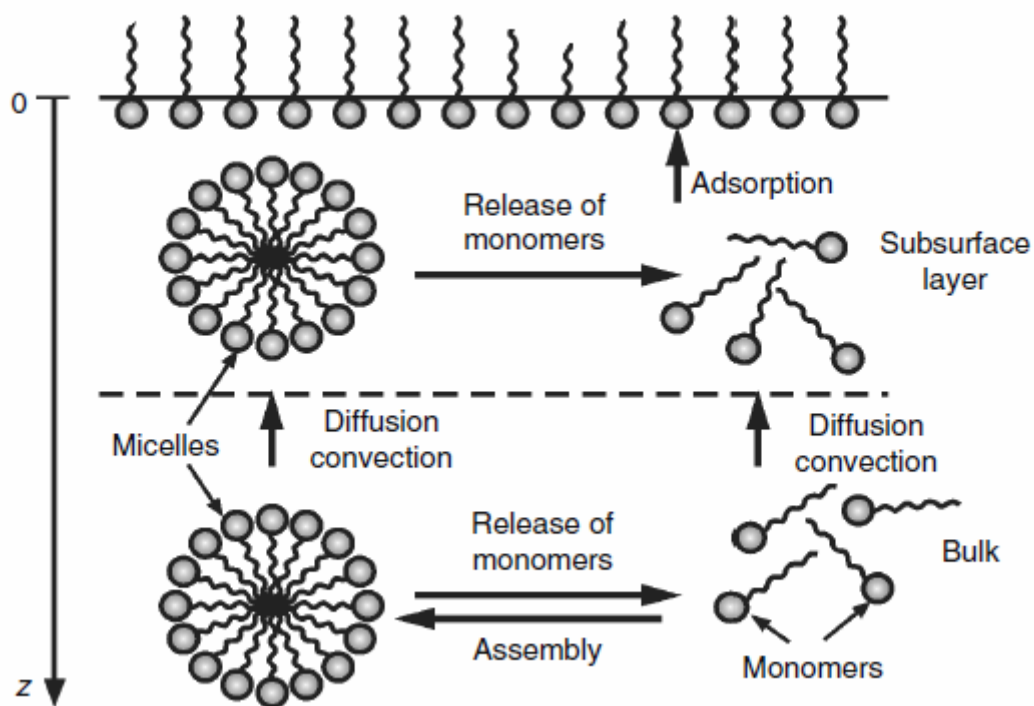
Některé emulgátory tvoří polyvrstvy (spíše než monovrstvy) na povrchu kapky, což značně zvyšuje stabilitu kapiček před agregací [7]:

- musí rychle adsorbovat na povrch čerstvě vytvořených kapek emulze během homogenizace,
- musí snižovat mezifázové napětí o významné množství,
- je potřebné vytvořit membránu, která zabraňuje agregaci kapiček.

Při vyšších koncentracích se vyskytují kulovité agregáty povrchových molekul, tzv. micely, které se objeví ve vodné povrchové aktivní látce. Počet monomerů v micelách je 50 – 100

v závislosti na velikosti povrchového konce (hlavy) a délce jeho uhlovodíkového „konce“. Micely bez ohledu na svou koncentraci existují v dynamické rovnováze s roztokem monomerů o koncentraci, která se rovná CMC (kritické micelární koncentraci) [9].

Koncentrační gradient vyvolává difúzi monomerů a micel. Zpravidla se absorbují povrchově aktivní monomery, přičemž micely jsou odpuzovány rozhraním a již nemohou být absorbovány (obrázek č. 13) [9].

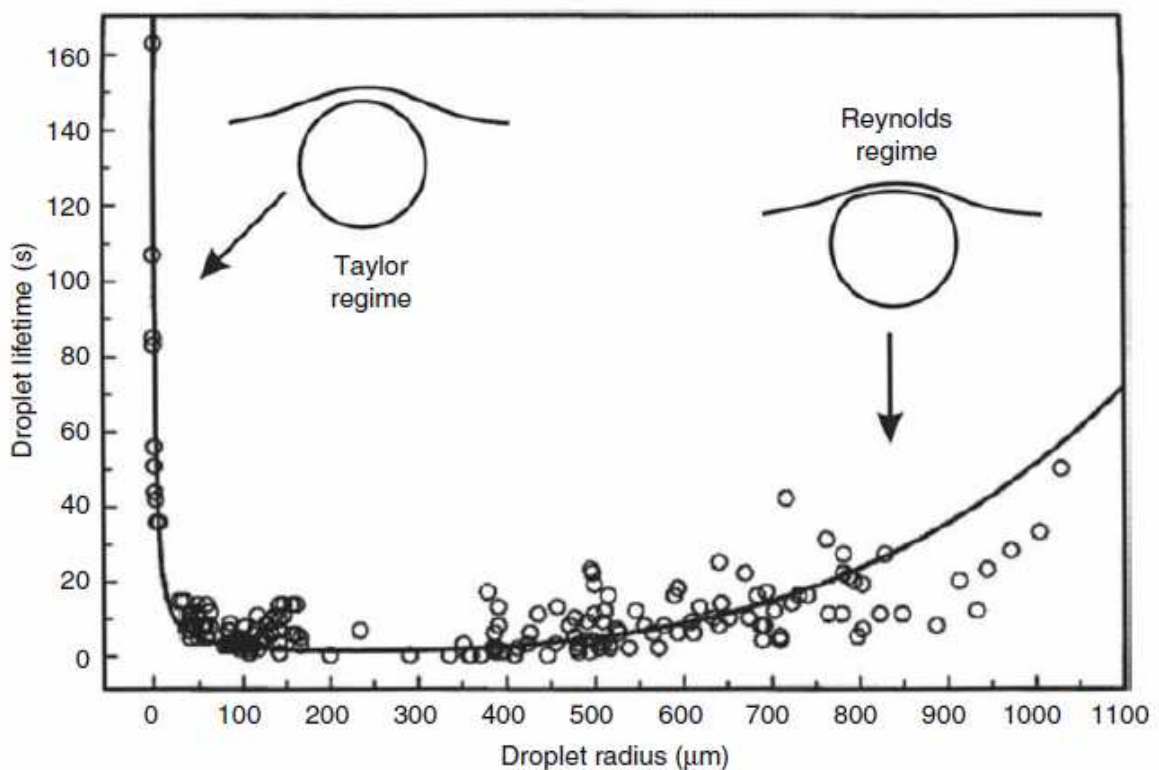


Obrázek 13) Adsorpční vrstva micely uvolňována monomery při obnovení rovnovážné koncentrace povrchových monomerů [9]

Povrchově aktivní molekuly se absorbují na rozhraní a koncentrace monomerů v podpovrchové vrstvě se snižuje, což vede k uvolnění monomerů ze sousedních micel či k jejich úplnému rozkladu. Role micel jako zdroje a nosiče monomerů vede k výrazným zrychlením povrchové adsorpce [9].

Hydrodynamická interakce mezi kapalnými částicemi (kapky, bubliny), které jsou rozptýleny v kapalném médiu, závisí na mezifázové mobilitě. V přítomnosti povrchově aktivních

látek, kdy je hlavní část kapaliny v pohybu v blízkosti rozhraní, narušuje homogenitu povrchově aktivní látky adsorpce monovrstvy. Následně povrchové napětí gradientně působí na obnovení rovnovážného stavu. Výsledný převod adsorbovaných molekul z oblastí s nižším povrchovým napětím směrem do oblasti s vyšším povrchovým napětím představuje účinek, který je způsoben tepelným gradientem, který je znám jako Marangoniho účinek termokapilarity. Dále rozhraní mají specifický povrch reologických vlastností jako je smyková povrchová viskozita, která vede k tzv. Boussinesqovu efektu [9].



Obrázek 14) Stabilita kapek oleje o různém poloměru stlačených vztlakem vzhledem k rozsáhlému rozhraní olej-voda [9]

### 2.3 Viskozita mléka

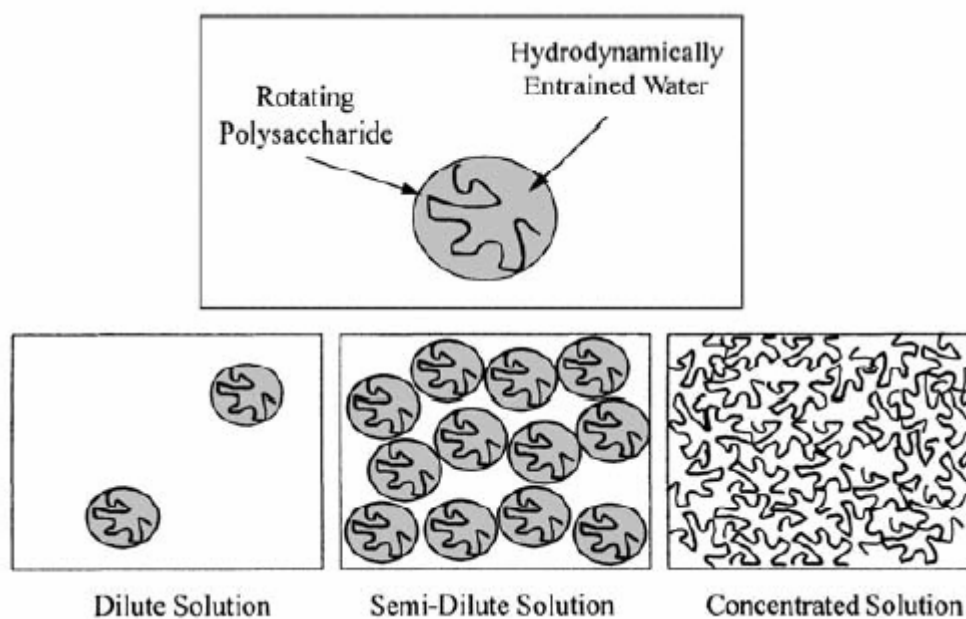
Druhotná role biopolymerů v potravinových emulzích je zvýšení viskozity vodné fáze. To mění texturu a „pocit potraviny v ústech“ (dochází k zahuštění). Viskozita se zvyšuje s časem a je nevratná. Ve smetaně se viskozita zvyšuje do doby, než se vytvoří šlehačka (pěna). Tyto biopolymery lze použít ke zvýšení viskozity vodného roztoku a jsou obvykle

ve formě vysoce hydratované molekuly nebo molekulárních agregátů. Jejich schopnost zvýšení viskozity závisí hlavně na jejich molekulární hmotnosti, stupni větvení, konformaci a flexibilitě [7,8].

Viskozita zředěného roztoku částic se zvyšuje, jak se zvyšuje koncentrace částic, kde  $\eta$  je viskozita roztoku,  $\eta_0$  je viskozita čistého rozpouštědla a  $\phi$  je objemový podíl částic v roztoku. Smyková rychlost je přímo úměrná smykovému napětí a viskozita nezávisí na smykové rychlosti v laminárním rozsahu průtoku [7,8].

Biopolymery jsou schopny zvýšit viskozitu vodných roztoků při nízkých koncentracích, protože mají efektivní objemový podíl, který je mnohem větší, než je jejich skutečný objemový podíl. V důsledku toho malá koncentrace biopolymeru může dramaticky zvýšit viskozitu roztoku. Účinnost biopolymeru na zvýšení viskozity se zvyšuje, když objem frakce daného biopolymeru se snižuje. Velké, vysoce rozvětvené biopolymery zvyšují viskozitu roztoku mnohem účinněji než malé kompaktní nebo malé rozvětvené biopolymery. Ve zředěném roztoku biopolymeru jednotlivé molekuly (nebo agregáty) na sebe vzájemně nepůsobí. Pokud koncentrace biopolymeru vzroste nad určitou kritickou hodnotu koncentrace biopolymeru ( $c^*$ ), viskozita vzroste značně, protože klubka biopolymeru se vzájemně třou a překrývají. Tento typ roztoku je znám jako polozředěný, protože i když molekuly interagují navzájem, každý jednotlivý biopolymer je stále do značné míry obklopen molekulami rozpouštědla. Při stále vyšších koncentracích polymeru jsou molekuly sbalené tak blízko sebe, až se zaplétají. Systém vykazuje lepší gelové vlastnosti [7].

Roztoky obsahující větvené biopolymery často vykazují značné smykové napětí ve zředěném stavu (při nízké koncentraci); tzn., že jejich zdánlivá viskozita klesá s rostoucím smykovým napětím. Když se aplikuje napětí pod mezí kluzu, roztok se chová jako pružná pevná látka, ale když se překročí napětí na mezi kluzu, roztok se chová jako kapalina. Zeslabení smykové tendence nastane, když jsou fyzikální interakce zodpovědné za biopolymerní interakce přerušeny. Olejové kapičky se přesunují přes emulzi a vyvíjejí velmi malé smykové napětí na okolní kapaliny. V důsledku toho dochází k velkému růstu viskozity, což značně zpomaluje rychlost vystávání smetany, a proto zvyšuje stabilitu [7].



Obrázek 15) Biopolymery ve vodných roztocích odpuzují velký objem vody, když rotují, což zvyšuje jejich efektivní objemový podíl a tím i jejich viskozitu [7]

## **II. PRAKTICKÁ ČÁST**

### 3 CÍL PRÁCE

Cílem teoretické části práce bylo popsat hlavní komponenty mléka, které mají primární vliv na fyzikální vlastnosti mléka. Hlavními komponenty jsou bílkoviny a tuky. Dále jsou zde popsány fyzikální vlastnosti mléka – povrchové napětí a viskozita.

V praktické části bylo za cíl zjistit jaká použitá teplota má největší vliv na reologické vlastnosti mléka kravského a kozího, kdy se srovnávala i použitá teplota záhřevu od výrobce (UHT záhřev, pasterace).

## 4 METODIKA PRÁCE

### 4.1 Charakteristika vzorků

Vzorky mléka k výzkumu byly použity v čerstvém stavu během doby trvanlivosti, kterou stanovil výrobce. Mléka byla mimo měření uskladněna v lednici při teplotě cca 4 °C, jak udával výrobce na etiketě výrobku.

#### 4.1.1 Kravské mléko

Vstupní suroviny:

- Madeta, a.s., Jihočeské mléko odtučněné, trvanlivé, obsah tuku max. 0,5 %,
  - Složení: mléko,
- Mlékárna Hlinsko, a. s., Tatra smetana ke šlehání, obsah tuku max. 30 %,
  - Složení: smetana, stabilizátor E 407 (karagenan).

Mléko bylo zakoupeno v dostupné tržní síti České republiky, výrobci již mléko a smetanu ošetřili UHT záhřevem a také bylo již homogenizováno a standardizováno na tučnost, která byla uvedena na obale výrobku.

Konzumní mléka byla použita záměrně, protože řada potravinářských provozů odebírá přímo mléko od dodavatele k dalšímu zpracování ve své výrobě. Většina výrobců používá pro svou výrobu mléka pouze pasterována, ale bohužel v tržní síti nelze zakoupit odstředěné mléko pasterované, proto byl zvolen záhřev UHT.

UHT záhřev je dle legislativy České republiky popsán ve vyhlášce číslo 77/2003Sb. v platném znění jako *tepelné ošetření mléka a mléčných výrobků krátkodobým zahřátím nepřerušovaného proudu mléka na vysokou teplotu, odpovídající účinku zahřátí na teplotu nejméně 135 °C po dobu nejméně 1 sekundy, s následným aseptickým balením do neprůsvitných obalů tak, aby chemické, fyzikální a smyslové změny byly sníženy na minimum* [23].



### 4.1.2 Kozí mléko

Vstupní surovina:

- BIOFARMA DoRA, s.r.o. Kozí mléko BIO, o tučnosti min 2,7 %

Došlo zde k odstředění mléka, kdy vznikly dvě dílčí suroviny:

- mléko o tučnosti 0,2 %,
- smetana s tučností 51 %.

Kozí mléko bylo zakoupeno v dostupném obchodě se specifickými výrobky od malovýrob-  
ců. Kozí mléko se dodává do tržní sítě nestandardizované, ale pouze ošetřené tepelným  
záhřevem, na rozdíl od kravského mléka nebylo podrobené homogenizaci již od výroby.

Vyhláška české legislativy číslo 77/2003Sb. říká, že pasteraci je možné definovat ja-  
ko *tepelné ošetření mléka a mléčných výrobků zahřátím mléka na teplotu nejméně 71,7 °C  
po dobu nejméně 15 sekund nebo jinou kombinací času a teploty za účelem dosažení rov-  
nocenného účinku* [23].

## 4.2 Úprava vzorků

### 4.2.1 Úprava kozího mléka

Použitá zařízení:

- Odstředivka typ: FT15 (Armfield Inc., Velká Británie),
- Stolní mixér PHILIPS Electronic (HR 2127140, Nizozemí).

Kozí mléko od malovýrobce mělo tučnost 2,7 % hm.; když bylo zapotřebí získat smetanu a  
mléčnou plazmu, muselo být mléko podrobeno odstředění. Odstředěním mléka byly získá-  
ny 2 produkty – mléčná plazma<sup>1</sup> o tučnosti 0,2 % a smetana s obsahem tuku 51 %.

---

<sup>1</sup> mléčná plazma - v našem případě se jedná o odstředěné mléko s minimálním obsahem tuku, plazma vzniká po odstředění smetany.

Pro zabránění vyvstávání smetany a udržení stálé koncentrace v celém roztoku vzorku musela být u tohoto mléka provedena homogenizace ve stolním mixéru pro roztříštění tukových kuliček.

### 4.3 Standardizace vzorků

U obou mlék musela být provedena standardizace na procentuální zastoupení smetany v mléce. Standardizace byla stanovena dle poměrového zastoupení.

Ukázkový výpočet na konečnou koncentraci tuku v mléce 4,5 % obj. u kozího mléka, počítáno na 40 ml.

