

MENDELOVA UNIVERZITA V BRNĚ
AGRONOMICKÁ FAKULTA

DIPLOMOVÁ PRÁCE

BRNO 2017

BARBORA KUŽMOVÁ

Mendelova univerzita v Brně
Agromická fakulta
Ústav techniky a automobilové dopravy



Vliv obsahu tuku a sušiny na reologické vlastnosti bílých jogurtů

Diplomová práce

Vedoucí práce:

Ing. Vojtěch Kumbár, Ph.D.

Vypracovala:

Bc. Barbora Kužmová

Brno 2017

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem práci s názvem: *Vliv obsahu tuku a sušiny na reologické vlastnosti bílých jogurtů* vypracovala samostatně a veškeré použité prameny a informace uvádím v seznamu použité literatury. Souhlasím, aby moje práce byla zveřejněna v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách ve znění pozdějších předpisů a v souladu s platnou *Směrnicí o zveřejňování vysokoškolských závěrečných prací*.

Jsem si vědom/a, že se na mou práci vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, a že Mendelova univerzita v Brně má právo na uzavření licenční smlouvy a užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona.

Dále se zavazuji, že před sepsáním licenční smlouvy o využití díla jinou osobou (subjektem) si vyžádám písemné stanovisko univerzity, že předmětná licenční smlouva není v rozporu s oprávněnými zájmy univerzity, a zavazuji se uhradit případný příspěvek na úhradu nákladů spojených se vznikem díla, a to až do jejich skutečné výše.

V Brně dne:.....

.....

podpis

Poděkování:

Tímto bych chtěla poděkovat vedoucímu diplomové práce Ing. Vojtěchu Kumbárovi, Ph.D. za poskytnutí materiálů a veškerých užitečných rad, pomoc při realizaci praktické části, odborné vedení a za vstřícný přístup.

ABSTRAKT

Diplomová práce sleduje vliv tuku a sušiny na reologické vlastnosti bílých jogurtů. V teoretické části je popsáno mléko a mléčné výrobky se zaměřením na jogurt, jeho výrobu, složení a význam ve výživě. Literární přehled pokračuje fyzikálními a mechanickými vlastnostmi kapalin, reologickými vlastnostmi, viskozitou a jejím měřením.

Praktická část si klade za cíl zhodnotit vybrané vzorky jogurtů, stanovit jejich hustotu, viskozity, smykové napětí v závislosti na smykové rychlosti a teplotní a časovou závislost viskozity. Pro jednotlivé vzorky jogurtů byly sestaveny tokové a viskozitní křivky pomocí Ostwald-de Waeleho modelu a na základě Newtona viskozitního zákona bylo určeno, o jaký druh kapaliny se jedná. Dále bylo sledováno, zda má obsah tuku a sušiny vliv na hustotu a viskozitu jogurtů.

Klíčová slova: jogurt, reologie, hustota, viskozita, tuk, sušina, toková křivka, Ostwald-de Waeleho model

ABSTRACT

The thesis is aimed at monitoring the effect of fat and dry matter on rheological properties of white yogurts. The theoretical part describes the milk and milk products with a focus on yogurt, its production, composition and nutritional value. A review of literature continues with physical and mechanical properties of the fluids, rheological properties, viscosity and its measurement.

The practical part aims to evaluate selected yogurt samples, to determine their density, viscosity, shear stress depending on shear rate and the time and temperature dependence of viscosity. For individual samples of yogurt were compiled flow and viscosity curve using Ostwald-de Waele model and based on Newton's law of viscosity, it was determined what kind of liquid was involved. Furthermore, it was observed whether the fat content and dry matter content had an effect on the density and viscosity of yogurt.

Keywords: yogurt, rheology, density, viscosity, fat, dry matter, flow curve, Ostwald-de Waele model

OBSAH

1	ÚVOD	8
2	CÍL PRÁCE	9
3	LITERÁRNÍ PŘEHLED	10
3.1	Mléko a mléčné výrobky	10
3.1.1	Fermentované mléčné výrobky	11
3.2	Jogurty	12
3.2.1	Výroba jogurtů	12
3.2.2	Složení jogurtů	14
3.2.3	Skladování a trvanlivost	15
3.2.4	Význam ve výživě	15
3.2.5	Stanovení obsahu tuku a sušiny	15
3.3	Fyzikální a mechanické vlastnosti kapalin	17
3.3.1	Hustota kapalin	17
3.3.2	Měření hustoty	17
3.3.3	Viskozita	19
3.3.4	Měření viskozity	19
3.3.5	Klasifikace kapalin	21
3.3.6	Význam reologie v potravinářském průmyslu	25
4	PRAKTICKÉ MĚŘENÍ	26
4.1	Materiál a metodika	26
4.1.1	Měření hustoty	27
4.1.2	Měření viskozity	29
4.1.3	Teplotní a časová závislost viskozity	32
4.1.4	Analytický rozbor vzorků	32

4.2	Výsledky a diskuze	36
4.2.1	Analytický rozbor jogurtů	36
4.2.2	Stanovení hustoty	37
4.2.3	Viskozitní vlastnosti.....	40
4.2.4	Tokové křivky.....	47
5	ZÁVĚR	50
6	POUŽITÁ LITERATURA	51

1 ÚVOD

Jogurty patří mezi spotřebiteli velmi oblíbené mléčné výrobky díky výbornému zdroji vápníku, plnohodnotných živočišných bílkovin, vitamínů a minerálních látek. Hrají velkou roli v prevenci proti osteoporóze, posilování imunitního systému a nachází také uplatnění při laktóзовé intoleranci. Kysané mléčné výrobky, mezi které se jogurt řadí, mají antikarcinogenní, antimikrobiální a antihypertenzivní vlastnosti.

Fermentované mléčné výrobky jsou žádané také díky jejich sensorickým vlastnostem, jako je chuť, vůně, konzistence apod. Tyto vlastnosti mohou být ovlivněny hustotou, viskozitou, smykovým napětím, nebo obsahem tuku a sušiny, kterým se věnujeme podrobněji v následující práci. Předmětem je určení jogurtu jako tekutiny podle Newtona zákona o kapalinách.

Ke zkoumání kvality výrobků se mimo jiné používá vědecká disciplína nazývaná reologie. Reologické vlastnosti potravin jsou závislé na složení nebo přísadě a mohou ovlivňovat technologické procesy výroby i sensorické vlastnosti. Z tohoto důvodu je nutné tuto skutečnost při výrobě zohlednit.

2 CÍL PRÁCE

Cílem diplomové práce je v literárním přehledu popsat mléko a mléčné výrobky a zaměřit se především na jogurty. Ty pak definovat, popsat možnosti jejich výroby, složení, skladování a trvanlivost, přiblížit význam ve výživě a vysvětlit stanovení obsahu tuku a sušiny. Následně se teoretická část soustředí na fyzikální a chemické vlastnosti kapalin, přesněji hustotu a viskozitu a jejich měření, a klasifikuje kapaliny podle reogramů.

Praktická část se zaměřuje na měření hustoty, viskozity a smykového napětí vybraných vzorků jogurtů a porovnávání jejich časové a teplotní závislosti. Dále také stanovuje obsah tuku a sušiny u pěti vybraných vzorků. Poté naměřené hodnoty vzorků graficky vyhodnocujeme pomocí mocninného (Ostwald–de Waeleho) modelu, zjišťujeme index toku a koeficient konzistence u každého vzorku a určujeme, o jakou kapalinu se jedná, a zdali má tuk a sušina vliv na reologické vlastnosti jogurtů. V závěru praktické části provádíme komparaci s vlastními východisky výzkumu (viz uvedená odborná literatura).