Počet dílů smetany  $4,5 - 0,2 = 4,3$

Počet dílů mléka  $51 - 4,5 = 46,5$

Počet dílů celkem  $46,5 + 4,3 = 50,8$

1 díl  $\frac{30}{50,8} = 0,59$

Množství mléka  $0,59 * 46,5 = 27,44 \text{ ml}$

Množství smetany  $0,59 * 4,3 = 2,53 \text{ ml}$

### 4.4 Povrchové napětí

Měření bylo prováděno pomocí metody kapilární elevace, kdy do tlustostěnné kapiláry se vsaje vzorek mléka. Vzorek dosáhne hladiny rysky kapiláry a poté je zachytáváno 20 kapek do předem zvážené a vysušené váženky. Tato metoda patří k méně využívaným metodám, ale zároveň je rychlá a průkazná. Většina autorů používala při měření povrchového napětí mléka metodu Wilhelmyho talířů, která patří k přesnějším metodám.

### 4.5 Reologie mléka

Jako doplňková analýza byl použito zařízení Univerzální laboratorní reometr HAAKE RheoSterss 1 (Thermo Scientific, USA), vyhodnocovací software HAAKE RheoWin Data Manager. K reometru je připojena cirkulující vodní lázeň Termostat HAAKE AC 200

(Thermo Scientific, USA), teplota je udržována konstantní v rozmezí  $\pm 0,5$  °C. Byla použita měřící geometrie válec na válec. Reometrické vlastnosti byly stanoveny v rozmezí smykových rychlostí  $0 - 250$  s<sup>-1</sup>, doba jednoho cyklu činila 120 s. Byla vyhodnocována závislost dynamické viskozity ( $\eta$ ) a tečného napětí ( $\tau$ ) na smykové rychlosti ( $\gamma$ ). Všechny grafy jsou k dispozici v příloze III. a IV. této práce.

#### **4.6 Infračervená spektroskopie s Fourierovou transformací (FTIR)**

Metoda FTIR je spektrofotometrická metoda sloužící ke stanovení přesného chemického složení daného vzorku. FTIR analýza byla vyhodnocena v programu OMNIC, byl použit způsob měření odrazu (ART) z důvodu hustoty vzorku, což poskytuje lepší výsledek než měření průchodu (transmitance), neboť pomocí transmitance nebylo možné vzhledem k vysokému obsahu tuku (velké hustotě vzorků) stanovit relevantní výsledky.

Metoda FTIR byla použita jako kvalitativní doplňková metoda k ověření, zda byl v odtučněném mléce přítomen tuk. Tato metoda má široké uplatnění v analýze potravinářských výrobků, konkrétně na přesné chemické složení.

## **5 VÝSLEDKY A DISKUZE**

### **5.1 Povrchové napětí mléka**

Z tabulky 4) je patrné, že metoda kapilární elevace je velmi přesná metoda a odchylky byly u kravského mléka 0,08 % a u kozího mléka byla odchylka 0,1 %. Tudíž můžeme říci, že máme výsledky velmi přesné a můžeme je tedy porovnávat s dalšími autory a jejich publikacemi, které jsou na stejné téma, ale použili metodu Wilhelmyho talířů, která je přesnější než metoda stalagmometrická.

Dle grafů 1, 2) můžeme říci, že bod zlomu u obou mlék nastává při koncentraci mléčného tuku 3,5 % hm., což má za následek, že množství tuku a bílkovin v mléce má stejnou hodnotu.

Tabulka 4) Srovnání hodnot povrchového napětí obou mlék v závislosti na tučnosti

Tučnost [% hm.]	Povrchové napětí [N/m]	
	Kravné mléko	Kozí mléko
0,5	<b>0,0716</b>	<b>0,0314</b>
1,0	0,0682	0,0395
1,5	0,0682	0,0392
2,0	0,0673	0,0386
2,5	<b>0,0665</b>	0,0418
3,0	0,0649	<b>0,0442</b>
3,5	0,0618	0,0430
4,0	0,0675	0,0384
4,5	0,0667	0,0412
5,0	0,0666	0,0399
Průměr	<b>0,0669</b>	<b>0,0397</b>
Odchylka [%]	0,0789	0,112

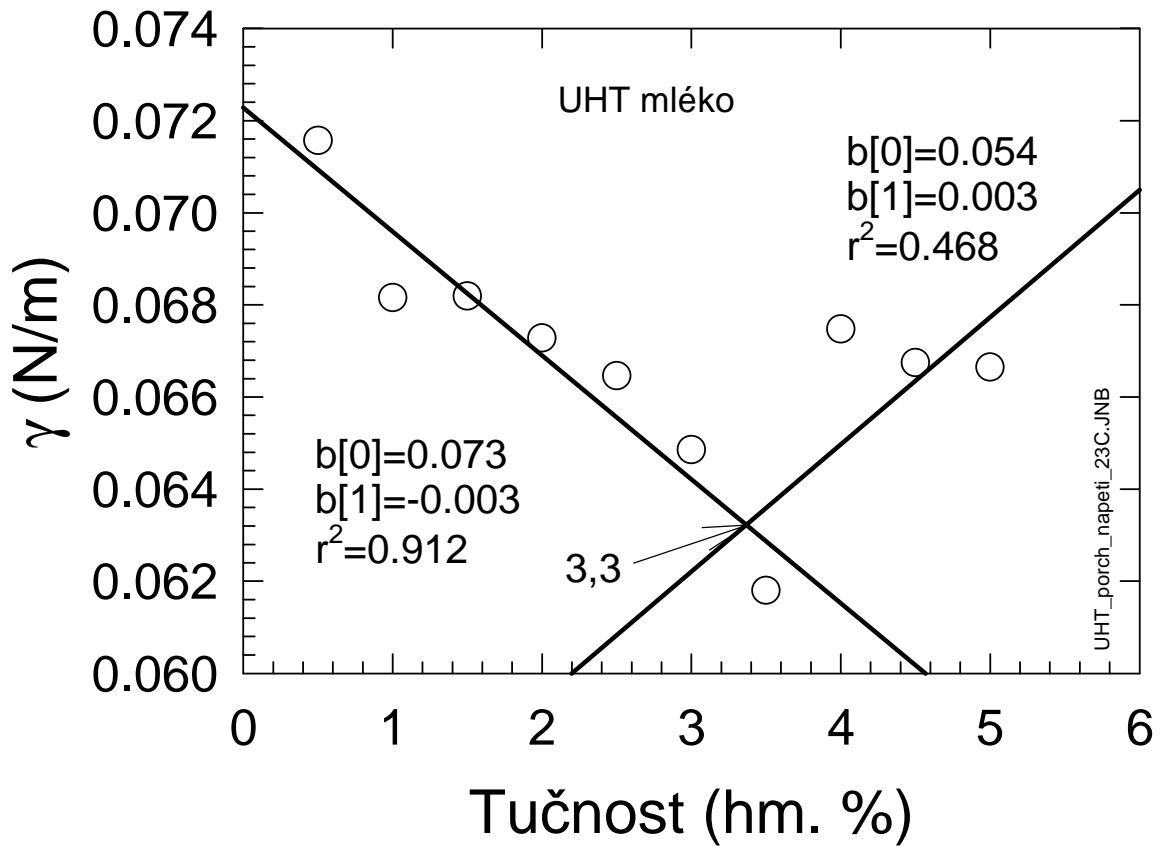
Vzorový výpočet povrchového napětí pro kozí mléko o tučnosti 0,5 %

$$\gamma_{mléka} = \frac{\gamma_{vody} * m_{mléka}}{m_{vody}} = \frac{0,0719 * 0,0413}{0,0951} = 0,0313$$

Kde:

 $\gamma_{mléka}$  ... povrchové napětí mléka [N/m] při 23 °C $\gamma_{vody}$  ... povrchové napětí destilované vody [N/m] při 23 °C $m_{vody}$  ... hmotnost 1 kapky destilované vody [kg] při 23 °C $m_{mléka}$  ... hmotnost 1 kapky mléka [kg] při 23 °C

## 5.1.1 Kravské mléko



Graf 1) Závislost povrchového napětí kravského mléka o teplotě 23°C na koncentraci mléčného tuku

Mléko bylo měřeno při teplotě 23 °C. Došli jsme k výsledkům, že k největšímu bodu zlomu dochází při koncentraci 3,3 % tuku v mléce. Tudiž můžeme říci, že mléko má ve svém složení bílkoviny v množství 3,3 %. Zde došlo k vyrovnání koncentrací tuků a bílkovin, proto mělo mléko nejnižší povrchové napětí.

Povrchové napětí v bodu zlomu grafu je 63 mN/m, ale nejvyšší povrchové napětí bylo naměřeno při koncentraci 0,5 % tuku, kdy bylo 71 mN/m. Tato hodnota se blíží povrchovému napětí vody, které je tabelováno jako 72 mN/m [20]. S přibývajícím koncentrací tuku se snižuje povrchové napětí mléka, ale toto platí pouze do koncentrace 3,5 % tuku, kdy byla naměřena hodnota 62 mN/m. Při nejvyšší koncentraci, tedy námi zvolené koncentraci 5 %, byla již hodnota vyšší a to 67 mN/m.

U mléka s koncentrací tuku 4 – 5 % můžeme říci, že se zde povrchové napětí měnilo jen minimálně oproti koncentraci 1 – 3 % tuku v mléce.

Dle MUKHERJEE, Niloshree [18] mléčné bílkoviny a tuky jsou hlavní povrchově aktivní složky, které mají vliv na povrchové napětí mléka. Výrobce již mléko homogenizoval, tudíž povrchové napětí klesá s rostoucím obsahem tuku, u nás pouze do koncentrace 3,5 %. Našli jsme shodu, že povrchové napětí je nepřímo úměrné množství tuku.

Použijeme-li slova MUKHERJEE, Niloshree [18], povrchové napětí je vlastnost, kterou ovlivňuje množstvím povrchově aktivních činidel, jako jsou tuky a bílkoviny. Pokud některé mléko obsahuje největší množství bílkovin, bude mít nejvyšší povrchové napětí. Povrchové napětí je nepřímo úměrné obsahu tuku, ale účinek byl méně výrazný s vyšší koncentrací tuku.

Srovnáme-li hodnoty, které získali LAPČÍK a kol. [19], kteří použili metodu Wilhelmiho talíře, autoři došli k závěru, že odstředěné mléko (0,5 % tuku) při teplotě 23 °C má povrchové napětí v rozmezí 45 až 140 mN/m. Tyto hodnoty svědčí o tom, že v mléce bylo velké množství polárních látek. Můžeme říci, že k nejnižší hodnotě 45 mN/m se v případě našich výsledků přiblížíme pouze u mléka, které má tučnost 3,5 %. Rozdílné hodnoty můžeme přisuzovat:

- přesnější metodě, kterou použili daní autoři, než je pro běžnou praxi využívaná laboratorní metoda kapilární elevace, či chybě měření,
- v rámci jejich nejnižší hodnoty (45 mN/m) lze diskutovat o přidavku sušeného mléka a tím o zvýšení množství polárních látek (bílkovin), čímž došli k této hodnotě,
- menší zastoupení tuku řádově až o desetiny procent tuku v mléce, vztaženo na hodnotu 140 mN/m,
- homogenizace má vliv na povrchové napětí a mléko, které bylo podrobena homogenizaci, má větší povrchové napětí.

Porovnali jsme hodnoty s WILLIAMS, Anna M. a kol. [24] a došli jsme k závěru, že při metodě kapilární elevace se neshodujeme ve výsledcích. Nami získané hodnoty jsou v rozmezí 71,56 – 61,79 mN/m a dle WILLIAMS, Anna M. a kol. [24], jsou hodnoty u mléka s tučností 3,5 % 44,5 – 48,5 mN/m.

Rozdílné hodnoty můžeme přisuzovat tomu, že jsme použili již komerční vzorky mléka, smetany a WILLIAMS, Anna M. a kol. [24] si mléko přesně analyzovali dle chemického složení, poté až provedli standardizaci i s obsahem tuku a bílkovin. Dále si stanovili obsah laktózy, o kterém se domníváme, že vždy bude mít vliv na povrchové napětí v každé koncentraci mléka stejně jako obsah minerálních látek, protože tyto složky přecházejí při odstředování do mléčné plazmy.

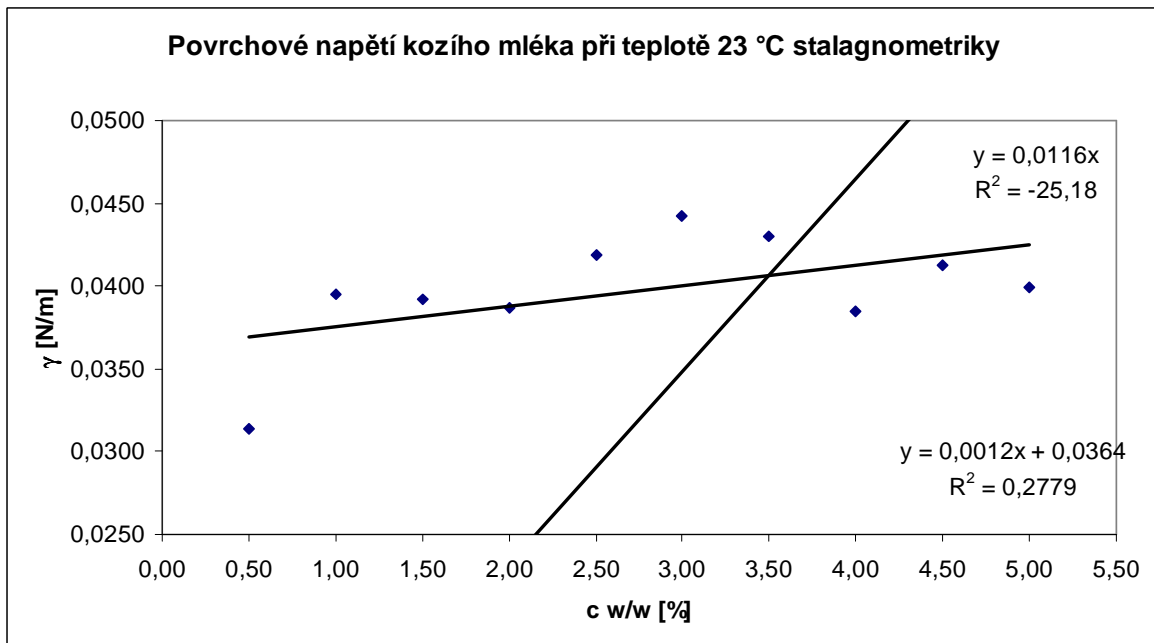
Můžeme souhlasit s WILLIAMS, Anna M. a kol. [24], že tepelné ošetření mléka způsobuje, že povrchové napětí se zvětšuje, protože má za následek denaturaci a koagulaci mléčných proteinů a také, že homogenizace přispívá ke zvýšení povrchového napětí. Souhlasíme, protože jsme použili mléko, které bylo podrobena UHT záhřevu a také i homogenizaci a též jsme použili smetanu s obsahem 30 % tuku, která byla také podrobena homogenizaci, bohužel nevíme s jak vysokým tlakem, pouze se můžeme domnívat, že homogenizace byla vysokotlaká z důvodu vysokého obsahu tuku.

Dále jsme porovnali s PRAJAPATI, Darshna B. a kol. [25], který u vzorků tepelně neošetřeného kravského mléka došel k závěru, že má průměrnou hodnotu 51,02 mN/m. Naše průměrná hodnota byla 66,92 mN/m. Tuto hodnotu si vysvětlujeme tím, že u našich konzumních vzorků bylo provedeno tepelné ošetření s UHT záhřevem a stejně jako u autora i homogenizace, které přispívají k zvýšenému povrchovému napětí, které uvádí ve svém článku WILLIAMS, Anna M. a kol. [24].

XU, Yun Yun a kol. [32] ve své publikaci upravovali koncentraci tuku a bílkovin v jednotlivých vzorcích kravského mléka, upravili vzorek tak aby obsahoval sérové i kaseinové bílkoviny a homogenizovaný tuk. Měření provedli za pomoci metody Willhelmyho talířů při teplotě 23 °C, hodnota povrchového napětí byla 53,0 mN/m. Pokud ve vzorku byly přítomné pouze kaseinové bílkoviny a homogenizovaný tuk, bylo povrchové napětí pouze 51,0 mN/m. Při naší metodě kapilární elevace jsme dostali hodnotu vyšší, zhruba o 8,0 mN/m.



### 5.1.2 Kozí mléko



Graf 2) Závislost povrchového napětí kozího mléka při teplotě 23 °C při různých koncentracích

WILLIAMS, Anna M. a kol. [24] ve své publikaci prezentují kravské mléko, jehož hodnota povrchového napětí se shoduje s hodnotou stanovenou v předkládané práci. Autoři studie získali hodnotu 49 mN/m při koncentraci 0,5 % tuku, což se blíží hodnotě 41 mN/m v této práci, ale již se neshodujeme, že polotučné mléko, tj. koncentrace 1,5 % má stejné povrchové napětí jako odtučněné mléko; v naší práci jsme stanovili hodnotu vyšší, a to 51 mN/m.

Dále jsme porovnávali výsledky s PRAJAPATI, Darshna B. a kol. [25], který odebíral vzorky mlék v období 2013 až 2014 a stanovoval povrchové napětí u čerstvě nadojeného mléka s homogenizací, a došel k závěru, že kozí mléko má povrchové napětí průměrně 54,28 mN/m. Můžeme s ním souhlasit, protože jsme došli k téměř identickým výsledkům, které jsou jen o pár jednotek nižší tj. 52,47 mN/m.

WILLIAMS, Anna M a kol. [24], říká, že pokud jsme provedli operace, jako bylo odstředění a homogenizace pomocí stolního mixéru, měli bychom mít větší hodnoty než PRAJAPATI, Darshna B a kol. [25].