3 LITERÁRNÍ PŘEHLED

3.1 Mléko a mléčné výrobky

Mléko je sekret mléčné žlázy samic savců, který je určen k výživě jejich mláďat. Jedná se tedy o vyváženou potravinu obsahující všechny nutričně významné látky. Pro lidskou výživu se využívá primárně kravské mléko (85 %), méně pak buvolí (12 %), ovčí a kozí (1–2 %). (Kadlec et al., 2009) *Mléko a mléčné výrobky* jsou tradičně konzumovány jako základní potraviny v Evropě, Severní Americe a dalších oblastech, a podílí se z 30 % na celkovém příjmu bílkovin a tuku. (Kadlec et al., 2012) Podle nařízení 1234/2007/ES se *mlékem* rozumí produkt získaný dojením jedné nebo více krav. *Mléko* se skládá z 87,2 % vody a 12,8 % sušiny. Průměrně kravské *mléko* obsahuje 3,2 % bílkovin, 4 % tuku, 4,6 laktózy a 0,7 % popelovin. (Dostálová et al., 2014) Mléčný tuk se vyskytuje v podobě emulze a je nositelem v tuku rozpustných vitamínů a cholesterolu. Mléčná bílkovina (kasein) je ve formě koloidní disperze a váže vápník a fosfor v mléce. (Zadrazil, 2002)

Podle nařízení 853/2004/ES se mléčné výrobky získávají zpracováním syrového mléka nebo dalším zpracováním mléčných výrobků. *Mléčné výrobky* lze rozdělit do několika skupin. Na **tekuté mléčné výrobky**, kam patří konzumní mléko: (a) *pasterované*, často označované jako „čerstvé“, které má trvanlivost do 10 dní; (b) *mléko s prodlouženou trvanlivostí* až 45 dnů při teplotách 4–6 °C; (c) *trvanlivé*, které projde sterilizačním záhřevem, a tím je umožněno jeho skladování při pokojové teplotě nad 3 měsíce a (d) *smetana*, s podílem tuku 10–18 % označovaná jako sladká smetana, nebo s 30–40 % tuku jako smetana ke šlehání. Další skupinu tvoří **máslo a mražené smetanové krémy**. Kam lze zařadit čerstvé a stolní (a) *máslo* (směsné emulgované tuky, ve kterých je část mléčného tuku nahrazena rostlinným olejem); (b) *bezvodý mléčný tuk* vznikající odstraněním vody a složek mléčné tukuprosté sušiny z másla či smetany; (c) *mražený krém*, výrobek získaný našleháním a zmrazením homogenizované a pasterované směsi vody, tuku, mléčné sušiny, sacharidů, ochucujících látek a stabilizátorů. **Koncentrované a sušené výrobky** získané sušením mléčných surovin, díky kterému se dosáhne jejich konzervace, snížení hmotnosti a objemu. Do této skupiny mléčných výrobků patří *kondenzované mléko neslazené a slazené a sušené mléko*. **Tvarohy a sýry** jsou čerstvé nebo vyzrálé produkty získané srážením syřidla

nebo kyselým srážením a oddělením vzniklé tekutiny. Tvarohy dělíme podle obsahu tuku v sušině na odtučněný, nízkotučný, polotučný a tučný. Sýry se dělí podle způsobu zrání (čerstvé sýry, zrající sýry v celé hmotě nebo zrající od povrchu dovnitř), způsobu srážení (kyselé srážení, srážení syřidlem nebo kyselinou mléčnou), podle obsahu tuku v sušině (vysokotučné, plnotučné, polotučné, nízkotučné a odtučněné), obsahu sušiny (tvrdé a měkké), druhu použitého mléka (kravské, kozí, ovčí) a podle použité suroviny (přírodní a tavené sýry). (Bulková, 1999; Iburg, 2004)

3.1.1 Fermentované mléčné výrobky

Kysaný mléčný výrobek se získává kysáním mléka, smetany, podmásli nebo jejich směsí za použití mikroorganismů. Původně přirozeně vznikaly působením mikroflóry obsažené v syrovém mléce, proto se v daných oblastech mikroflóra lišila. V dnešní době se používají ušlechtilé mléčné bakterie a kvasinky. Ty během procesu kysání přeměňují laktózu na kyselinu mléčnou, mléčné bílkoviny a tuk na další sekundární metabolity. (Šustová et al., 2013; Dostálová et al., 2014)

Mléko na výrobu *fermentovaných mléčných výrobků* musí splňovat přísná kritéria. Musí být získáno od zdravých dojníc a musí mít normální složení a vlastnosti. Nežádoucí je obzvláště vysoký podíl psychrotrofních mikroorganismů a obsah inhibičních látek, které mohou negativně ovlivnit chuť, vůni a konzistenci výrobků. (Gajdůšek et al., 2003; Stone et al., 2014)

Fermentované mléčné výrobky se dělí podle použité kultury. Pomocí mezofilních bakterií mléčného kvašení jsou vyráběna kysaná mléka, kysané podmásli, kysané smetany a různě upravené a zahuštěné kysané mléčné výrobky. Tato kultura obsahuje mikroorganismy rodů *Lactococcus* a *Leuconostoc*. Do skupiny fermentovaných výrobků s termofilními kulturami patří celosvětově nejrozšířenější jogurtové výrobky (jogurty a jogurtová mléka), které obsahují živé bakterie *Lactobacillus delbrueckii* ssp. *Bulgaricus* a *Streptococcus thermophilus*. Typickými představiteli skupiny kysaných výrobků se smíšenou bakteriální a kvasinkovou mikroflórou jsou tradiční nápoje z oblasti Kavkazu kefir a kumys, který je vyráběn ve střední Asii převážně z kobyliho mléka. (Zadrazil, 2002; Šustová et al., 2013)

3.2 Jogurty

Jogurt je kysaný mléčný výrobek vzniklý kysáním pasterovaného mléka za pomoci jogurtové kultury, která se skládá ze dvou druhů bakterií *Streptococcus salivarius subsp. Thermophilus* a *Lactobacillus delbrueckii subsp. Bulgaricus*. Tyto bakterie mají symbiotický vztah a společně urychlují tvorbu kyseliny mléčné a acetaldehydu, který se projevuje v chuti a vůni výrobku. Počet živých mikroorganismů v jogurtu musí být zachován – minimálně 10 milionů v 1 g jogurtu. Jogurty mohou být také obohaceny o probiotické kultury. Takové výrobky jsou označovány *probio*, *bifi*, *bijo*, *ABT* a jsou do nich přidávány oligosacharidy, jež umožní růst probiotických bakterií. (Görner a Valík, 2004; Šustová et al., 2013)

Označení *jogurt* nesmí nést výrobek, do kterého byl přidán škrob či jiné zahušřovadlo, nebo byl jako hotový ošetřen tepelným záhřevem za účelem prodloužení trvanlivosti. Tyto výrobky mohou být označeny pouze jako jogurtový výrobek, jogurtový krém nebo jogurtový dezert. (Šustová et al., 2013)

U *jogurtů* by měl spotřebitel věnovat pozornost tomu, zda nebyl poškozený obal a doba použitelnosti byla co nejdelší. Dále je důležité zachovat stabilní teplotu výrobku, jelikož teplotní výkyvy mohou přispět k uvolňování syrovátky. (Dostálová et al., 2014)

3.2.1 Výroba jogurtů

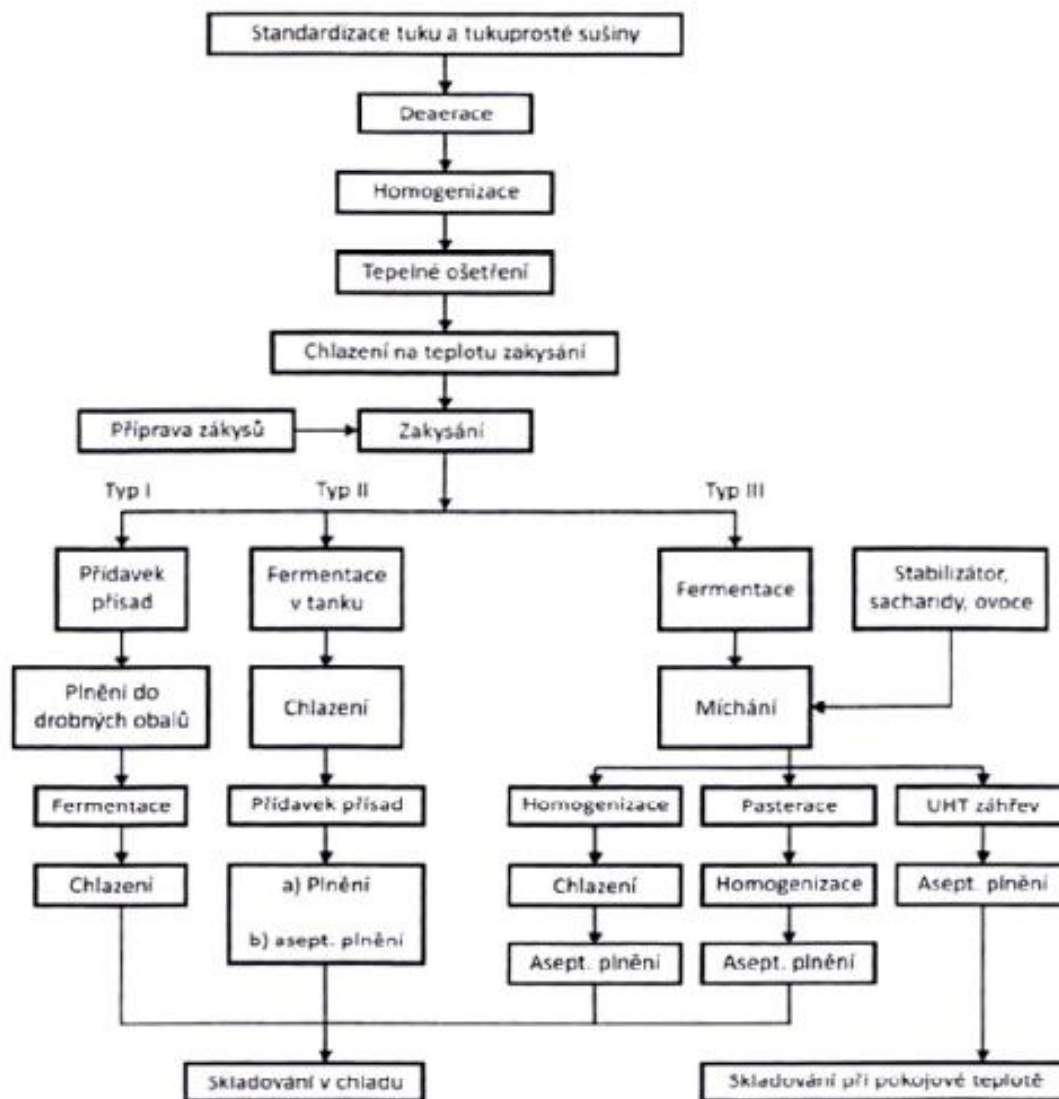
Prvotním krokem samotného výrobního procesu je úprava mléka jako vstupní suroviny, která se týká nastavení mléka na předepsané parametry tuku a sušiny použitím smetany, odstředěného mléka, sušeného mléka, sušené syrovátky a dalších dušených směsí. Tento krok se nazývá **standardizace**. Do bílých jogurtů nelze přidávat jakékoli typy zahušřovadel, jako jsou škroby, agar, pektogel apod., která by zvýšila hustotu a zabránila uvolňování syrovátky. Dalším krokem je **homogenizace** mléka, tj. rozbití tukových kapének, aby se zabránilo vystávání tuku na povrch jogurtu. Následuje **pasterace** mléka (85–95 °C 5 minut), během které se zničí patogenní a technologicky škodlivé mikroorganismy. Po tomto ošetření se mléko rychle zchladí na teplotu 35–45 °C a probíhá **fermentace**. Podle použité fermentace se rozlišují tři typy jogurtů: (1) jogurty s nerozmíchaným koagulátem (Set Type/klasická výroba), (2) jogurty

s rozmíchaným koagulátem (Stirred Type/výroba v tanku) a (3) jogurty pitné (Drink Type/jogurtový nápoj) (viz Obr. 1). (Kadlec et al., 2009; Šustová et al., 2013)

Klasická výroba probíhá naočkováním mléka kyselinotvornou kulturou (bakterie *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus* a *Streptococcus salivarius* subsp. *thermophilus*) a následným plněním směsi do obalů, kde dochází ke zrání při teplotě 42-45 °C v čase 3–3,5 hodiny. Mohou být přidány i další přísady jako aromata a různé formy ovoce. (Šustová et al., 2013)

Při **výrobě v tanku** se používá nezahuštěné mléko. Ve fermentačním tanku je koagulát míchán a následně zchlazen buď přímo v tanku, nebo ve výměnících tepla, kam je koagulát přečerpán. Toto chlazení a čerpání má nepříznivý vliv na reologické vlastnosti výrobku. Jogurty zrající v tanku jsou krémovější, méně kyselé a aromatické. (Kopáček, 2014)

Výroba jogurtového nápoje probíhá ve fermentačním tanku jako u předchozího typu. Tento výrobek s nízkou viskozitou je určený k pití. Při následné pasteraci a UHT záhřevu je zcela rozrušena struktura vzniklého koagulátu. (Kadlec et al., 2009)



Obrázek 1: Blokové schéma výroby fermentovaných mléčných (Kadlec et al., 2009)

3.2.2 Složení jogurtů

Obsah tukuprosté sušiny je stejný jako u mléka, ze kterého je bílý jogurt vyráběn, tj. minimálně 8,5 %. A stejně shodné je i množství vápníku a bílkovin. Obsah vápníku a bílkovin v jogurtu se zvyšuje, pokud se zahušťuje sušeným mlékem. Podle obsahu tuku se dělí jogurty na smetanové (více než 10 % mléčného tuku), klasické (více než 3 % tuku), se sníženým obsahem tuku (0,5–3 % tuku) a nízkotučné nebo odtučněné (do 0,5 % tuku). *Složení jogurtu* musí být vyznačeno na obalu výrobku. Všechny složky musí být uvedeny v sestupném pořadí. Pokud jsou ve výrobku obsaženy vitamíny, je

povinností výrobce uvádět doporučenou denní dávku v % na 100 g. (Šustová et al., 2013)