Mléko má průměrné povrchové napětí 45-48 mN/m [34], tato hodnota se blíží ke stanoveným hodnotám kozího mléka (průměrná hodnota 39,7 mN/m).

Dostali jsme výsledky, že nejnižší povrchové napětí je při koncentraci 0,5 % tuku v mléce a nejvyšší při zastoupení smetany v mléce 3,0 % kdy je hodnota povrchového napětí 42,2 mN/m, od této hodnoty již povrchové napětí klesá v závislosti na jeho tučnosti. Vzhledem k této hodnotě si můžeme ujasnit, že naše počáteční hodnota kozího mléka od výrobce byla 2,7 % tuku, přičemž ji výrobce dále neupravoval. Usoúdíme-li, že v mléce byl rovný poměr bílkovin a tuků, kdy ředění vzorku bylo prováděno z odstředěného mléka spolu se získanou smetanou, mohla se vyskytnout chyba při zkoncentrování vzorku na tučnost 3,0 % hm.

## 5.2 Kinematická viskozita mléka

Vzorový výpočet kinematické viskozity pro kravské mléko o tučnosti 0,5 %

$$v \cdot t \cdot K = 50,9 \cdot 0,0287 = 1,406$$

Kde:

$v$  ... kinematická viskozita [ $\text{mm}^2/\text{s}$ ]

$t$  ... čas průtoku vzorku mléka [s]

$K$  ... konstanta Ubbelohdeho viskozimetru  $0,0287 \text{ mm}^2/\text{s}$

Pokud porovnáme kravské mléko s mlékem ošetřeným UHT a homogenizovaným od výrobce a kozí mléko pasterované a homogenizované pouze minimální zátěží oproti kravskému, dostaneme:

- kravské mléko má vyšší viskozitu o celou jednotku, což můžeme být způsobeno:
  - homogenizací,
  - tepelným záhřevem,
  - velikostí kapének mléčného tuku,
  - obsahem bílkovin,
  - obsahem minerálních látek,
  - množstvím laktózy.

U obou mlék dochází k bodu zlomu (jak je patrné z přílohy V. a VI.) vždy při tučnosti 3,5 % hm. To znamená, že pokud použijeme hodnoty z teoretické části této práce (kapitola 1.1) tak docházíme k relevantním výsledkům. Stejně množství bílkovin a rovnocenné množství tuku ve vzorku mléku má významný vliv na jeho viskozitu.

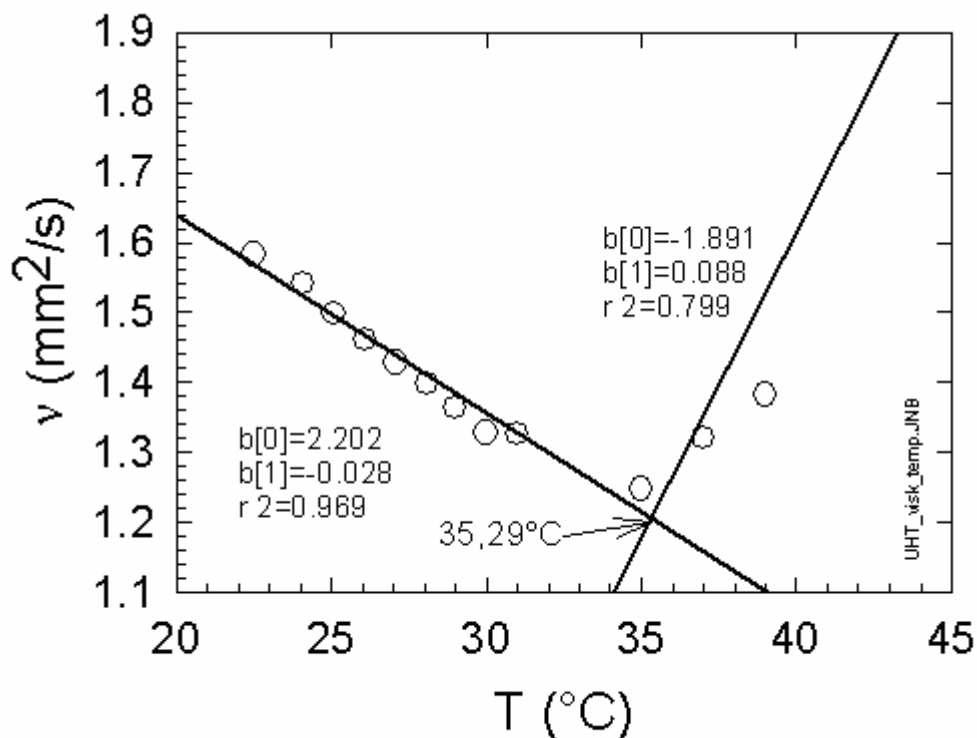
Z tabulky 5) jsme došli k výsledku, že námi stanovené hodnoty jsou relevantní se směrodatnou odchylkou 2,7 %. Proto můžeme říci, že máme relativně přesné hodnoty, které mají vypovídající charakter a můžeme je porovnávat s dalšími autory, kteří se zabývali podobným tématem jako my.

V tabulce 6) jsou zaznamenané výsledky z měření kinematické viskozity kozího mléka pasterovaného. Došli jsme k výsledkům, které mají statistickou odchylku 2,6 %. Tato odchylka je pro nás relevantní výsledek a můžeme s daty dále pracovat a porovnávat s autory prací, které jsou na podobné téma.

### 5.2.1 Kravské mléko UHT

Tabulka 5) Kinematická viskozita kravského UHT mléka

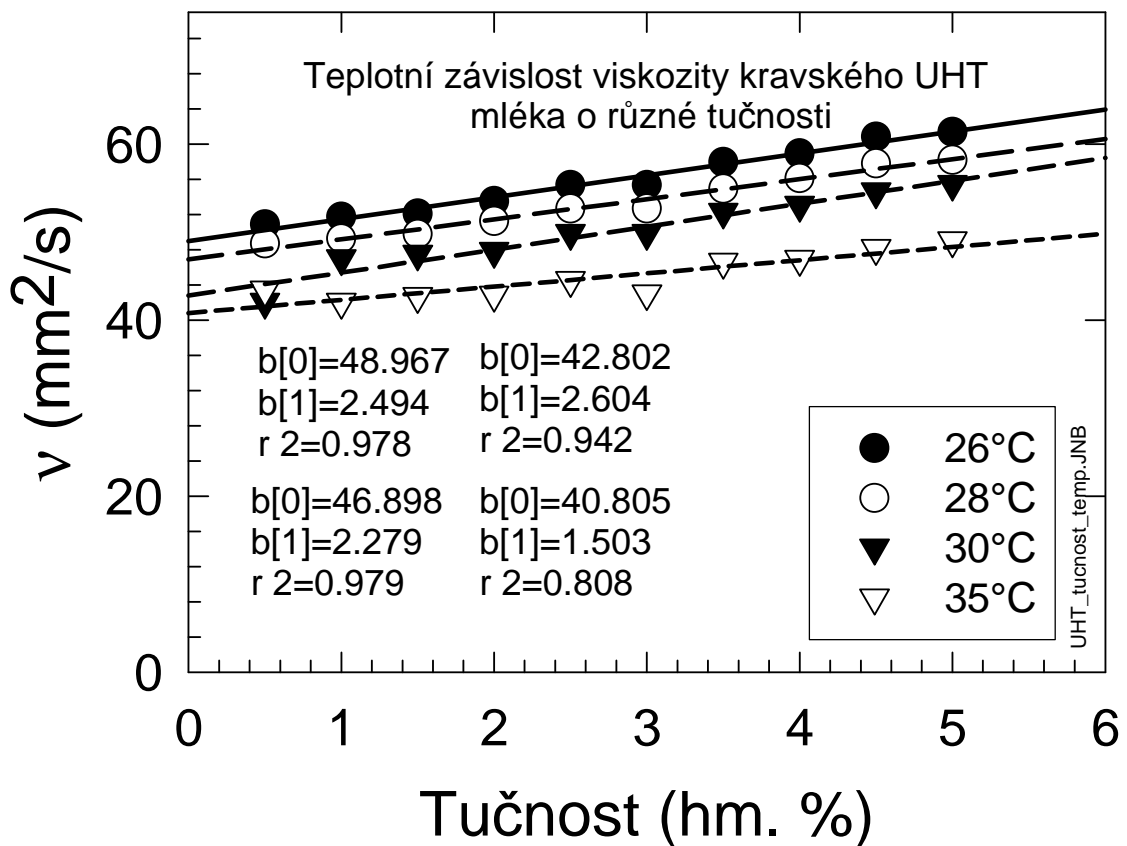
Teplota [°C]	Koncent- race	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	Průměr	Odhylka [%]
	viskozita [mm <sup>2</sup> /s]												
26		1,461	1,485	1,495	1,536	1,589	1,635	1,663	1,691	1,747	1,762	<b>1,606</b>	3,475
28		1,398	1,414	1,429	1,471	1,512	1,539	1,577	1,611	1,659	1,671	<b>1,528</b>	3,166
30		1,327	1,348	1,364	1,373	1,431	1,465	1,501	1,523	1,567	1,591	<b>1,449</b>	2,999
35		1,247	1,207	1,225	1,229	1,277	1,307	1,337	1,347	1,382	1,407	<b>1,297</b>	2,219
Průměr		1,358	1,364	1,378	1,402	1,452	1,487	1,520	1,543	1,589	1,608		<b>2,965</b>
Odhylka [%]		7,388	8,422	2,898	4,228	4,005	3,111	0,813	5,885	4,493	6,364		



Graf 3) Viskozita kravského mléka o tučnosti 0,5 % v závislosti na teplotě

Mléko již bylo od výrobce podrobno homogenizaci, a tím se můžeme přiklonit k poznatkům BAKSHI, A.S. [17], kteří uvádí, že homogenizované mléko má vyšší viskozitu než mléko, které nebylo homogenizované. Teplota má významný vliv na viskozitu mléka, a na to zda je tuk ve formě kapalné nebo pevné; svou roli hraje i složení tuku a jejich membrán. Se zvyšující se teplotou se viskozita snižuje.

Dle grafu 3) je patrné, že kinematická viskozita klesá až do teploty 35,29 °C, kdy se domníváme, že mastné kyseliny, které jsou součástí tukové kuličky, jsou již všechny kapalné a tím se snižuje viskozita mléka. Vyšší teploty tzn. 37 a 39 °C způsobují, že viskozita již lehce narůstá.



Graf 4) Viskozita kravského mléka v různých tučnostech při 4 teplotách

V případě kravského mléka můžeme souhlasit s výsledky BAKSHI, A.S. [17]. Viskozita odtučněného mléka, 1 % hm., 2 % hm. mléka a plnotučného mléka je prakticky stejná při 30 °C (naše výsledky se shodují pouze od tučnosti 1 až 2 % hm.). Účinek obsahu tuku na viskozitu je mnohem větší při nízké teplotě, viskozita mléka se tudíž při poklesu teploty zvýšila.

KUMBÁR V., NEDOMOVÁ Š. [26], použili rotační viskozimetr DV-3P (Anton Paar, Graz, Autstria), další výsledky získávali pomocí výpočtů. Rozdílné hodnoty můžeme také hledat v jejich výzkumu a to, že provedli přesnou analýzu obsahu tuku a bílkovin, které mají na viskozitu velký vliv. V této práci jsme tuto podrobnou chemickou analýzu neprováděli, pouze jsme použili mléko se stejným ošetřením.

Také se lišíme v tom, že KUMBÁR V., NEDOMOVÁ Š. [26] použili ke zjištění viskozity mléka přímo z tržní sítě, která již byla zakoupena s obsahem tuku 0,5; 1,5; 3,5 %. Tyto

mléka zakoupili v tržní síti v České republice. V našem případě jsme si vytvořili koncentrační řadu mlék o obsahu mléčného tuku 0,5 – 5,0 %, výchozí surovinou bylo odtučněné mléko (0,5 % tuku) a smetana ke šlehání (30 % tuku). Nezahrnujeme do toho složení smetany, u níž výrobce použil i zahušťovadla, pouze pracujeme s obsahem 30 % tuku.

V případě studie KUMBÁR V., NEDOMOVÁ Š. [26] se s těmito autory shodujeme pouze při koncentraci 3,5 % tuku, jejich průměrná hodnota kinematické viskozity je  $1,666 \text{ mm}^2/\text{s}$  a naše  $1,520 \text{ mm}^2/\text{s}$ . U koncentrace mléčného tuku 0,5 % (komerční název – odtučněné mléko) jsme stanovili hodnotu nižší o  $1,825 \text{ mm}^2/\text{s}$ , což je více než dvojnásobná hodnota. Dále můžeme porovnat vzorek mléka o tučnosti 1,5 %, který je ve spotřební síti nazýván jako polotučné mléko, kdy jsme stanovili, že máme hodnotu vyšší o  $0,751 \text{ mm}^2/\text{s}$ .

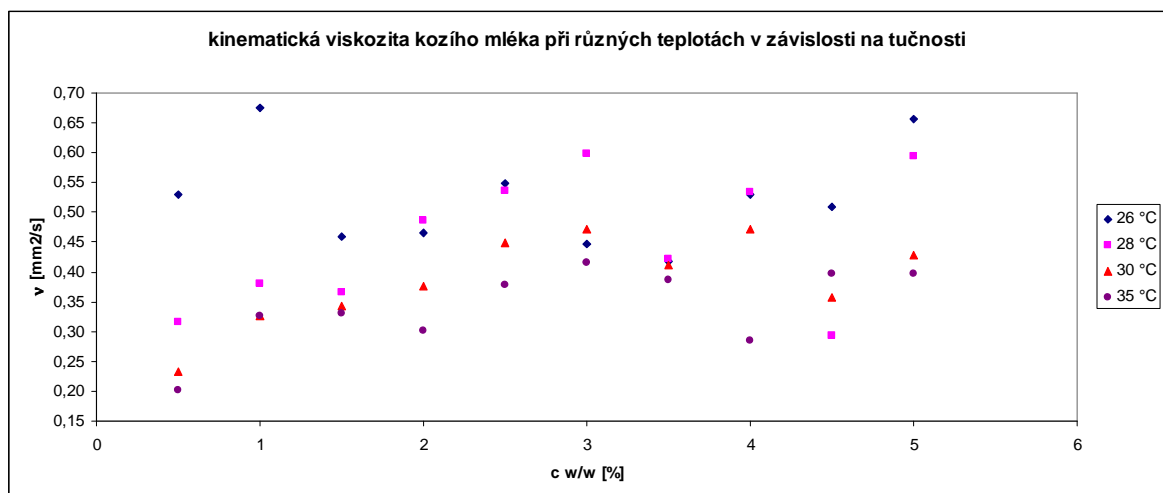
HADOHUM, M. Musallam a M. Almozogai HEND [28], použili pro měření kinematické viskozity Ostwaldův viskozimetr. Jejich výsledky jsou v rozmezí naměřených hodnot prezentované v této práci.

### 5.2.2 Kozí mléko pasterované

Tabulka 6) Kinematická viskozita kozího mléka pasterovaného

Teplota [°C]	Koncentrace [% hm.]	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	Průměr	Odhylka [%]
	Kinematická viskozita [mm <sup>2</sup> /s]												
26		0,530	0,678	0,460	0,467	0,549	0,448	0,418	0,531	0,508	0,660	0,524	2,739
28		0,316	0,381	0,366	0,483	0,537	0,537	0,422	0,536	0,294	0,596	0,446	3,329
30		0,235	0,327	0,346	0,378	0,451	0,451	0,413	0,473	0,358	0,430	0,386	2,295
35		0,201	0,327	0,331	0,301	0,378	0,378	0,386	0,285	0,398	0,397	0,338	1,992
Průměr		0,321	0,428	0,376	0,407	0,479	0,454	0,410	0,456	0,390	0,521		<b>2,589</b>
Odhylka [%]		7,388	8,422	2,898	4,228	4,005	3,254	0,813	5,885	4,493	6,364		

Graf 5) Kinematická viskozita kozího mléka při různých teplotách v závislosti na tučnosti





HADOHUM, M. Musallam a M. Almozogai HEND [28] použili pro měření kinematické viskozity Ostwaldův viskozimetr a došli k výsledku, který se neshoduje s touto prací a to dokonce v celé jednotce, kdy uvádí, že kravské a kozí mléko má téměř totožnou viskozitu při stejné teplotě. Nemůžeme s nimi souhlasit, protože pokud srovnáme vzorky z této práce, dostáváme se s kozím mlékem na výrazně nižší hodnotu kinematické viskozity, konkrétně o  $1,0 \text{ mm}^2/\text{s}$  než u kravského mléka. Tyto hodnoty mohou být v rozporu, přičemž autoři publikují ve své práci, že kozí mléko mělo po stanovení obsahu proteinů (4,92 % hm.) kinematickou viskozitu  $1,580 \text{ mm}^2/\text{s}$  (určena pomocí Ostwaldova viskozimetru). Tato hodnota může být ovlivněna plemenem.

### **5.3 Dynamická viskozita mléka**

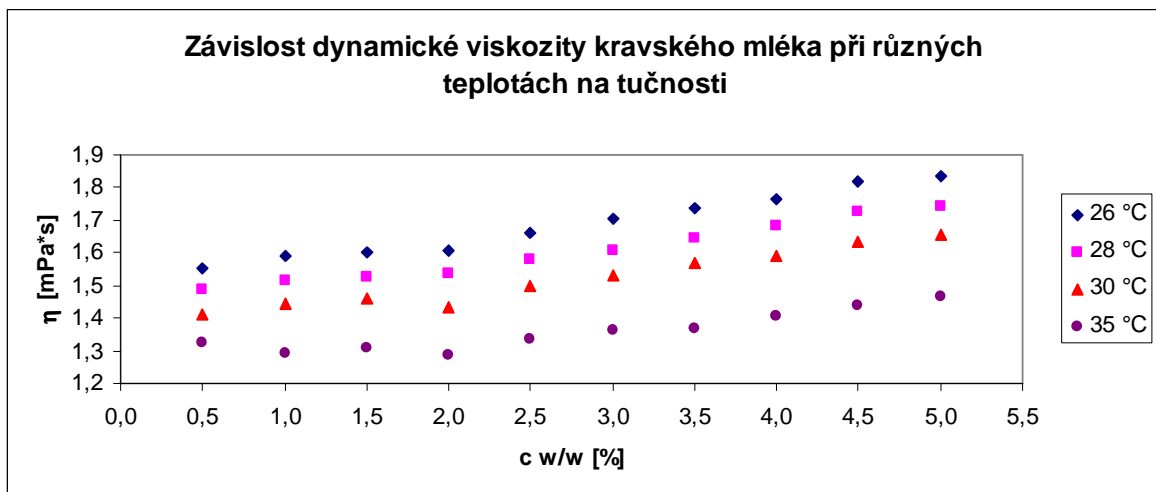
Z tabulky 7) a 8) jsou patrné hodnoty dynamické viskozity při 4 různých teplotách. Jsou uvedené i průměrné hodnoty a také odchylky, které jsou u kravského mléka 2,7 %, a u kozího mléka činí odchylka měření 1,0 %. Z těchto odchylek měření usuzujeme, že výsledky jsou věrohodné a správné, můžeme je tedy posuzovat s dalšími autory podobných publikací.

### 5.3.1 Kravské mléko

Tabulka 7) Dynamická viskozita kravského mléka UHT

Teplota [°C]	Koncentrace [% hm.]	Dynamická viskozita [mPa*s]										Průměr	Odhylka [%]
		0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0		
26		1,555	1,589	1,599	1,608	1,661	1,707	1,737	1,766	1,821	1,835	<b>1,688</b>	3,174
28		1,488	1,514	1,528	1,539	1,581	1,607	1,646	1,682	1,729	1,741	<b>1,606</b>	2,874
30		1,413	1,443	1,458	1,436	1,496	1,530	1,567	1,590	1,633	1,658	<b>1,522</b>	2,745
35		1,327	1,292	1,310	1,286	1,336	1,361	1,369	1,406	1,441	1,466	<b>1,359</b>	1,951
Průměr		1,446	1,460	1,474	1,467	1,519	1,551	1,580	1,611	1,656	1,675		<b>2,686</b>
Odhylka [%]		4,907	6,329	6,171	6,999	6,954	7,304	7,837	7,721	8,130	7,849		

Graf 6) Závislost dynamické viskozity kravského mléka o různých teplotách na tučnosti



KUMBÁR, V. a Š. NEDOMOVÁ [26] sice použili jinou metodu a přepočtení oproti předkládané studii, ale s jejich výsledky můžeme souhlasit. Naše výsledky se shodují, protože bylo mléko odebíráno z obchodní sítě České republiky a také bylo ošetřeno UHT záhřevem od výrobce. Bohužel autoři použili přímo obchodní mléka a dále vzorky neupravovali, díky tomu porovnáváme pouze koncentrace 0,5; 1,5 a 3,5 hm. %.

Dle našeho výzkumu můžeme říci, že pokud mléko zahřejeme na teplotu 26 °C, má vyšší dynamickou viskozitu oproti mléku, které bylo zahříváno pouze na teplotu 35 °C, rozdíl mezi těmito teplotami je pouze 9 °C, ale při této viskozitě je to rozdíl o 0,369 mPa\*s a to při tučnosti 5,0 %. Zde je vidět rozdíl nejvíce.

KIELCZEWSKA, Katarzyna a kol. [29] měřili viskozitu mléka při vysokotlaké homogenizaci a došli k výsledku, že mléko při tučnosti 3,3 % a teplotě homogenizace 65 °C má viskozitu v rozmezí 1,83 – 1,93 mPa\*s. V této práci byly použity vzorky mléka, které v rámci výroby již výrobce homogenizoval. Přikláníme se k tvrzení, že homogenizace a zvýšení teploty má vliv na viskozitu kravského mléka a také se zvyšující se teplotou viskozita klesá. Toto klesání lze vysvětlit tak, že dochází k přeměně skupenství mastných kyselin v mléce z pevných na kapalné.

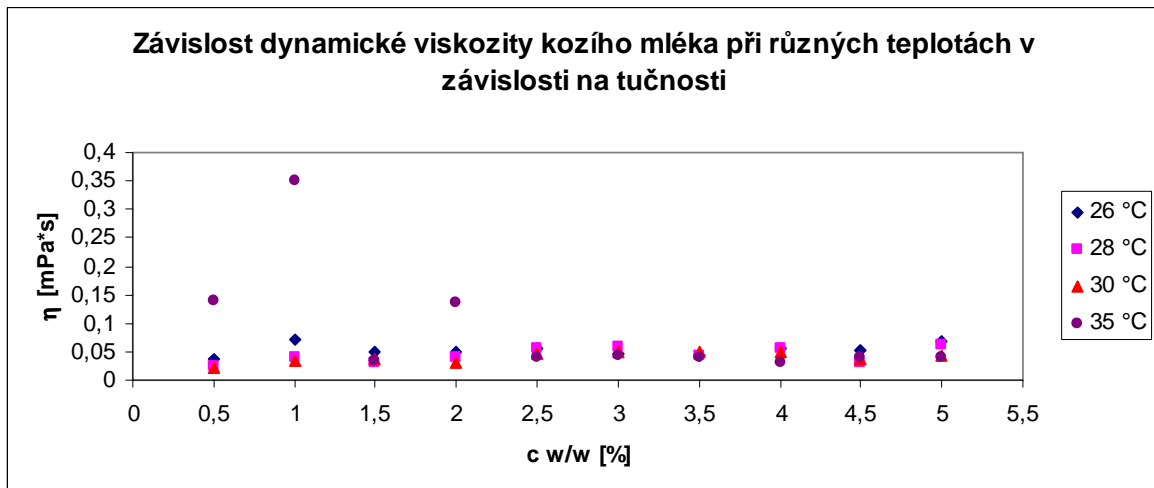
IMRAN, Mohammad, a kol. [31] došli k výsledkům, které jsou v rozmezí průměrných hodnot dynamické viskozity kravského mléka v této práci, kdy zkoumané kravské mléko mělo průměrnou hodnotu 1,38 mPa\*s. K této hodnotě jsme se přiblížili při teplotách 30 °C (1,449 mPa\*s), 35 °C (1,297 mPa\*s). Můžeme říci, že odebírané vzorky v České republice mají podobné vlastnosti jako vzorky mlék zkoumané pákistánskými autory. Ti také zjistili, že způsob chovu krav a jejich výživa přispívá k fyzikálním vlastnostem mléka.

PÍSAŘÍKOVÁ [33] publikovala, že u čerstvě nadojeného mléka došla k hodnotě dynamické viskozity 1,787 mPa\*s při 38 °C. V naší práci byla stanovena koncentrační řada a při teplotě 35 °C a obsahu 3,5 % mléčného tuku v mléce jsme dostali hodnotu 1,369 mPa\*s. Při stejné tučnosti, ale teplotě 30 °C byla hodnota viskozity 1,530 mPa\*s. Se zvyšující teplotou dynamická koncentrace se snižuje, a tudíž bychom očekávali, že by u uváděné publikace měla být hodnota nižší. Vysvětlení spočívá v tepelném ošetření (UHT záhřev) a homogenizaci u mléka i smetany.

### 5.3.2 Kozí mléko

Tabulka 8) Dynamická viskozita kozího mléka pasterovaného

Teplota [°C]	Koncentrace	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	Průměr	Odchylka [%]
	[% hm.]	Dynamická viskozita [mPa*s]											
26		0,0366	0,0723	0,0491	0,0487	0,0573	0,0467	0,0435	0,0552	0,0527	0,0685	<b>0,0531</b>	0,3446
28		0,248	0,0406	0,0307	0,0395	0,0560	0,0584	0,0440	0,0557	0,0306	0,0619	<b>0,0665</b>	2,0476
30		0,0217	0,0349	0,0369	0,0312	0,0470	0,0492	0,0429	0,0492	0,0372	0,0446	<b>0,0395</b>	0,2791
35		0,1396	0,0349	0,0353	0,135	0,0394	0,0433	0,0402	0,0297	0,0411	0,0413	<b>0,0580</b>	1,3284
	Průměr	0,111	0,046	0,038	0,064	0,050	0,049	0,043	0,047	0,040	0,054		<b>0,9999</b>
	Odchylka [%]	5,252	0,898	0,393	2,407	0,419	0,323	0,085	0,610	0,464	0,660		



Graf 7) Závislost dynamické viskozity kozího mléka při různých teplotách v závislosti na tučnosti

Pokud porovnáme naše výsledky s PRAJAPATI, Darshna B. a kol. [25], nemůžeme s nimi souhlasit v tvrzení, že kozí mléko má vyšší viskozitu oproti kravskému. Domníváme se však, že tento rozpor je způsoben tepelným ošetřením mléka již u výrobce.

GABAS, Ana Lúcia a kol. [30] ve své publikaci uvádí, že viskozita se snižuje při zvyšující se teplotě. Naopak je tomu při konstantní teplotě, když se zvyšuje koncentrace mléčného tuku v mléce, tak roste i viskozita. S autory této publikace můžeme souhlasit, ale pouze při teplotě 35 °C a koncentraci 0,5 % tuku v mléce došlo dle autorů k odchylce a viskozita se rapidně zvýšila. Tuto hodnotu si můžeme vysvětlit jako chybu měření, protože při dalších hodnotách této práce se s autory shodujeme.

IMRAN, Mohammad, a kol. [31], kteří prováděli stanovení viskozity kozího mléka odebraného pákistánskými vědci a nijak neupravovali tuk, dostali výsledky, že průměrná hodnota viskozity kozího mléka je 1,44 mPa\*s. Jsme v rozporu s těmito výsledky, protože se pohybujeme o 1,0 mPa\*s níže. Rozdíl může být dán plemenem či chemickým složením mléka.

PÍSAŘÍKOVÁ [33] ve své práci došla k výsledkům, že kozí mléko tepelně neošetřené a nehomogenizované má při teplotě 38 °C dynamickou viskozitu 5,338 mPa\*s. Bohužel s touto prací se neshodujeme. Hodnota kozího mléka při tučnosti 5,0 % a teplotě 35 °C je až desetkrát nižší, přičemž ani nemůžeme přirovnat hodnotu při tučnosti 3,5 % a teplotě 35 °C, kdy hodnota je 0,0402 mPa\*s. Můžeme se domnívat, že tepelné ošetření má vliv

na povrchové napětí. Pouze i malé namáhání tukových kuliček přispívá ke snížení povrchového napětí.

#### 5.4 FTIR analýza

Při  $1/\lambda = 3000 - 3500 \text{ cm}^{-1}$  byl stanoven přítomný mléčný tuk, který byl patrný i v odstředěném mléce, jak je znázorněno v přílohách I. a II. Bílkoviny byly detekovány v rozmezí hodnot převrácených vlnových délce  $1500 - 1800 \text{ cm}^{-1}$ . Pomocí analýzy FTIR byla prokázána i přítomnost laktózy jako mléčného cukru, který má také vliv na fyzikálně-chemické vlastnosti mléka. Při  $1/\lambda 1000 \text{ cm}^{-1}$  je možné detekovat píky, které vyjadřují nežádoucí šum při měření daných vzorků.

Bylo ověřeno, že v kozí smetaně (absorbance 0,4) je cca dvojnásobný tuk oproti kravské (absorbance 0,15). V FTIR spektrech je také znázorněný obsah proteinů v plazmě; v kozí plazmě, která obsahovala 0,2 % hm. tuku, byla absorbance 0,2 a kravská plazma byla bohatší na tuk o 0,3 % hm. a vykazovala proto o 1/2 menší absorbanci.

Všechny výsledky jsou zobrazeny v příloze I. a II.

## ZÁVĚR

Tato studie porovnávala kravské mléko ošetřené UHT záhřevem, standardizované smetanou ošetřenou stejným typem záhřevu, s mlékem kozím, které bylo ošetřeno pouze pasteraací a homogenizací v mixéru. Bylo zjištěno, že již tepelné ošetření mléka, které provedl výrobce, má vliv na fyzikální vlastnosti mléka. Námi provedená homogenizace měla též vliv na zkoumané fyzikální vlastnosti mléka.

Povrchové napětí kravského mléka bylo měřeno při teplotě 23 °C. Bylo zjištěno, že při koncentraci 3,3 % hm. je povrchové napětí nejnižší, kdy z poznatků teoretické práce se domníváme, že tato nejnižší hodnota nastává v důsledku vyrovnání koncentrací tuků a bílkovin. Tabeľovaná hodnota povrchového napětí vody činí 72 mN/m, ke které jsme se přiblížili při koncentraci 0,5 % hm., tato hodnota je 71 mN/m. Tuto hodnotu si vysvětlujeme minimálním množstvím tuku a maximálním obsahem přítomné vody v mléce. Povrchové napětí mléka klesá až do koncentrace 3,5 % hm., kdy od této koncentrace naopak vzrůstá s rostoucím obsahem mléčného tuku.

U kozího mléka nemůžeme mluvit o stoupající a klesající hodnotě ale pouze o nejnižší hodnotě povrchového napětí, která činí při koncentraci 0,5 % hm. 31,4 mN/m. Zde byla stanovena hodnota zlomu při koncentraci 3,0 % hm. (44,2 mN/m) a tato hodnota se přibližuje k hodnotám povrchového napětí mléka, takže můžeme říci, že kozí mléko při obsahu 3,0 % hm. má vyrovnaný obsah bílkovin a tuků.

Na kinematickou viskozitu má především vliv homogenizace a tepelné ošetření, kterým bylo podrobena kravské mléko. Z tabulek naměřených hodnot je patrné, že u jedné koncentrační řady kinematická viskozita stoupá. V závislosti na teplotě s konstantním obsahem tuku viskozita klesá v rozmezí o 0,2-0,3 mm<sup>2</sup>/s. Koncentrační řada měřená při teplotě 35 °C má nejnižší kinematickou viskozitu při 1,0 % hm. (1,207 mm<sup>2</sup>/s).

Stejně jako u kravského mléka může říci, že kinematická viskozita kozího mléka při dané teplotě (28, 30 a 35 °C) s koncentrací mléčného tuku roste až do bodu zlomu, a poté klesá do 5,0 % hm. Při teplotě 26 °C nemůžeme určit nárůst či pokles hodnot ale pouze bod zlomu.

Dynamická viskozita kravského mléka při všech měřených teplotách se zvyšuje s nárůstem tuku v mléce. Došli jsme k závěru, že bod zlomu je stejný jako u výsledků kinematické viskozity (3,5 % hm.). U dynamické viskozity kozího mléka nemůžeme hovořit o mírném

nárůstu dynamické viskozity v závislosti na obsahu tuku, ale spíš o poklesu, a to od bodu zlomu (3,5 % hm.). Tyto výsledky se liší v bodech zlomu (kinematická a dynamická viskozita kozího mléka). Vždy dojde k nárůstu viskozity kozího mléka s rostoucí teplotou (s výjimkou kinematické viskozity při 35 °C).

Získané výsledky předkládané práce mohou být užitečné a hodnotné pro mlékárenský průmysl, zejména s ohledem na tepelné ošetření mléka (zvláště pak ztráty v důsledku záhřevu mléka při jeho technologickém zpracování). Další výzkum v této oblasti je z uvedených důvodů velmi žádoucí.



## SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] SUTHERLAND, Alan H. Varnam and Jane P. *Milk and milk products: technology, chemistry and microbiology*. Gaithersburg, Md: Aspen Publishers, 2001. ISBN 08-342-1955-7.
- [2] DRDÁK, Milan. *Základy potravinářských technologií zpracování rostlinných a živočišných surovin, cereálne a fermentačné technológie uchovávanie, hygiena a ekológia potravín*. 1. vyd. Bratislava: Malé Centrum, 1996, 511 s. ISBN 80-967-0641-1.
- [3] SIMEONOVÁ, Jana, Stanislav GAJDŮŠEK a Ivo INGR. *Zpracování a zboží živočišných produktů*. Vyd. 1. V Brně: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita, 2003, 122s. ISBN 978-80-7157-708-9.
- [4] GAJDŮŠEK, Stanislav. *Laktologie*. Vyd. 1. V Brně: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita, 2003, 78 s. ISBN 80-715-7657-3.
- [5] ZADRAŽIL, Karel. *Mlékařství: (přednášky)*. Vyd. 1. Praha: ISV, 2002, 127 s. Živočišná výroba (Česká zemědělská univerzita). ISBN 80-866-4215-1.
- [6] DAVÍDEK, Jiří, Gustav JANÍČEK a Jan POKORNÝ. *Chemie potravin*. Praha: SNTL - nakladatelství technické literatury ALFA, vydavatelstvo technickej a ekonomickej literatury, 1983.
- [7] AKOH, Casimir C a David B MIN. *Food lipids: chemistry, nutrition, and biochemistry*. 2nd ed., rev. and expanded. New York: M. Dekker, c2002, xiii, 1005 p. Food science and technology (Marcel Dekker, Inc.). ISBN 08-247-0749-4.
- [8] BOURNE, Malcolm C. *Food texture and viscosity: concept and measurement* [online]. 2nd ed. San Diego: Academic Press, c2002, xvii, 427 p. [cit. 2015-02-16]. ISBN 01-211-9062-5.
- [9] BIRDI, K. *Handbook of surface and colloid chemistry*. 3rd ed. Boca Raton: CRC Press/Taylor, c2009, s. 199-335. ISBN 0849373271.
- [10] PHADUNGATH, C. Casein micelle structure: a concise review. *Casein micelle structure: a concise review*. Thailand, 2005, roč. 27, č. 1, s. 201-212.
- [11] BUŇKA, František, Vendula PACHLOVÁ, Leona BUŇKOVÁ a Michaela ČERNÍKOVÁ. *Mlékárenská technologie I*. Vyd. 1. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 2013. ISBN 978-807-4542-541
- [12] FOX, P a P MCSWEENEY. *Dairy chemistry and biochemistry*. 1st ed. New York: Blackie Academic, 1998, xiv, 478 p. ISBN 04-127-2000-0.
- [13] PARK, Young W. *Bioactive components in milk and dairy products*. Ames, Iowa: Wiley-Blackwell, 2009. ISBN 0813819822.
- [14] KERESTEŠ, Ján. *Mlieko vo výžive ľudí*. Bratislava: cad press, 2016. ISBN 978-88969-72-3.
- [15] GIVENS, Ian. Animal Nutrition and Lipids in Animal Products and Their Contribution to Human Intake and Health. *Nutrients*. UK, 2009, 1(1), 71 - 82. DOI: 10.3390/nu1010071.