3.2.3 Skladování a trvanlivost

Teplota pro *skladování* a prodej mléčných výrobků musí být 2–5 °C. Při nedostatečném vychlazení může docházet k překysávání výrobku, tvorbě povlaku z nárůstu křísových mikroorganismů na povrchu nebo k chuťovým závadám. Optimální teplota pro plný rozvoj chuťových vlastností a zároveň pro uchování reologických vlastností na požadované úrovni je 10–12 °C. (Kopáček, 2014)

Na obale je povinné vyznačit dobu použitelnosti, která se uvádí slovy „Spotřebujte do“. Pokud je uvedena použitelnost, musí výrobce doplnit i údaje o podmínkách skladování. *Trvanlivost* výrobků se pohybuje mezi 4 a 5 týdny od data výroby. Výrobky s prošlou dobou použitelnosti se nesmí uvádět do oběhu. (Šustová et al., 2013; Kopáček, 2014)

3.2.4 Význam ve výživě

Složení jogurtu je stejné jako složení mléka, z něhož je vyroben. Z toho vyplývá, že jogurty jsou výborným zdrojem plnohodnotných živočišných bílkovin, vápníku, fosforu, thiaminu, riboflavinu, kobalaminu, vitamínu A, hořčíku a zinku. Přidáním sušeného mléka při výrobě se zvyšuje obsah vápníku v jogurtu. Energetická hodnota je primárně závislá na obsahu tuku a tukuprosté sušiny. (Dostálová et al., 2014)

Kysané mléčné výrobky mají antimikrobiální, antimutagení, antikarcinogenní a antihypertenzivní vlastnosti. Jejich konzumací se snižuje sérový cholesterol a zmírňuje se laktózová intolerance. Díky výbornému zdroji vápníku hrají tyto výrobky významnou roli také v prevenci proti osteoporóze. Probiotika neboli bakterie mléčného kysání obsažené v jogurtech se uplatňují v posilování imunity organismu. (Šustová et al., 2013; Dostálová et al., 2014; Fernandez et al., 2017)

3.2.5 Stanovení obsahu tuku a sušiny

Obsah celkové sušiny v jogurtech se stanovuje vážkově metodou s pískem nebo metodou bez písku nebo výpočtem (ČSN 57 0530). Podle Kleckerové (2014) a ČSN 57 0530 je obsah celkové sušiny hmotnostní podíl látek, které zůstávají po úplném

vysušení vzorku, stanoveným po předsušení zkušebního vzorku ve vroucí vodní lázni a následně odpaření vody v sušárně při teplotě 102 ± 2 °C. Vyjadřuje se v hmotnostních %. Sušina stanovená výpočtem je podíl všech složek mléka kromě volné vody, zjištěný výpočtem z hustoty a obsahu tuku. Vyjadřuje se v g na 100 g mléka.

Obsah tuku se stanovuje gravimetricky metodou Schmid-Bondzynski-Rafzloff, kdy se materiál hydrolyzuje kyselinou chlorovodíkovou, následně se tuk vyextrahuje a zváží, nebo se stanovuje podle Röse-Gottlieba, kde je principem rozpuštění bílkovin v amoniaku, extrakce pomocí rozpouštědel a zvážení, a nebo acydobutyrometrickou metodou podle Gerbera. Principem této metody je působení kyseliny sírové. Tuk se uvolní a následně odstředí. (Šustová et al., 2013; Kleckerová et al., 2014)

3.3 Fyzikální a mechanické vlastnosti kapalin

Kapalina patří, stejně jako plyn, mezi tekutiny, které se vyznačují tím, že nemají vlastní tvar. To je způsobeno menšími mezimolekulárními silami. Tekutiny netvoří krystalickou mřížku, jako je to u pevných látek. Obě tato skupenství lze rozdělit na ideální a skutečné. Ideální kapalina se vyznačuje nestlačitelností bez vnitřního napětí. Naopak k vlastnostem skutečné kapaliny patří stlačitelnost, povrchové napětí a viskozita. (Dvořák, 2010)

3.3.1 Hustota kapalin

Hustota kapalin (ρ) je definována jako podíl její hmotnosti (m) a objemu (V)

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (1)$$

Základní jednotkou je $kg \cdot m^{-3}$. Pokud se kapalina zahřívá, roste vlivem tepelné roztažnosti její objem a tím se zmenšuje hustota. Naopak je to při zvyšujícím se tlaku. Z toho vyplývá, že hustota roste s tlakem a klesá s teplotou, jelikož při konstantní hmotnosti se mění objem. Hustota vody při 20 °C je $998,2 kg \cdot m^{-3}$. (Mathieu et al., 1991)

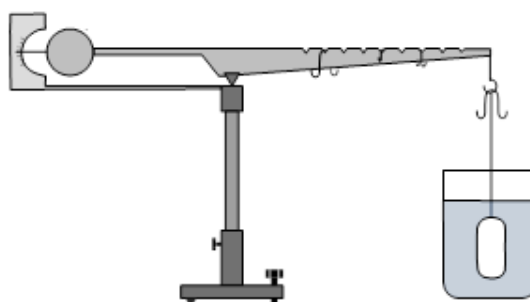
3.3.2 Měření hustoty

Pro *měření hustoty* existuje několik typů hustoměrů. Nejjednodušší je **ponorný** hustoměr, jenž je založen na principu vyrovnávání tíhové síly měřidla a vztlakové síly kapaliny. (Dvořák, 2010)

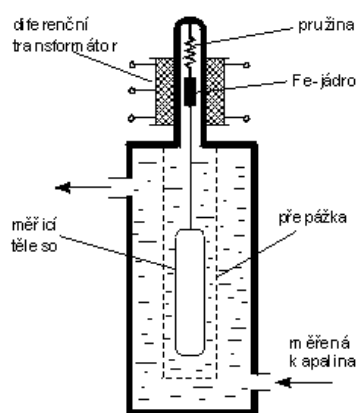


Obrázek 2: *Hustoměr* (Dvořák, 2010)

Dalším zařízením jsou **Mohrovy vážky** (Obr. 3). Na konec kratšího ramene je umístěno měrné tělísko, které je v dané kapalině nadlehčeno vztlakovou silou. Na delší rameno je zavěšeno závaží a podle jeho hmotnosti se určí hustota. Dalším měřidlem je **hustoměr s plovákem** (Obr. 4) spojeným s feromagnetickým jádrem, který se posouvá v cívce. Poloha plováku závisí na vztlakové síle a tím se mění míra elektrického výstupu. Z něho se poté odvodí hustota kapaliny. (Dvořák, 2010)



Obrázek 3: Mohrovy vážky (Dvořák, 2010)



Obrázek 4: Vztlakový hustoměr (Dvořák, 2010)

Mezi jednoduchá měřidla patří také **pyknometr**. To je nádoba s broušenou zátkou, ve které je kapilára. Hustota se zjišťuje z hmotnosti nádoby naplněné měřenou kapalinou. (Dvořák, 2010)



Obrázek 5: Pycnometr (Dvořák, 2010)

Digitální hustoměry používají metodu oscilující trubice v kombinaci s přesným měřením teploty. Výsledky se zobrazí v několika sekundách na displeji přístroje. (Kumbár a Nedomová, 2015)

3.3.3 Viskozita

Elastické látky vykazují při nulovém napětí nulovou deformaci. Působením vnějšího napětí dochází k přímo úměrné deformaci, které nezávisí na rychlosti deformace. Po ukončení působení vnější síly se látka vrací do původního stavu. (Arana, 2012; Kadlec et al., 2013) Látky viskózní vykazují při nulové rychlosti deformace nulové tečné napětí. Dochází k trvalé deformaci. U elastických látek závisí napětí na velikosti deformace a u viskózních látek závisí napětí na rychlosti deformace. Látky, které mají po odstranění napětí z části trvalou a z části vratnou deformaci, jsou látky viskoelastické. (Janalík, 2010)

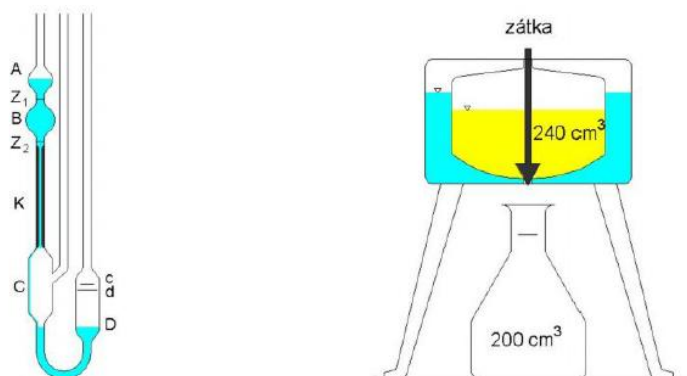
Viskozita je míra vnitřního tření tekutiny, které přenáší pohyb od jedné vrstvy kapaliny k druhé. Charakteristikou viskozity je dynamická (η) a kinematická viskozita $\nu = \eta/\rho$, která závisí na teplotě a tlaku. Při stálém tlaku se s rostoucí teplotou viskozita snižuje díky snižování přitažlivých sil mezi molekulami tekutiny. (Groda et al., 2009; Adebowale, 2016)

3.3.4 Měření viskozity

Pro měření viskozity kapalin se používá několik typů viskozimetrů – průtokové (kapilární), pádové (kuličkové, tělískové) a rotační. **Kapilární viskozimetry** jsou založeny na Hagen-Poiseuillově zákoně a rovnici

$$\eta = \frac{\pi \cdot p^z \cdot R^4}{8 \cdot Q \cdot L} \quad (2)$$

Kdy podle Dvořáka (2010) je při laminárním proudění kapaliny měrnou kapilárou o známém poloměru (R) a délce (L) dynamická viskozita (η) úměrná tlakovému spádu na kapiláře (p^z) a nepřímo úměrná objemovému průtoku (Q). Naměřené hodnoty se srovnávají s referenční kapalinou, u které je známa viskozita. (Severa et al., 2011)

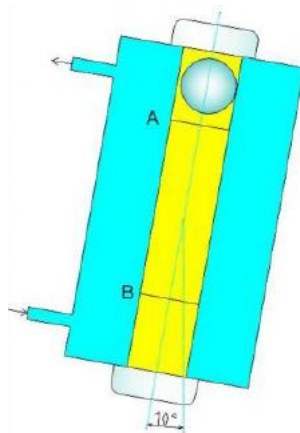


Obrázek 6: Ubbelohdův (vlevo) a Englerův (vpravo) viskozimetr (Dvořák, 2010)

U **pádových viskozimetrů** se měří rychlost pádu kuličky v kapalině, u které zjišťujeme viskozitu. Podle Stokesova zákona platí rovnice

$$\eta = \frac{2 \cdot r^2 \cdot g \cdot (\rho_k - \rho_m)}{9 \cdot w} = \frac{2 \cdot r^2 \cdot g \cdot (\rho_k - \rho_m)}{9 \cdot L} \cdot \tau \quad (3)$$

Je potřeba zohlednit vliv průměru kuličky, nádoby a délku dráhy pádu. Proto se do rovnice zahrnuje opravný koeficient. Nejčastěji používané viskozimetry je Stokesův a Höpplerův viskozimetr. Kulička padá skleněnou trubicí nakloněnou o 10° . (Dvořák, 2010; Adebawale, 2016)



Obrázek 7: Höpplerův (pádový) viskozimetr (Dvořák, 2010)

Rotační viskozimetry nejlépe charakterizují tokovou křivku neneutonských kapalin. Principem je měření smyku v materiálu mezi dvěma plochami. Jedna plocha rotuje a při daných rychlostech se vyhodnocuje účinek daného vzorku. Nejpoužívanější pro měření viskozity je válcový reometr. Válec rotuje stálou úhlovou rychlostí ω a je sledován moment síly M . Viskozita je vypočítána ze vztahu, kde A je přístrojová konstanta.

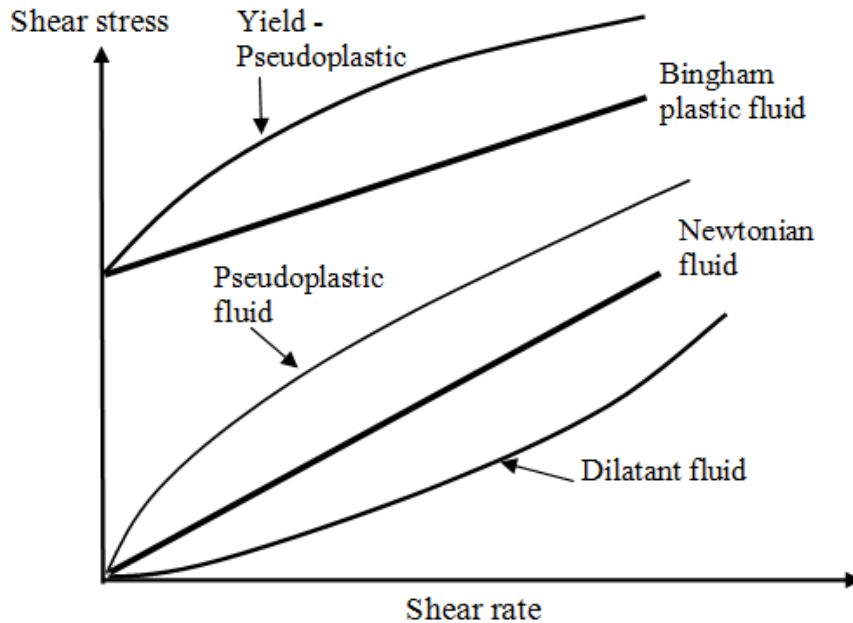
$$\eta = A \cdot \frac{M}{\omega} \quad (4)$$

(Severa et al., 2011; Kadlec et al., 2013)

3.3.5 Klasifikace kapalin

Kapaliny se dělí na skutečné (reálné) a dokonalé (ideální) kapaliny. Ideální kapalina se nevypařuje, má nulovou objemovou roztažnost a stlačitelnost, nulovou rozpustnost plynů a je neviskózní, tzn. bez vnitřního tření. (Ritzoulis, 2013; Holubová, 2014)

Dále rozlišujeme *kapaliny* newtonské, které se chovají podle Newtona zákona viskozity, a neneutonské kapaliny, které se jím neřídí a patří sem kapaliny dilatantní, plastické a pseudoplastické. (Groda et al., 2009)



Obrázek 8: Reogramy newtonské a nenewtonských kapalin (Nguyen a Choi, 2012)