- [16] TSILOULPAS, Alexandros a Michael J LEVIS. *Effect of Minerals on Casein Micelle Stability of Cows' Milk*. UK, 2006.
- [17] BAKSHI, A.S. a D.E. SMITH. Effect of Fat Content and Temperature on Viscosity in Relation to Pumping Requirements of Fluid Milk Products. *Journal of Dairy Science*. 1984, vol. 67, issue 6, s. 1157-1160. DOI: 10.3403/01961644
- [18] MUKHERJEE, Niloshree, Bipan BANSAL a Xiao Dong CHEN. Measurement of Surface Tension of Homogenised Milks. *International Journal of Food Engineering*. 2005, vol. 1, issue 2. DOI: 10.2202/1556-3758.1013.
- [19] LAPČÍK, Lubmír a kolektiv. Surface energy analysis and rheology of powder milk dairy products. *Food chemistry*. 2015, (174), 25 - 30. DOI: 10.1016/j.foodchem.2015.07.016.
- [20] WALSTRA, Pieter. *Physical chemistry of food*. 1. Netherlands: marcel dekker, 2003. ISBN 0-8247-9355-2.
- [21] MCCARTHY, O. J. a H. SINGH. Physico-chemical Properties of Milk. *Institute of Food: Nutrition and Human Health*. 3. New Zeland: Springer, 2009, s. 691-758. ISSN 0014-2751.
- [22] VIGNOLLES, JEANTET a LOPEZ. Free fat, surface fat and dairy powders: interactions between process and product. *Intra Editions*. 2007, 3(87), 187-236.
- [23] Legislativní dokument Česko. Vyhláška, kterou se stanoví požadavky pro mléko a mléčné výrobky, mražené krémy a jedlé tuky a oleje: Jedlé tuky a oleje. In: *Sbírky zákonů České republiky*. Ministerstvo zemědělství, 1. července 2003, 77/2003 Sb.; 32/2003 Sb.
- [24] WILLIAMS, Anna M, J.R. JONES, A.H.J. PATERSON a D.L. PEARCE. Milks and Milk Concentrates: Surface Tension Measurement. *International Journal of Food Engineering*. 2005, 1(1), -. DOI: 10.2202/1556-3758.1002. ISSN 1556-3758. Dostupné také z: <http://www.degruyter.com/view/j/ijfe.2005.1.1/ijfe.2005.1.1.1002/ijfe.2005.1.1.1002.ml>
- [25] PRAJAPATI, Darshna B., Dharti B. KAPADIYA, Amit Kumar JAIN, Bhavbhuti M. MEHTA, Vijaykumar B. DARJI a Kishorkumar D. APARNATHI. Comparison of Surti goat milk with cow and buffalo milk for physicochemical characteristics, selected processing-related parameters and activity of selected enzymes. *Veterinary World*. 2017, 10(5), 477-484. DOI: 10.14202/vetworld.2017.477-484. ISSN 09728988. Dostupné také z: <http://www.veterinaryworld.org/Vol.10/May-2017/2.html>
- [26] KUMBÁR, V. a Š. NEDOMOVÁ. Viscosity and Analytical Differences between Raw Milk and UHT Milk of Czech Cows. *Scientia Agriculturae Bohemica*. 2015, 46(2), -. DOI: 10.1515/sab-2015-0020. ISSN 1211-3174. Dostupné také z: <https://www.degruyter.com/view/j/sab.2015.46.issue-2/sab-2015-0020/sab-2015-0020.xml>
- [27] HAYAM, M. Physicochemical Characteristics of Goat's Milk. *Life Science Journal*. Egypt, 2014, (1), 307 - 3017. ISSN 1097-8135.
- [28] HADOHUM, M. Musallam a M. Almozogai HEND. *Physicochemical Characteristics of Various Milk Samples*. Lybia, 2017, 1- 3. DOI: 10.20286/nova-jmbs-060201.
- [29] KIELCZEWSKA, Katarzyna, Antoni KRUK, Maria CZERNIEWICZ, Magdalena WARMIŃSKA a Elizabieta HAPONIUK. THE EFFECT OF HIGH-PRESSURE

HOMOGENIZATION ON CHANGES IN MILK COLLOIDAL AND EMULSIFYING SYSTEMS. *Polish Journal of Food and Nutrition Sciences*. 2003, **12**(53), 43-46.

[30] GABAS, Ana Lúcia, et. all. Density and rheological parameters of goat milk. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*. 2010, **9**(29), 381-385. ISSN 0101-2061.

[31] IMRAN, Mohammad, Hamayun KHAN, Syed Shah HASSAN a Rasool KHAN. Physicochemical characteristics of various milk samples available in Pakistan. *Journal of Zhejiang University SCIENCE B*. 2008, **9**(7), 546-551. DOI: 10.1631/jzus.B0820052. ISSN 1673-1581. Dostupné také z: <http://www.springerlink.com/index/10.1631/jzus.B0820052>.

[32] XU, Yun Yun, Tony HOWES, Benu ADHIKARI a Bhesh BHANDARI. Effects of Emulsification of Fat on the Surface Tension of Protein Solutions and Surface Properties of the Resultant Spray-Dried Particles. *Drying Technology*. 2013, **31**(16), 1939-1950. DOI: 10.1080/07373937.2013.802331. ISSN 0737-3937. Dostupné také z: <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/07373937.2013.802331>.

[33] PÍSAŘÍKOVÁ, Veronika. *Reologické vlastnosti kravského, kozího a ovčího mléka*. Brno, 2016. Diplomová práce. Mendelova univerzita v Brně. Vedoucí práce Ing. Vojtěch Kumbár, Ph.D.

[34] Projektové vyučování: Mléko a mléčné výrobky. *Mléko a mléčné výrobky - Moduly jako prostředek inovace v integraci výuky moderní fyziky a chemie* [online]. [cit. 2018-04-24]. Dostupné z: [mofychem.upol.cz/KA8/Mlekoamlecnevyrobky.docx](http://mofychem.upol.cz/KA8/Mlekoamlecnevyrobky.docx).

**SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK**

$c^*$	Kritická hodnota koncentrace biopolymeru
Ca	Vápník
$Ca_3(PO_4)_2$	Fosforečnan vápenatý
CCP	Koloidní kalcium fosfát/ koloidní fosforečnan vápenatý
CMC	kritická micelární koncentrace
Da	Dalton
DAG	Diacylglycerol
FTIR	Infračervená spektroskopie s Fourierovou transformací (Fourier- transform infrared spectroscopy)
$g \cdot cm^{-3}$	Gram na centimetr krychlový
$J/m^2$	Joule na metr čtvereční
K	Draslík
MAG	Monoacylglycerol
Met	Metionin
MK	Mastné kyseliny
ml	Mililitr
mM	Milimolární
$mm^2/s$	Milimetr čtvereční za sekundu
mN *ml	Milineton na mililitr
Na	Sodík
O/W	Oje ve vodě (oil/water)
Phe	Fenylalanin
TAG	Triacylglycerol
UHT	Ultra-high temperature

---

W/O	Voda v oleji (water/oil)
$\phi$	Objemový podíl částic v roztoku
$\eta$	Dynamická viskozita roztoku
$\eta_0$	Dynamická viskozita čistého rozpouštědla
$\mu\text{m}$	Mikrometr
% hm.	Hmotnostní procenta
% obj.	Procent objemových

## SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1) Porovnání koncentrací laktózy (○), tuku (●) a bílkoviny (□) v mléce (% obj.) v závislosti na stádiu laktace .....	11
Obrázek 2) Model kaseinové micely dle Rollema (1992) .....	14
Obrázek 3) obrázek (A) znázorňuje tvorbu submicely a následně její shlukování do micely je znázorněno obrázkem (B) .....	15
Obrázek 4) Struktura kaseinové micely dle Walstra (1999) .....	16
Obrázek 5) Struktura polypeptidových řetězců zesílených v jádru koloidním fosforečnanem vápenatým (CCP) poskytuje podnět k tvorbě submicel, nižší hustota segmentu je označovaná jako vlasatá vrstva. Šedé kruhy znázorňují CCP .....	17
Obrázek 6) Sestavování struktury kaseinové micely .....	18
Obrázek 7) Reakce kaseinových frakcí s denaturovaným $\beta$ -laktoglobulinem pomocí disulfidických můstků dle Wonga (1988) .....	20
Obrázek 8) Emulze jsou termodynamicky nestabilní systémy, které mají tendenci vrátit se zpět do jednotné olejové a vodní fáze v průběhu. Proto výroba emulzí vyžaduje dodání energie (je energeticky náročná) .....	21
Obrázek 9) Koloidy vytvořené sdružením povrchových molekul .....	23
Obrázek 10) tuková kulička neošetřená homogenizací .....	26
Obrázek 11) tuková kulička po homogenizaci .....	27
Obrázek 12) Celkové možné interakce pro emulze stabilizované nabitými biopolymery .....	28
Obrázek 13) Absorpční vrstva micely uvolňována monomery při obnovení rovnovážné koncentrace povrchových monomerů .....	

Obrázek 14) Stabilita kapek oleje o různém poloměru stlačených vztlakem vzhledem k rozsáhlému rozhraní olej-voda ..... 33

Obrázek 15) Biopolymery ve vodných roztocích odpuzují velký objem vody, když rotují, což zvyšuje jejich efektivní objemový podíl a tím i jejich viskozitu ..... 35

**SEZNAM TABULEK**

Tabulka 1: Kaseiny mléka .....	13
Tabulka 2: Sérové bílkoviny mléka .....	20
Tabulka 3: Složení mastných kyselin v mléčném tuku [% obj.] .....	22
Tabulka 4) Srovnání hodnot povrchového napětí obou mlék v závislosti na tučnosti..	43
Tabulka 5) Kinematická viskozita kravského UHT mléka .....	50
Tabulka 6) Kinematická viskozita kozího mléka pasterovaného .....	54
Tabulka 7) Dynamická viskozita kravského mléka UHT .....	56
Tabulka 8) Dynamická viskozita kozího mléka pasterovaného .....	58

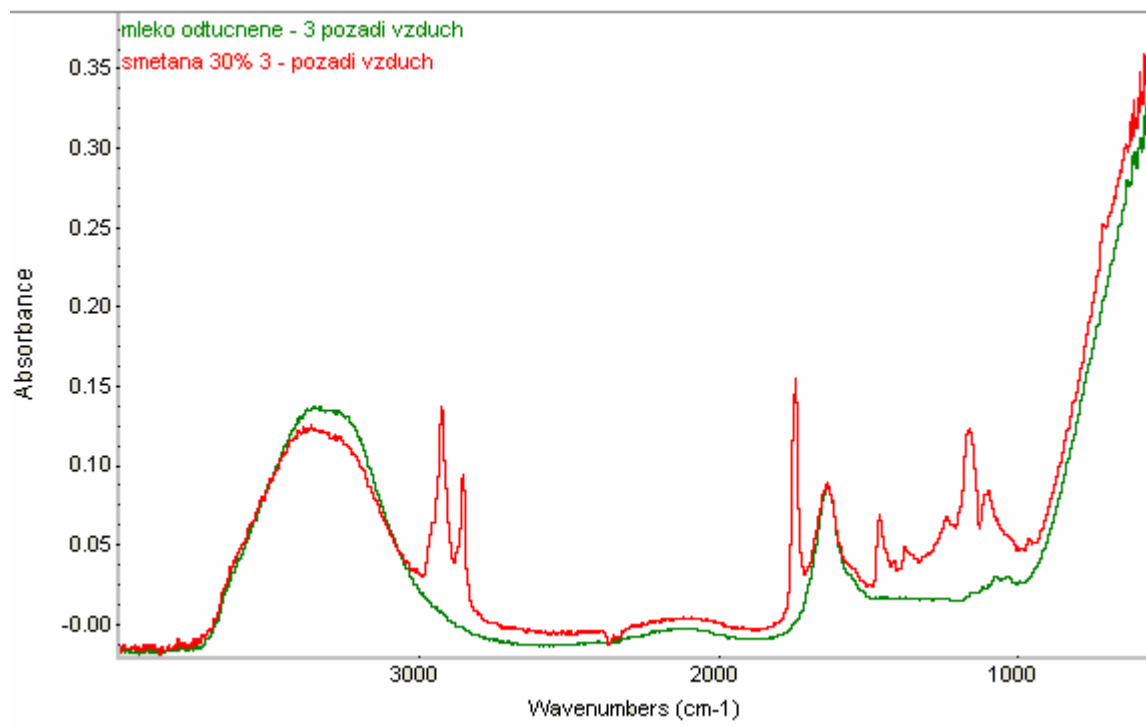


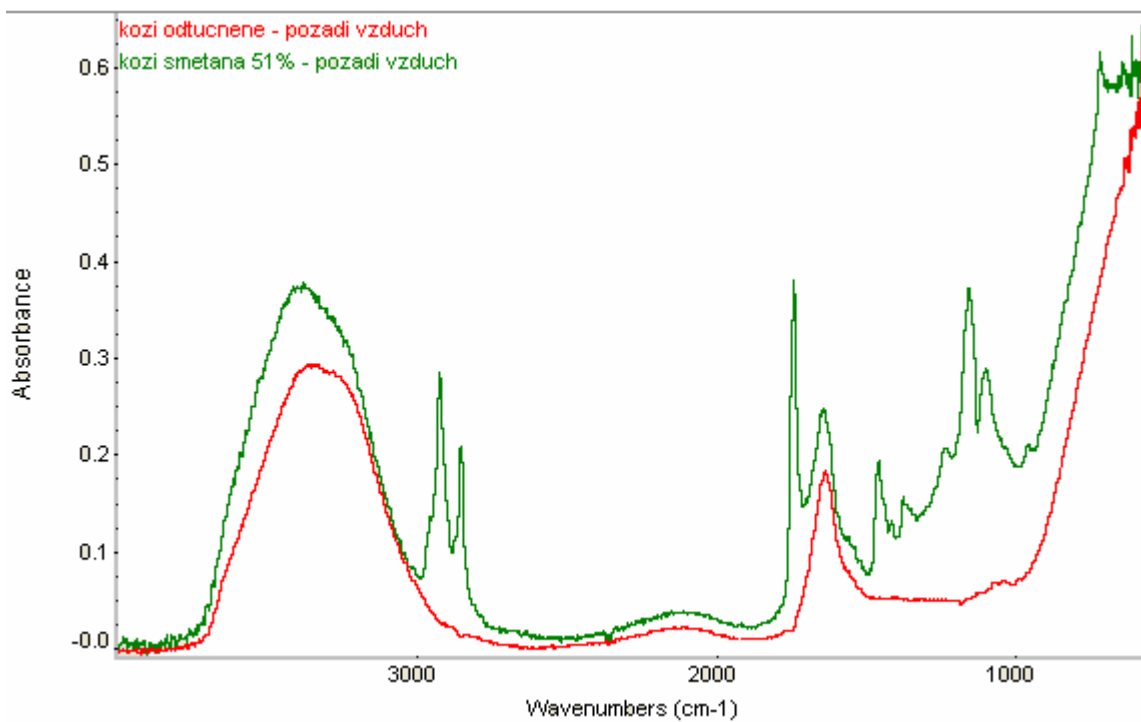
## SEZNAM GRAFŮ

Graf 1) Závislost povrchového napětí kravského mléka při teplotě 23°C na koncentraci mléčného tuku .....	44
Graf 2) Závislost povrchového napětí kozího mléka při teplotě 23 °C při různých koncentracích .....	47
Graf 3) Viskozita kravského mléka o tučnosti 0,5 % v závislosti na teplotě .....	51
Graf 4) Viskozita kravského mléka v různých tučnostech při 4 teplotách .....	52
Graf 5) Kinematická viskozita kozího mléka při různých teplotách v závislosti na tučnosti .....	54
Graf 6) Závislost dynamické viskozity kravského mléka o různých teplotách na tučnosti .....	56
Graf 7) Závislost dynamické viskozity kozího mléka při různých teplotách v závislosti na tučnosti .....	59

**SEZNAM PŘÍLOH**

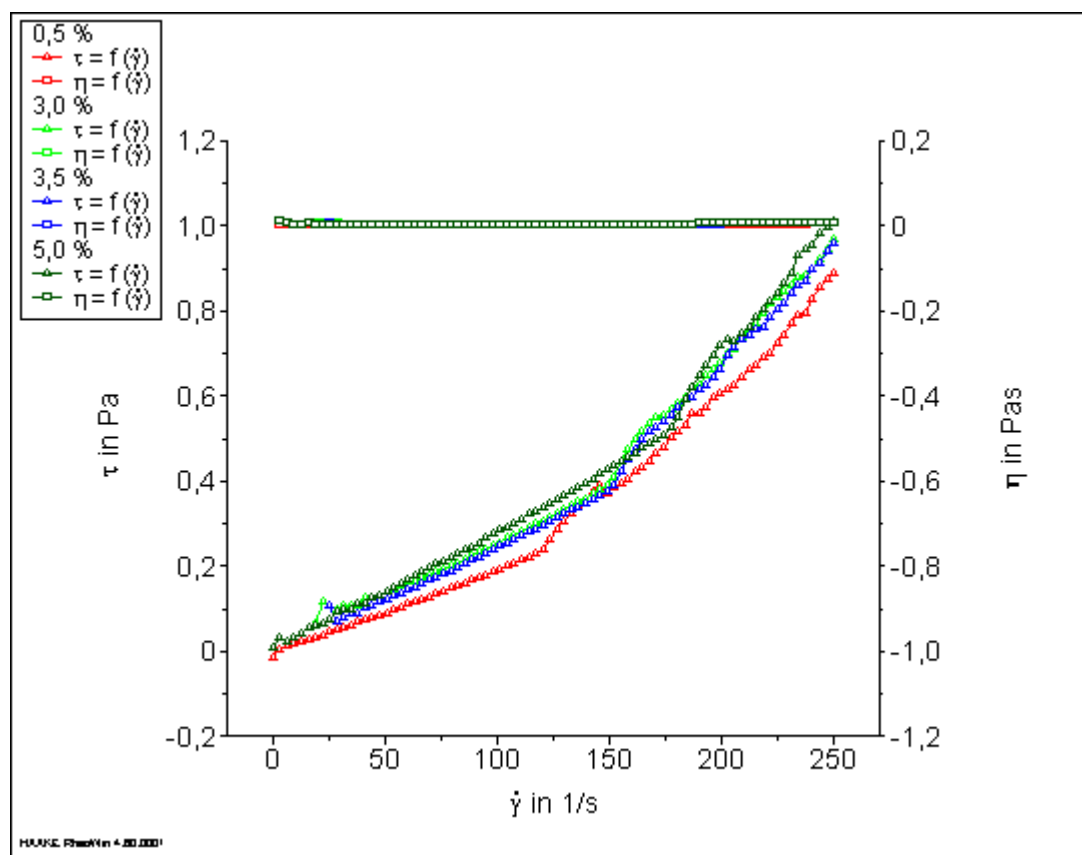
Příloha I. FTIR kravské mléko .....	75
Příloha II. FTIR kozí mléko .....	76
Příloha III. Reologie kravského mléka .....	77
Příloha IV. Reologie kozí mléko .....	81
Příloha V. Kinematická viskozita kravského mléka .....	85
Příloha VI. Kinematická viskozita kozího mléka .....	87
Příloha VII. Dynamická viskozita kravského mléka .....	89
Příloha VIII. Dynamická viskozita kozího mléka .....	91