3.3.5.1 Reologické vlastnosti

Reologie je studie zabývající se vztahy mezi napětím a deformací látek, ke kterým dochází působením vnějších sil. Je jedním z odvětví fyziky, které popisuje vztahy mezi třemi veličinami - napětím, deformací a časem. (Ritzoulis, 2013; Adebowale, 2016)

Reologické vlastnosti se stanovují měřením působení vnějších sil a deformací závislých na čase. Pro stanovení se používají empirické a elementární metody, které určují fyzikální vlastnosti a jsou založeny na známých fyzikálních vztazích. Elementární testy se zaměřují na velikost a směry sil a deformaci. Empirické metody se používají v případě, kdy je vzorek různorodý a nelze sledovat síly a deformace. (Severa, 2008; Arana, 2012)

3.3.5.2 Newtonské tekutiny

Měřítkem viskózních sil je smykové napětí. To je přímo úměrné rychlosti smykové deformace. Pro *newtonské tekutiny* platí lineární závislost mezi smykovým napětím a rychlostí deformace. Viskozita tekutin zůstává konstantní, protože smyková

rychlost se mění. Popisuje se mocninným modelem, kde τ je *tečné napětí*, n *index lomu* a K *koeficient konzistence*:

$$\tau = k \cdot \dot{\gamma}^n, \quad (5)$$

kdy platí: $\tau_0 = 0$, $k = \eta$, $n = 1$

K typickým *newtonským tekutinám* patří voda a oleje. (Steffe, 1996)

3.3.5.3 *Nenewtonské tekutiny*

Běžnější jsou *nenewtonské tekutiny*, které nejsou tekutinami v pravém slova smyslu. Jsou považovány za tekutiny s proměnlivou viskozitou. Pro fyzikální hodnocení se udává jejich závislost na smykovém napětí. Grafická závislost mezi tečným napětím (τ) a gradientem smykové rychlosti (j), kterou se tento děj popisuje, se nazývá reogram nebo toková křivka. Platí mocninný model, resp. Ostwald – de Waele model:

$$\tau = \tau_0 + k \cdot \dot{\gamma}^n \quad (6)$$

Nenewtonské tekutiny se dělí na tekutiny s časově nezávislými reologickými vlastnostmi a tekutiny s časově závislými reologickými vlastnostmi. (Groda et al., 2009; Janalík, 2010)

3.3.5.4 *Nenewtonské tekutiny s časově nezávislými reologickými vlastnostmi*

Nenewtonské tekutiny s časově nezávislými reologickými vlastnostmi se dělí na tekutiny pseudoplastické, binghamské a dilatantní. (Groda et al., 2009)

Pseudoplastické tekutiny charakterizuje pokles viskozity při rostoucím smykovém napětí. Do této skupiny patří emulze, pasty, kaly, koloidní roztoky, latexy, barvy, mazadla, v potravinářství kečup, koncentráty džusu apod. Toková křivka prochází počátkem jako u newtonských kapalin z důvodu tekutosti při sebemenším napětí. V klidovém stavu jsou molekuly tekutiny uspořádány nesouměrně. Při působení smykového napětí se částice orientují do směru pohybu. (Ritzoulis, 2013; Holubová, 2014)

Platí zde mocninný vztah:

$$\tau = k \cdot \dot{\gamma}^n, \quad (7)$$

kdy $\tau_0 = 0$ a $n < 1$ (Ritzoulis, 2013)

Tekutiny binghamské Mají tuhou strukturu, která je schopná odolávat napětí menšímu než napětí na mezi deformace (τ_p), neboli počáteční smykové napětí. Jakmile napětí dosáhne této úrovně, struktura se rozpadne. Jinak řečeno, působí-li na tekutinu tohoto typu napětí $\tau < \tau_0$, je smyková rychlost nulová a látka se chová jako pevné těleso. Pokud je $\tau > \tau_0$, látka teče jako newtonská tekutina. Mezi binghamské tekutiny patří kašovitě a zrnité suspenze, kaše, pasty, plastické gely, bahno, kaly, v potravinářství tvaroh apod. (Groda et al., 2009; Janalík, 2010)

Takový vztah vyjadřujeme mocninným modelem:

$$\tau = \tau_0 + k \cdot \dot{\gamma} \quad (8)$$

$n = 1$

Tekutiny dilatantní jsou směsi pevných látek a tekutin. Jedná se např., o med, beton, rozpouštědla barev, nátěrové barvy, škrobové mazy apod. Tyto tekutiny jsou charakterizovány rostoucí viskozitou s růstem tečného napětí. Smykové napětí roste pomaleji než smyková rychlost. (Janalík, 2010; Adebawale, 2016)

Pro tyto tekutiny platí:

$$\tau = k \cdot \dot{\gamma}^n, \quad (9)$$

přičemž $\tau_0 = 0$, $n > 1$

3.3.5.5 *Nenewtonské tekutiny s časově závislými reologickými vlastnostmi*

Nenewtonské tekutiny s časově závislými reologickými vlastnostmi se dělí na tixotropní a reopexní. (Groda et al., 2009)

Tixotropní tekutiny jsou tzv. řídnoucí kapaliny. Při působení tečného napětí roste smyková rychlost, a naopak při působení smykové rychlosti se snižuje tečné napětí. Příkladem těchto tekutin jsou nátěrové hmoty apod. Pokud jsou vystaveny smykovému napětí (míchání, třepání apod.), je zdánlivá viskozita vysoká a s rostoucím časem klesá. Jsou-li látky ponechány v klidu, obnoví se původní struktura. U tokových křivek můžeme pozorovat hysterezní smyčku, která poukazuje na neshodný průběh při zvyšování a snižování napětí. V potravinářství je příkladem jogurt. (Groda, 2002; Janalík, 2010)

Reopexní tekutiny známé také jako reopektické. U těchto tekutin klesá smyková rychlost s dobou působení tečného napětí a naopak. Při působení smykového napětí (míchání, třepání apod.) je zdánlivá viskozita nejprve nízká a s rostoucím časem stoupá. Jakmile látku necháme v klidu, obnoví se původní struktura. Příkladem reopexní tekutiny je sádra, která v klidu zůstává dlouhou dobu tekutá a s její manipulací tuhne. (Janalík, 2010; Ritzoulis, 2013)

3.3.6 Význam reologie v potravinářském průmyslu

Reologické vlastnosti potravin jsou závislé na složení nebo přísadě potravin. V potravinářství se tato vědecká disciplína uplatňuje při zkoumání kvality, měření konzistence, hodnocení textury, zpracování a manipulaci s potravinami. Reologické vlastnosti potravin mohou ovlivňovat procesy jako je míchání roztoků, suspenzí a emulzí, hnětení, filtraci, sedimentaci, odstředování apod. (Severa, 2008; Kadlec et al., 2013)

4 PRAKTICKÉ MĚŘENÍ

4.1 Materiál a metodika

Pro měření bylo vybráno dvacet bílých jogurtů odlišných výrobců. Při výběru byla primárně sledována různorodost a obsah tuku (odtučněné, nízkotučné, krémové apod.). Měření probíhalo dne 4. 9. 2015, trvalo 8 hodin a k měření reologických vlastností jogurtů byl použit digitální hustoměr a rotační viskozimetr, viz dále.