**PŘÍLOHA P I: FTIR KRAVSKÉ MLÉKO**

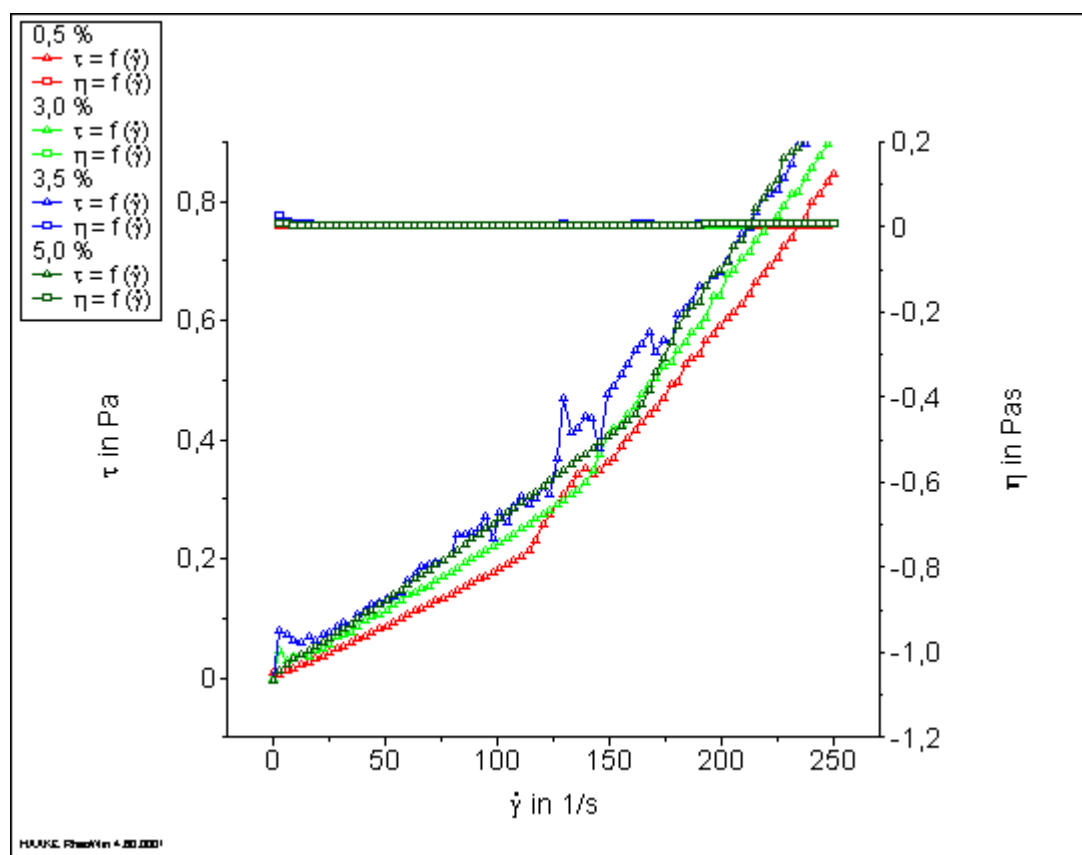
**PŘÍLOHA P II: FTIR KOZÍ MLÉKO**

**PŘÍLOHA III: REOLOGIE KRAVSKÉHO MLÉKA**

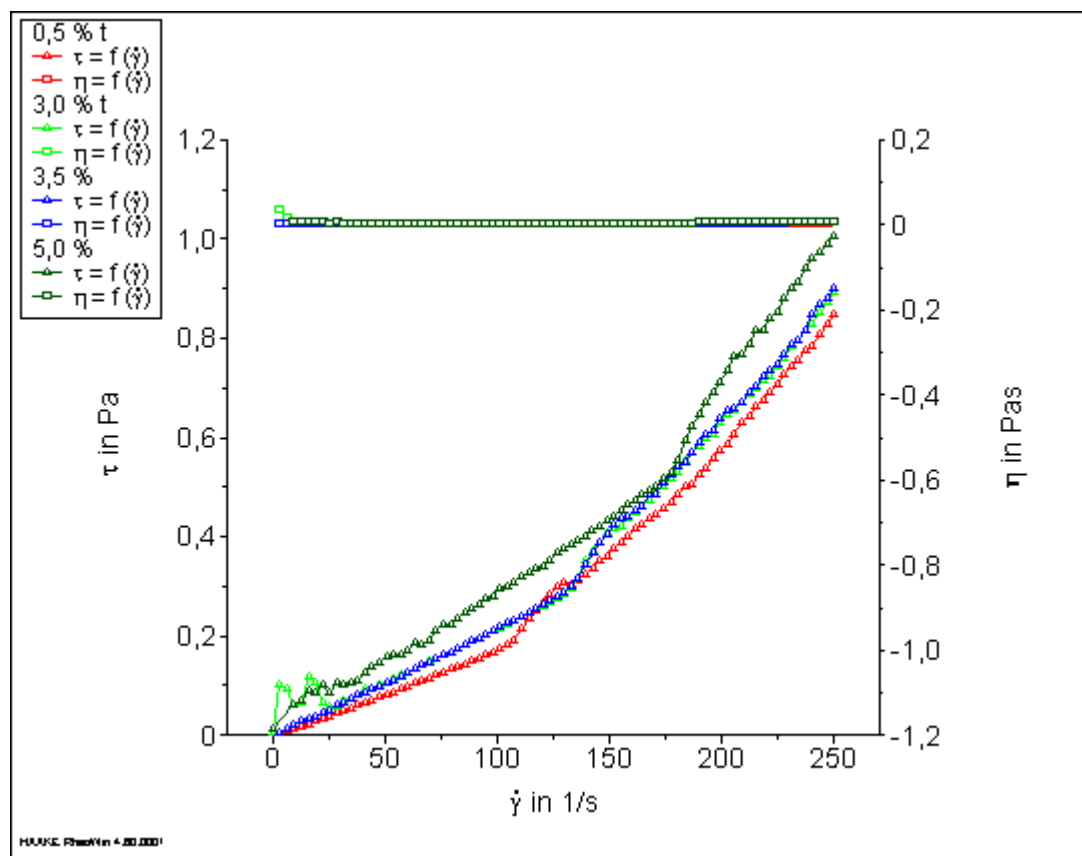
Kravské mléko při 26 °C



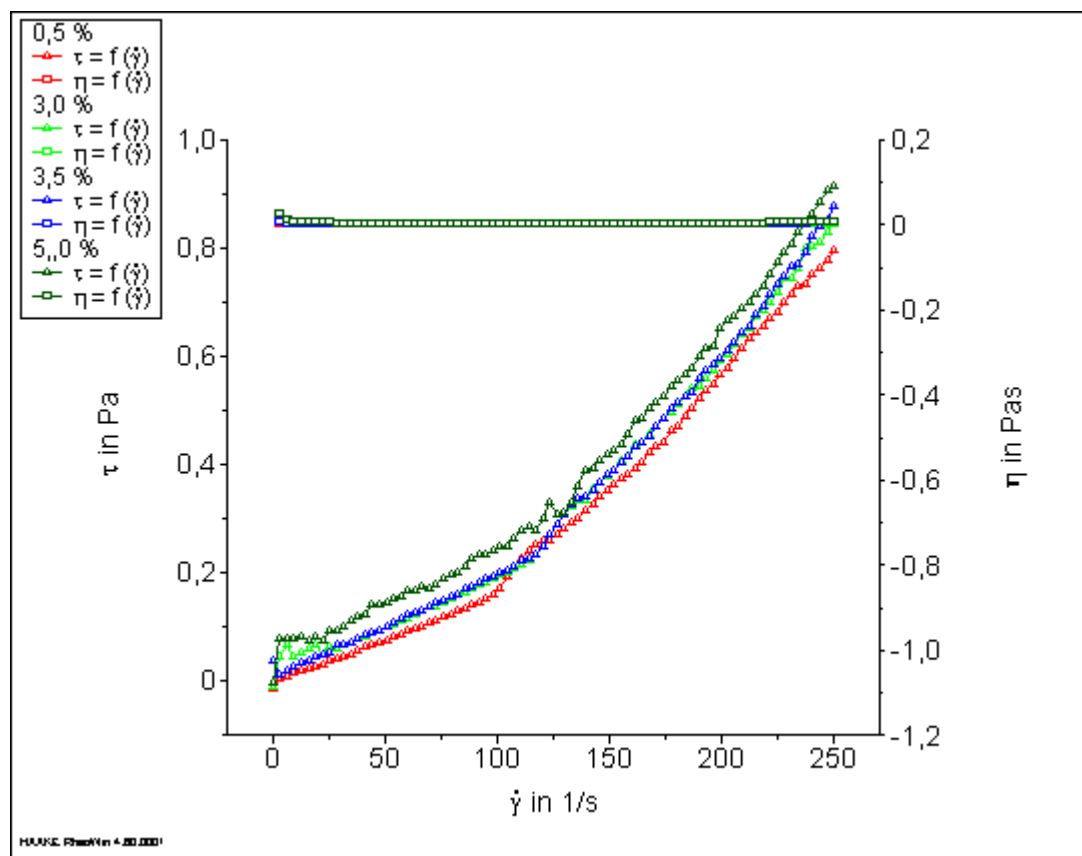
Kravské mléko 28 °C



Kravské mléko při 30 °C



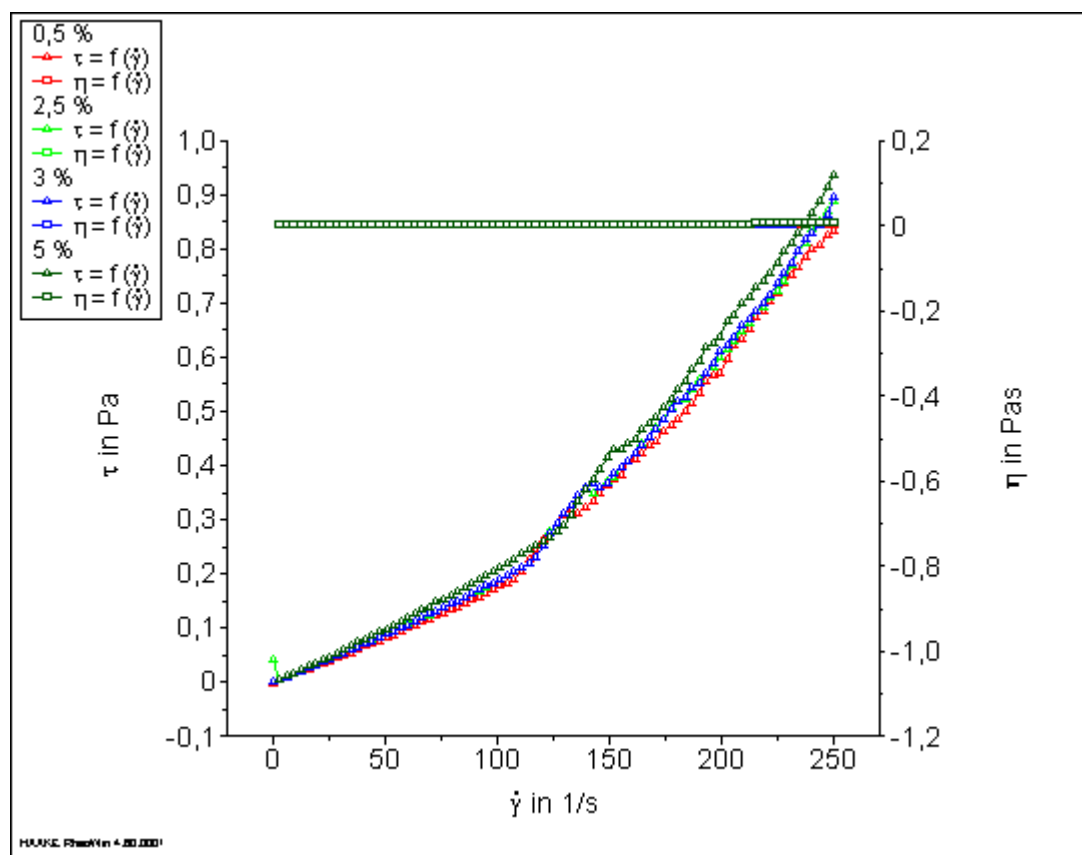
## Kravské mléko 35 °C



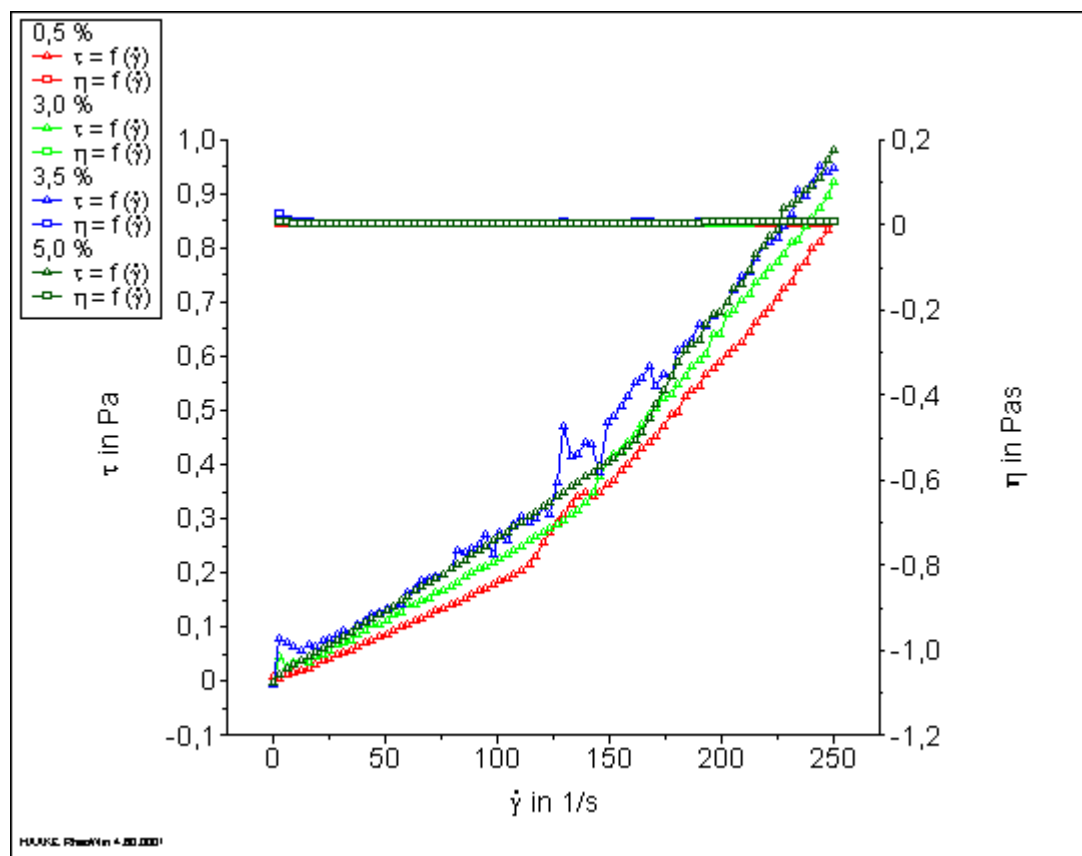


**PŘÍLOHA IV: REOLOGIE KOZÍHO MLÉKA**

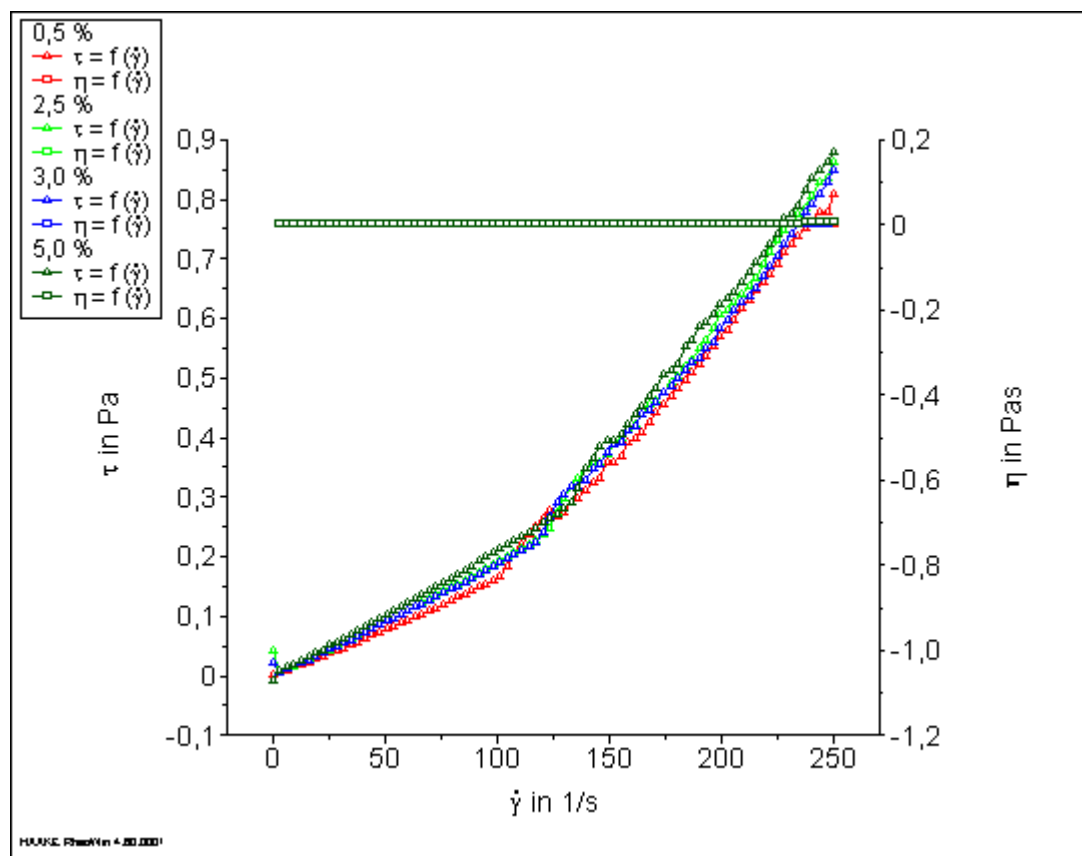
Kozí mléko 26 °C



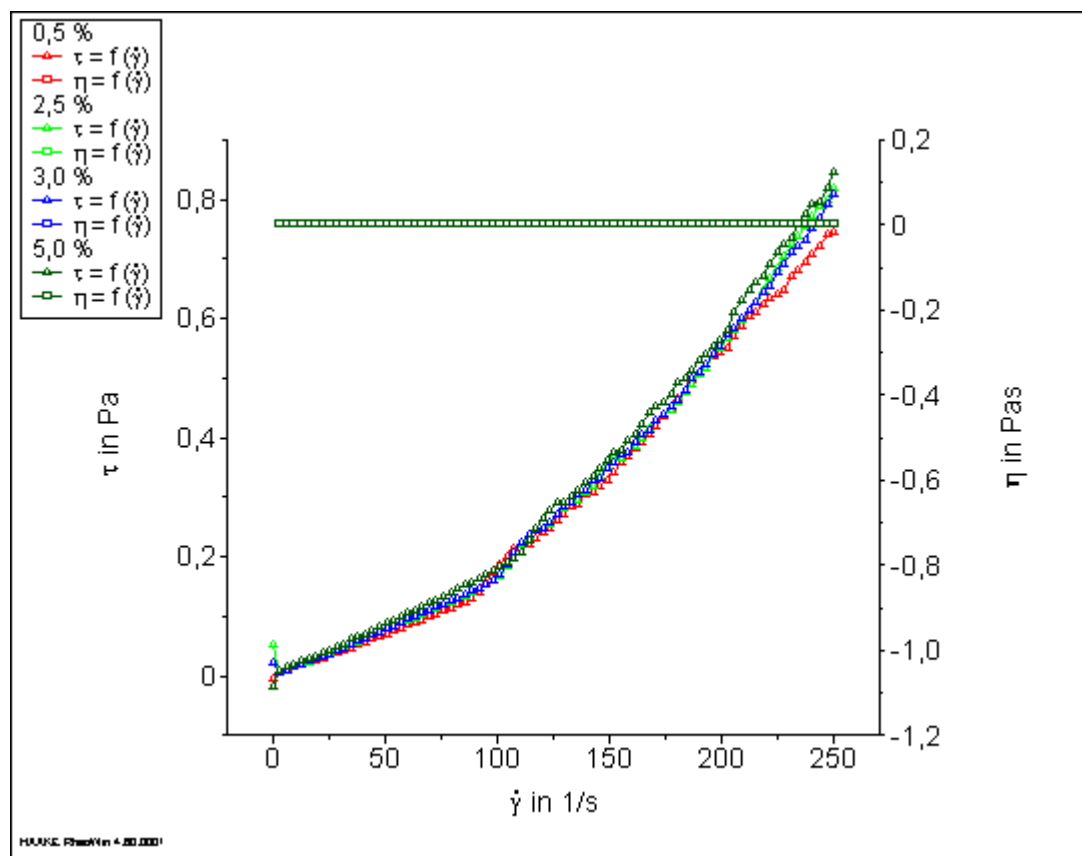
Kozí mléko 28 °C

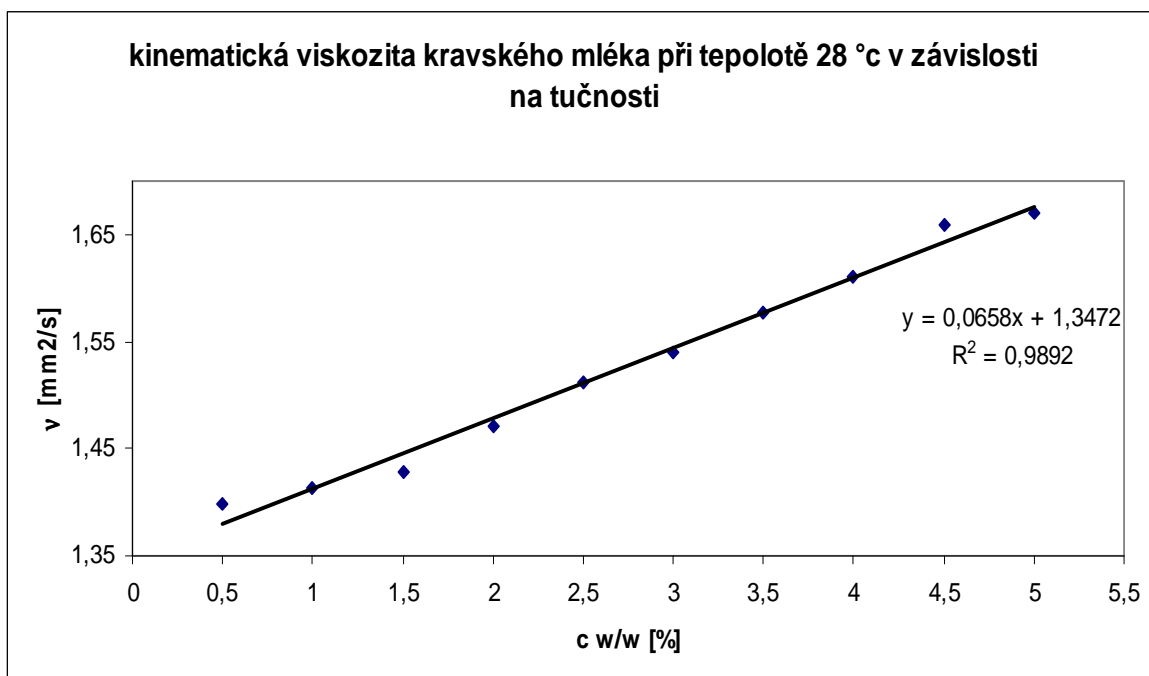
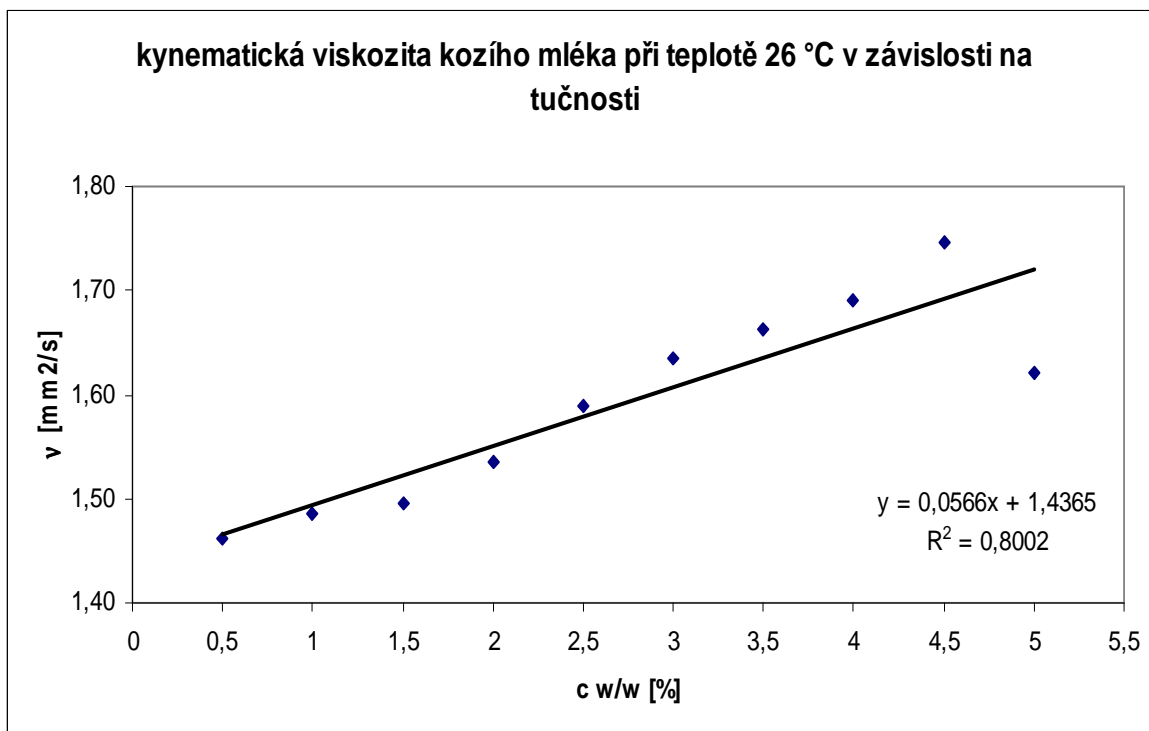


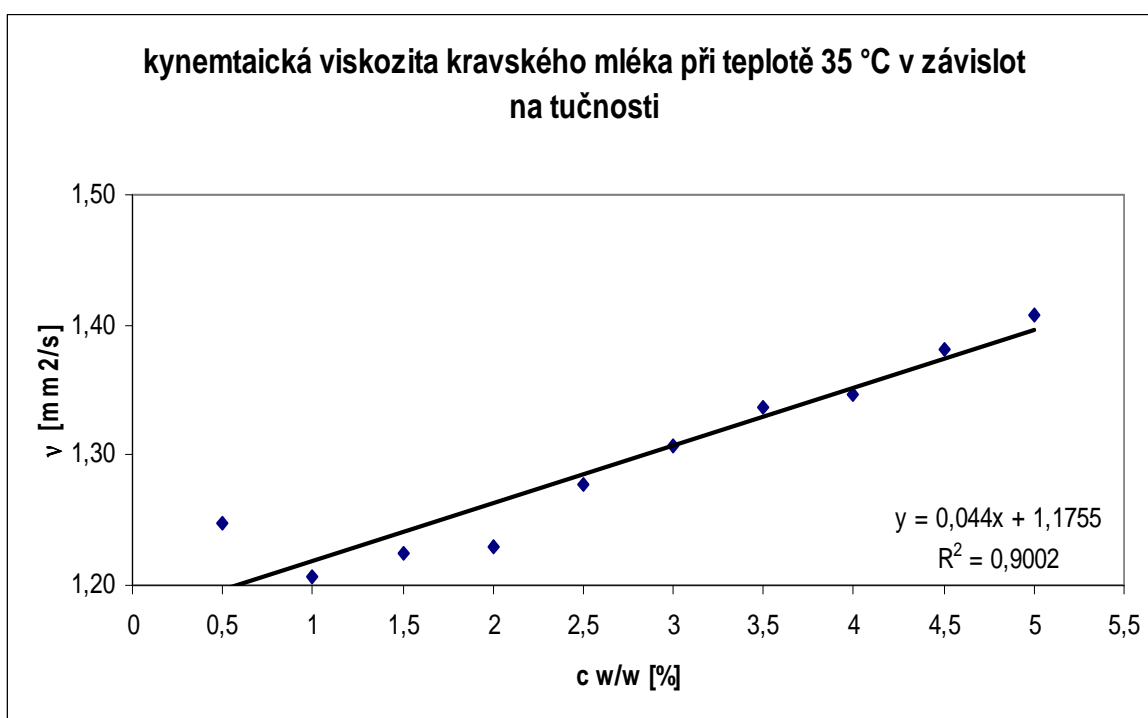
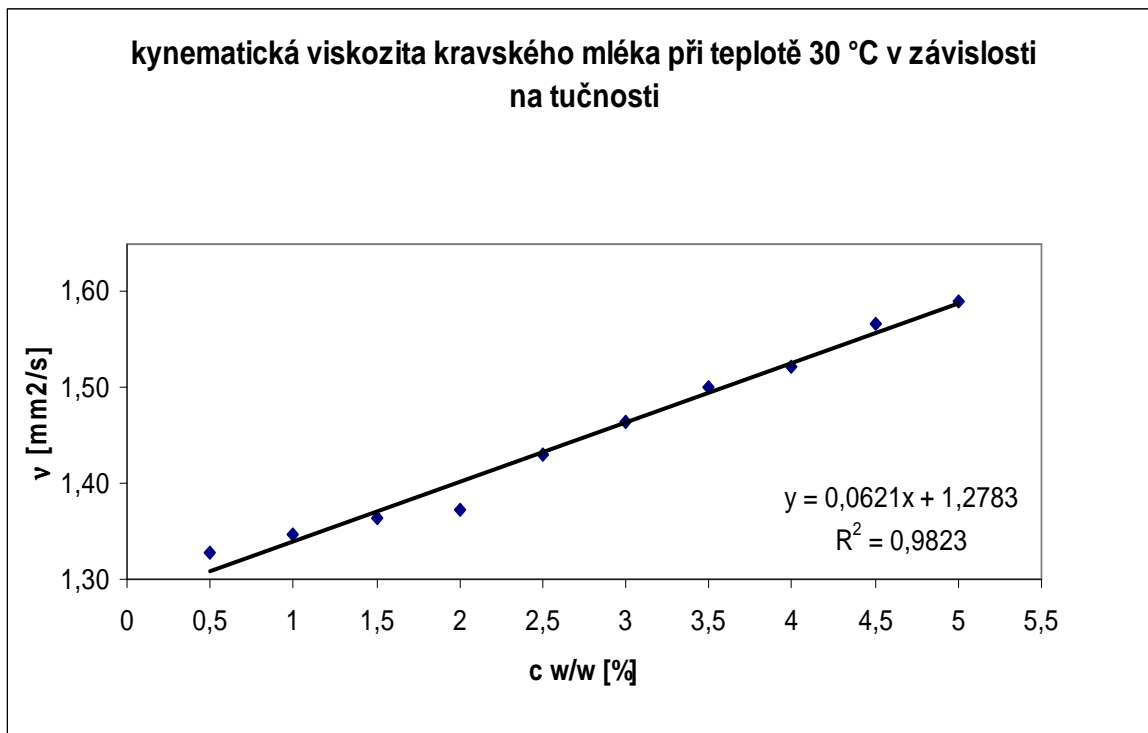
Kozí mléko 30 °C