Tabulka 1: Seznam vybraných bílých jogurtů

číslo vzorku	výrobce	označení	tuk, g/100g	sacharidy, g/100g	bílkoviny, g/100g	energetická hodnota, kJ	datum spotřeby
1	Tesco Value	Jogurt nízkotučný	0,1	7,0	5,8	225	23. 9. 2015
2	Classic	Bílý jogurt odtučněný	0,1	4,5	5,7	177	24. 9. 2015
3	Danone	Activia bílá	0,1	7,2	5,5	219	14. 9. 2015
4	Milko	Řecký jogurt bílý	0,3	3,8	9,8	242	15. 9. 2015
5	Pilos	Jogurt bílý	2,5	5,2	4,3	254	19. 9. 2015
6	Olma	Klasik bílý jogurt	2,7	4,5	4,9	260	21. 9. 2015
7	Zott Natura	Bílý jogurt	3,0	4,1	4,9	278	24. 9. 2015
8	Mlékárna Valašské Meziříčí	Bílý jogurt z Valašska	3,1	5,0	4,9	280	14. 9. 2015
9	Pilos	Jogurt krémový	3,1	5,0	4,9	280	16. 9. 2015
10	Danone	Activia bílá	3,4	5,1	4,5	288	11. 9. 2015
11	Agro-la	Jihočeský jogurt bílý	3,5	7,7	5,9	360	5. 9. 2015
12	Moravia	jogurt bílý	3,5	3,5	4,0	257	12. 9. 2015

13	Mlékárna Kunín	Selský jogurt	3,7	4,2	4,0	276	9. 9. 2015
14	Creamfields	Jogurt bílý	3,8	4,6	3,8	283	13. 9. 2015
15	Olma	Selský jogurt	5,0	4,1	4,7	335	19. 9. 2015
16	Elinas	Bílý jogurt řeckého typu	9,4	4,0	3,3	472	25. 9. 2015
17	Pilos	Jogurt smetanový	10,0	4,0	3,4	496	23. 9. 2015
18	Choceňská mlékárna	Choceňský smetanový jogurt	10,2	3,8	3,5	502	15. 9. 2015
19	Mlékárna Kunín	Smetanový jogurt	10,2	3,3	2,9	483	13. 9. 2015
20	Tesco	Jogurt bílý smetanový	10,2	3,8	3,5	502	9. 9. 2015

4.1.1 Měření hustoty

Hustota neboli měrná hmotnost byla měřena pomocí přenosného digitálního hustoměru Densito 30 PX od firmy Mettler Toledo. Tento přenosný hustoměr umožňuje během krátké doby zjistit hustotu vzorku. Přístroj používá metodu oscilující trubice v kombinaci s přesným měřením teploty. Vzorkovací hadička se ponoří do vzorku a po nasátí tekutiny se automaticky spustí měření. Výsledek se zobrazí na displeji v několika sekundách. Hustoměr je vybaven pumpou s regulovatelnou rychlostí nasávání a speciálním otvorem pro možný vstřík vzorku externí stříkačkou (pro velmi viskózní vzorky). Přístroj má automatickou teplotní kompenzaci nebo 10 teplotních kompenzačních koeficientů. Kalibrace se provádí na vzduch nebo vodu. Do interní paměti lze uložit až 1100 výsledků vzorků a přenést do osobního počítače pomocí infračerveného rozhraní. Densito 30 PX se dodává v kufříku s kompletním vybavením, viz Obr. 9.



Obrázek 9: Přenosný digitální hustoměr Densito 30 PX (Kumbár a Nedomová, 2015)

Technické údaje použitého přístroje Densito 30 PX:

Měřicí rozsah hustoty: 0 až 2 g·cm⁻³

Měřicí rozsah teploty: 0-60 °C

Rozlišení: 0,0001 g·cm⁻³

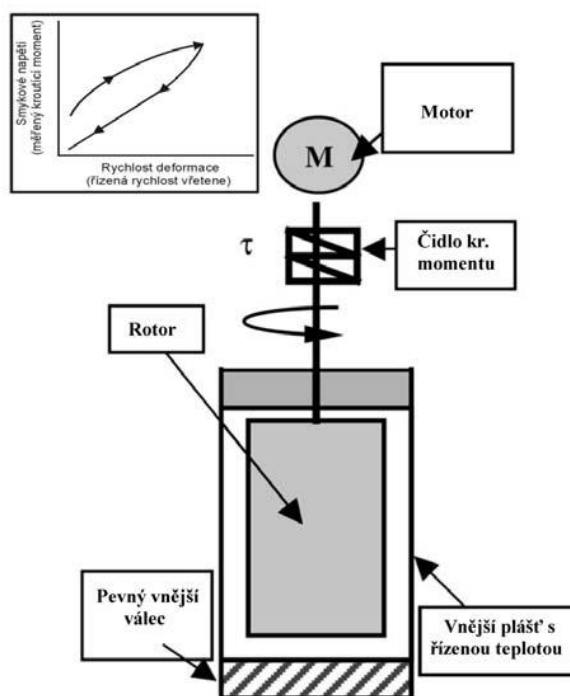
Přesnost: 0,001 g·cm⁻³

Jednotky měření: hustota, specifická hmotnost, Brix%, alkohol, °Baumé, °Plato, API, kyselina sírová, koncentrace.

Identifikace vzorku: datum, čas a identifikace přístroje (Kumbár a Nedomová, 2015)

4.1.2 Měření viskozity

Měření viskozity vzorků bylo provedeno na rotačním viskozimetru DV – 3P (Anton Paar, Rakousko), který měří krouticí moment rotujícího vřetena ponořeného do vzorku. Tento viskozimetr pracuje na principu měření krouticí síly, nutné k překonání odporu u rotujícího válce nebo disku ponořeného v měřeném materiálu. Rotující válec nebo vřeteno je propojeno přes pružinu s hřídelí motoru, který se točí definovanou rychlostí. Úhel pootočení hřídele je měřen elektronicky a poskytuje přesnou informaci o poloze hřídele, potažmo vřetene. Z měřených hodnot je na základě interních výpočtů přímo zobrazena hodnota dynamické viskozity v [mPa·s]. Pro kapaliny konstantní viskozity odpor vůči pohybu roste s velikostí vřetena. Rozsah měření pro stanovení reologických vlastností materiálu může být přizpůsoben zvolením vhodné kombinace vřetene a rychlosti otáčení. Pro získání relevantních výsledků měření je nezbytné znát nejdůležitější reologické vlastnosti vzorku. Je tedy třeba vyhodnotit, o jaký typ materiálu se jedná, a správně jej klasifikovat. Pro měření vzorku jogurtů byl viskozimetr osazen adaptérem pro posouzení malých objemů vzorků a standardizovaným vřetenem TR8.