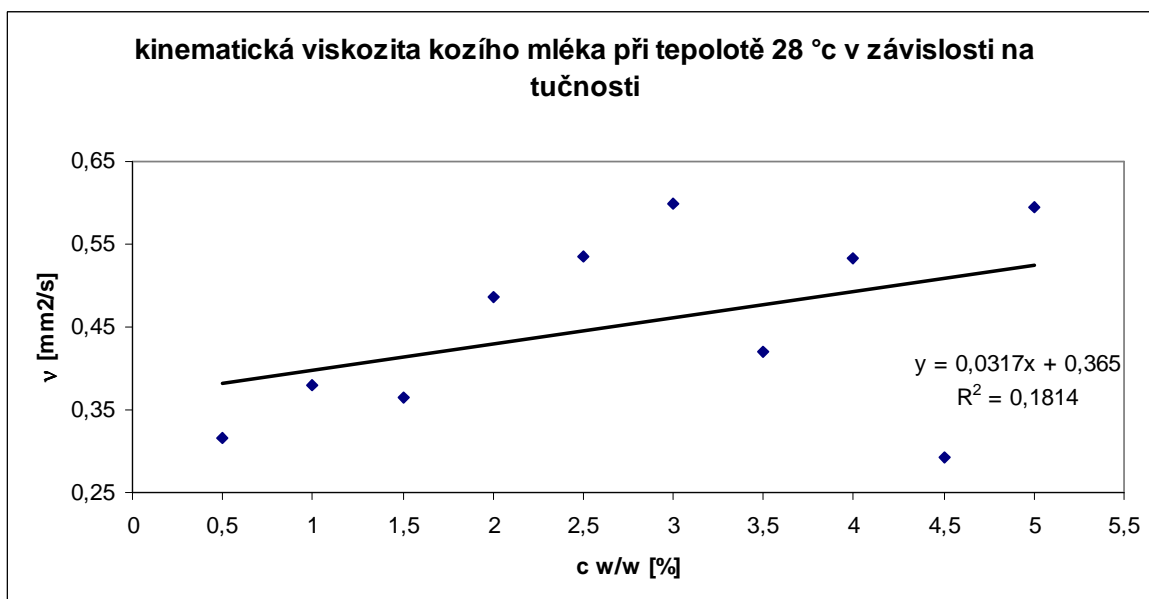
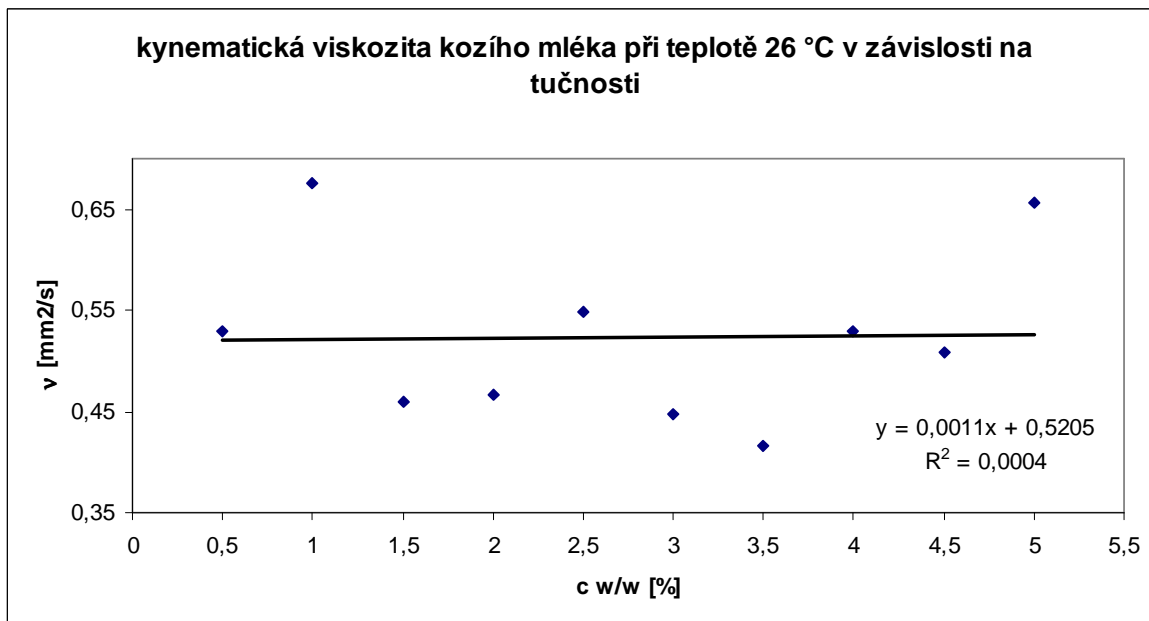


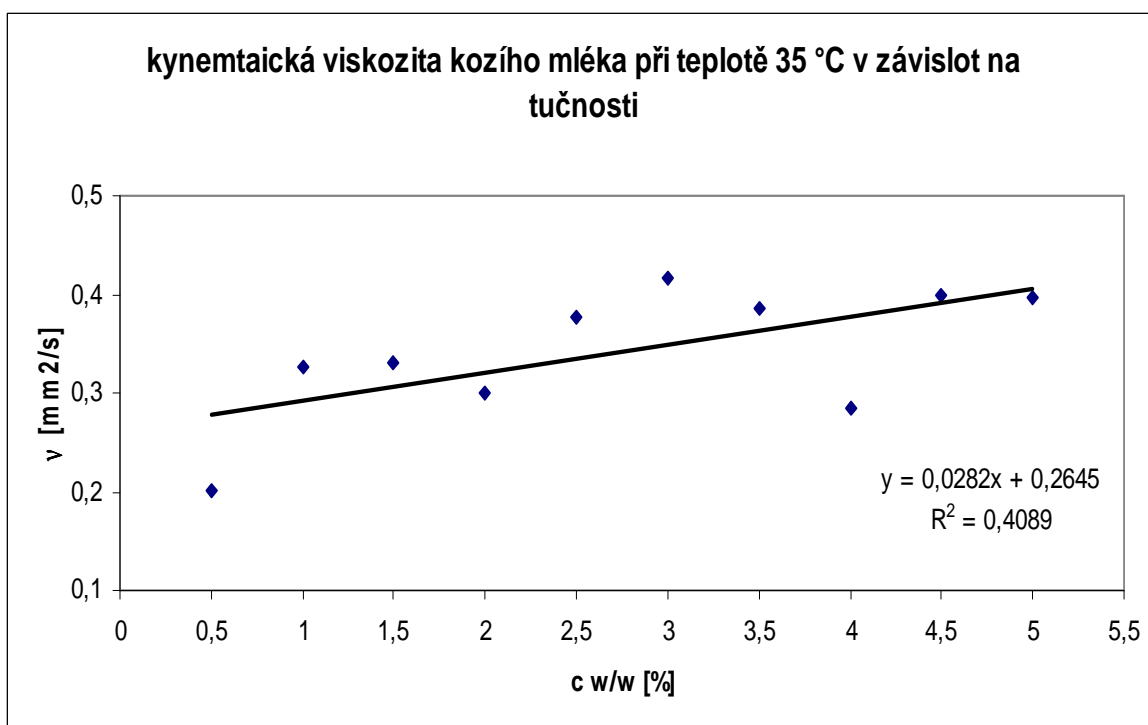
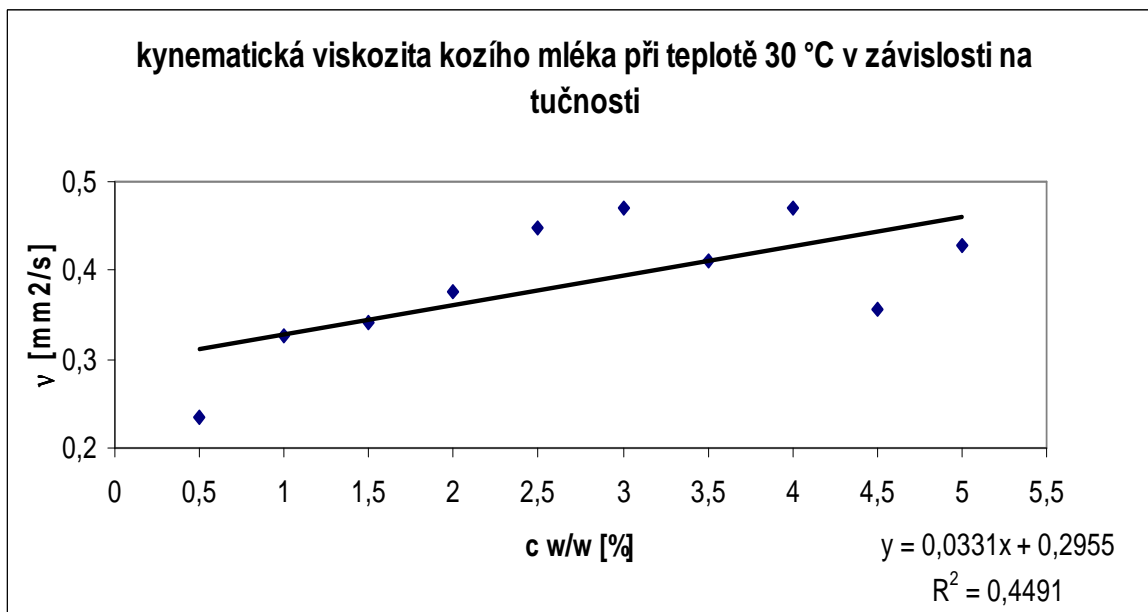
Kozí mléko 35 °C



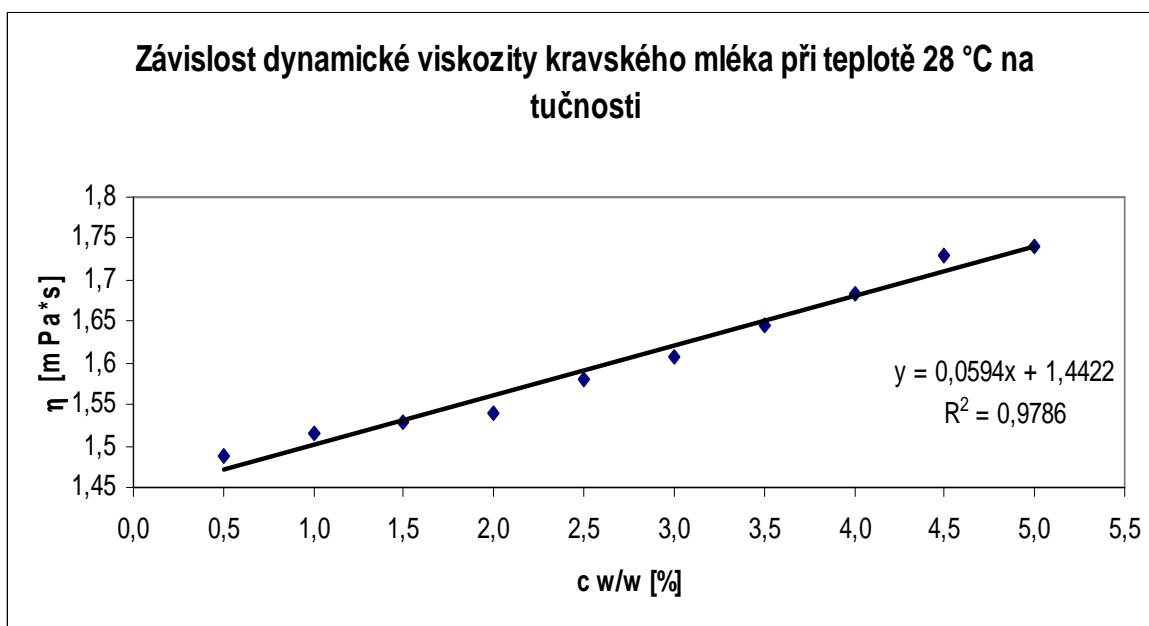
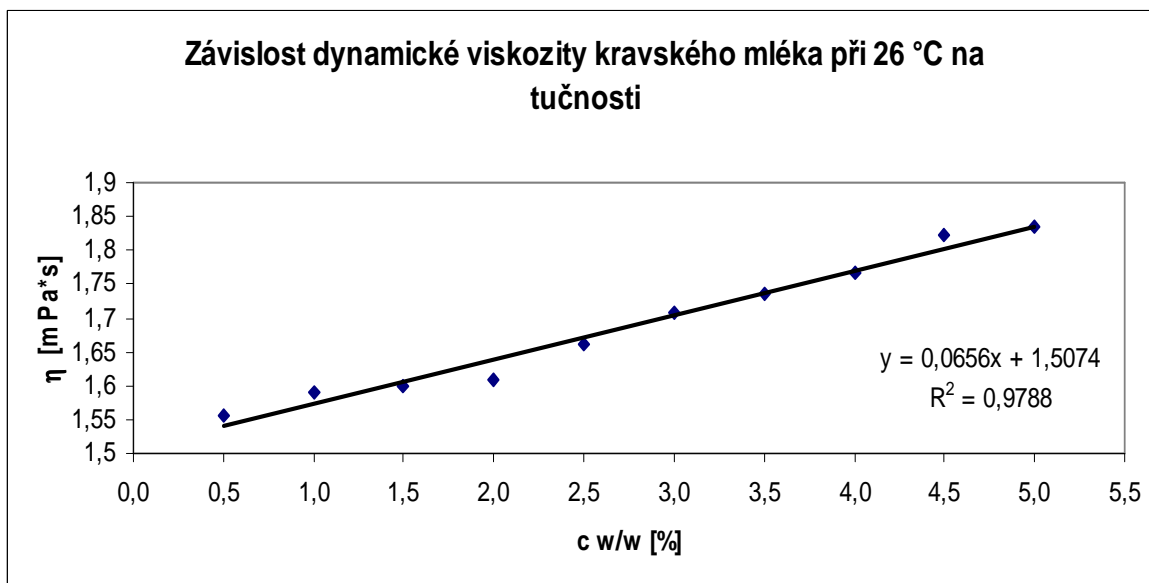
**PŘÍLOHA V: KINEMATICKÁ VISKOZITA KRAVSKÉHO MLÉKA**

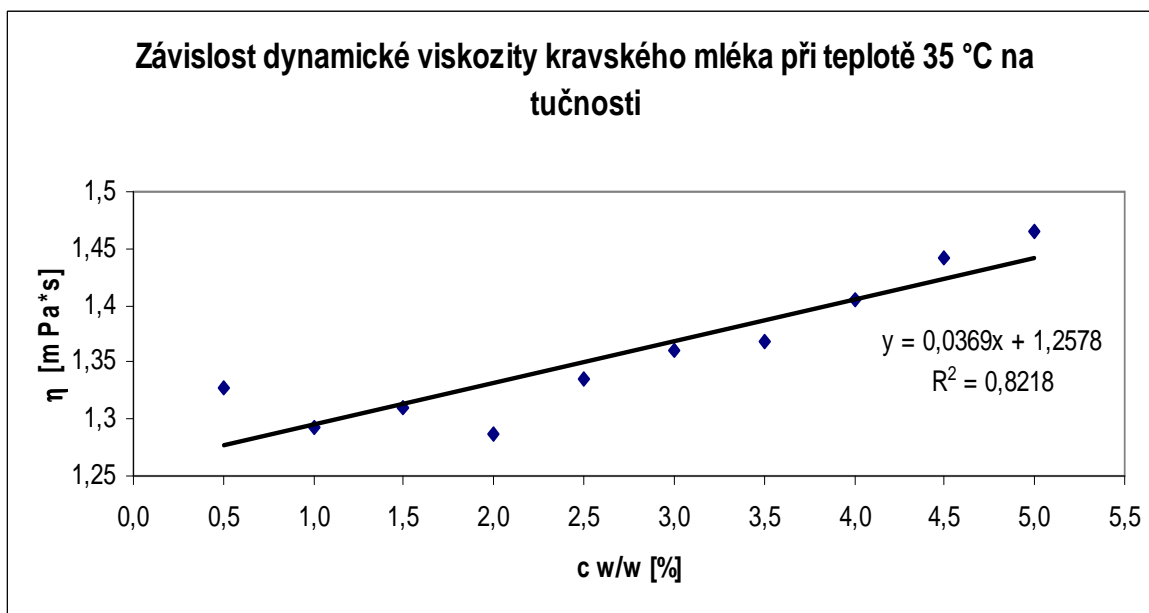
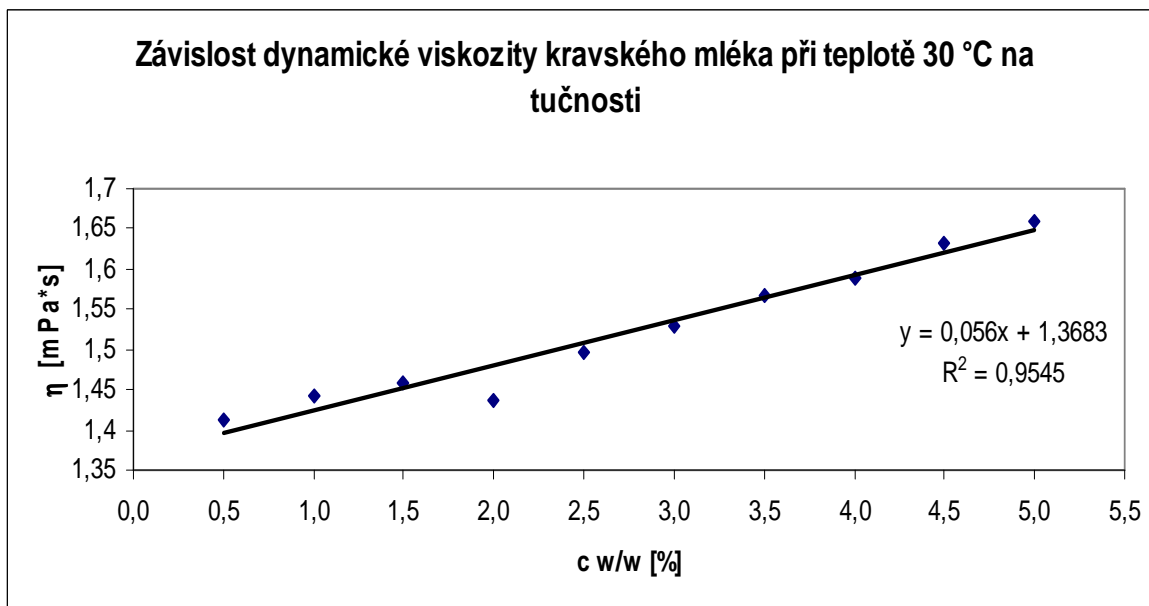


**PŘÍLOHA VI: KINEMATICKÁ VISKOZITA KOZÍHO MLÉKA**





**PŘÍLOHA VII: DYNAMICKÁ VISKOZITA KRAVSKÉHO MLÉKA**



**PŘÍLOHA VIII: DYNAMICKÁ VISKOZITA KOZÍHO MLÉKA**