Obrázek 10: Schématické znázornění mechanismu měření (Kumbár a Nedomová, 2015)



Obrázek 11: Rotační viskozimetr Anton Paar DV3-P (Kumbár a Nedomová, 2015)

Technické údaje použitého přístroje:

Rozsahy měření pro standardní vřetena:

DV – 3 P L: 15*) do 2 000 000 $mPa.s$ = 15 **) do 2 000 000 $mPa.s$

DV – 3 P R: 100 *) do 13 000 000 $mPa.s$ = 100 **) do 13 000 000 $mPa.s$

DV – 3 P H: 0,16 **) do 106 000 $Pa.s$ = 1,6 *) do 1 060 000 $mPa.s$

*) omezeno vlivem turbulence, **) pro měření odpovídající 10 % plného rozsahu

Rozlišení: pro adaptér „nízká viskozita“: 0,01
viskozita < 10 000 $mPa.s$: 0,1
viskozita > 10 000 $mPa.s$: 1

Přesnost: +/- 1 % z plného rozsahu

Opakovatelnost:	+/- 0,2 % z plného rozsahu
Hodnoty momentu (plné zatížení):	DV – 3P L: 0,07 <i>mNm</i> DV – 3P R: 0,7 <i>mNm</i> DV – 3P H: 5,8 <i>mNm</i>
Teplota místnosti:	10–35 °C
Vlhkost:	max. 80 % RH do 31 °C max. 50 % RH do 40 °C
Teplotní senzor Pt 100:	rozsah: 0–100 °C rozlišení: 0,1 °C přesnost: +/- 0,25 °C opakovatelnost: +/- 0,1 °C
Výstupy:	RS 232 zapisovač 1 kanál 0 V do 5 V DC vstup přesnost nejméně 1 % z plného rozsahu
Rozměry (d x š x v):	350 x 300 x 500 mm
Materiál vřeten:	AISI 316 nerez ocel
(Kumbár a Nedomová, 2015)	

4.1.3 Teplotní a časová závislost viskozity

U pěti vybraných vzorků (2, 13, 15, 16, 18) byla naměřena teplotní závislost viskozity. Toto měření proběhlo pomocí teploměru, viskozimetru Anton-Paar a termostatu při konstantní smykové rychlosti. Sledovaný vzorek jogurtu byl umístěn do termostatu, kde byla regulována teplota, která se měřila vloženým teploměrem. Výchozí teplotou jogurtů byly 4 °C. Teplota se postupně zvyšovala o dva stupně Celsia. Při každém zvýšení se u každého vzorku změřila viskozita a zaznamenala do tabulky. Konečnou teplotou bylo 30 °C.

Časová závislost viskozity byla měřena u tří vzorků 1, 9, 20. Hodnoty viskozity byly zaznamenány do tabulky po pěti sekundách při konstantní smykové rychlosti po dobu 33 minut.

4.1.4 Analytický rozbor vzorků

U vzorků jogurtů 2, 13, 15, 16 a 18 byl stanoven obsah celkové sušiny, obsah tuku, titrační kyselost a aktivní kyselost podle normy ČSN ISO 57 0530. Tento rozbor byl proveden v laboratoři Agonomické fakulty na Mendelově univerzitě v Brně. K analýze byly použity tyto čtyři metody:

1. stanovení sušiny vázkovou metodou
2. stanovení tuku acidobutyrometrickou metodou
3. stanovení titrační kyselosti podle Soxhlet – Henkela
4. stanovení aktivní kyselosti pHmetrem

Nejprve se celý obsah zkoušeného spotřebitelského balení převedl do mixéru a krátce promíchal tak, aby vznikla homogenní hmota. Tento postup platil pro všechny druhy jogurtů. (ČSN 57 0530)

4.1.4.1 Stanovení sušiny

Dle ČSN 57 0530

Postup práce s použitím písku: Do vysoušečky s vloženou skleněnou tyčinkou se nasype asi 20 g vysušeného křemenného písku a 30 minut se suší při 102 ± 2 °C. Pak se vysoušečka s pískem vloží do exsikátoru a uzavře víčkem. Po vychladnutí se zváží s přesností na 0,0001 g. Do vysoušečky se odpipetuje asi 5 ml vzorku, zváží s přesností

na 0,0002 g a dále se postupuje, jak bylo uvedeno výše. Během vysoušení se obsah tyčinkou několikrát opatrně promíchá, aby se nevytvořil na povrchu pevný povlak.

Výpočet: Obsah celkové sušiny mléka x v % se vypočítá podle vzorce:

$$x = \frac{c-b}{a-b} \cdot 100, \quad (10)$$

kde a je hmotnost vysoušečky s pískem + navážený vzorek mléka v gramech,

b je hmotnost vysoušečky s pískem a

c je hmotnost vysoušečky + vysušený podíl mléka v gramech. (ČSN 57 0530)

4.1.4.2 Stanovení obsahu tuku

Dle ČSN 57 0530

Obsah tuku ve vzorku je podíl tuku, který se oddělí v butyrometru po rozpuštění fosfolipidického obalu tukových kuliček působením kyseliny sírové (dle Gerbera) za podmínek metody. Odečtený obsah tuku v g na 100 ml vzorku je nutno přepočítat na obsah tuku v g na 100 g jogurtu. Vzorky, které nelze odměřit, je nutno navažovat diferenčně. (Šustová et al., 2013)

Postup práce: Do malé kádinky s tyčinkou se nalije asi do 2/3 objemu vzorek a vše se zváží s přesností na 0,01 g. Do butyrometru se odměří 10 ml kyseliny sírové pomocí pipety. Kyselina se převrství 3 ml vody, a pak se odleje do butyrometru asi 5 až 6 g zkoušeného vzorku po tyčince tak, aby se hrdlo butyrometru vzorkem nesmočilo. Tyčinka se vloží zpět do kádinky. Ta se se zbytkem vzorku a tyčinkou zváží. Z rozdílu se zjistí množství vzorku odlité do butyrometru. Do butyrometru se pak přidá tolik vody potřebné k tomu, aby objem přidané vody a naváženého jogurtu činil 11 ml a následně 1 ml amylalkoholu. Poté se butyrometr uzavře pryžovou zátkou a obsah se dokonale promíchá. Pak se roztok dobře promísí převrácením butyrometru a posunutím zátky se upraví stav tak, aby hladina sahala až k nejvyššímu dílku stupnice. Tím se zajistí, že po odstředění a vytemperování butyrometru bude celý sloupec tuku v rozmezí stupnice a zamezí se chybám, které mohou vzniknout, je-li tukový sloupec po odstředění příliš posunován. Po protřepání se butyrometry ještě horké ihned odstředí při předepsané rychlosti. Odstředivka se uvede do chodu tak, aby během 2 minut dosáhla předepsaného

počtu otáček, a 4 minuty se odstřeďuje při plném počtu otáček. Butyrometr se v odstředivce rozloží podle potřeby rovnoměrného zatížení. Po odstředění se butyrometry vloží do vodní lázně o teplotě 65-68 °C na 3-5 minut, a pak se odečte obsah tuku. Odečítá se s přesností na polovinu nejmenšího dělení stupnice a výsledek se zaokrouhlí na dvě desetinná místa.

Výpočet: obsah tuku v hmotnostních % (x) se vypočítá se vzorce:

$$x = \frac{c \cdot 11}{(a-b)}, \quad (11)$$

kde a je hmotnost kádinky se vzorkem v g,

b hmotnost kádinky po vyprázdnění vzorku do butyrometru a

c obsah tukového sloupce odečtený na škále butyrometru. (ČSN 57 0530)

4.1.4.3 Stanovení titrační kyselosti

Dle ČSN 57 0530

Kyselost se stanoví titrací jogurtu roztokem hydroxidu sodného za použití fenolftaleinu. Vyjádří se ve stupních Soxhlet Henkelových na 100 g jogurtu.

Postup práce: Do titrační baňky se odváží 25 g vzorku s přesností na 0,01 g. K důkladně rozmíchanému vzorku se přidá pipetou 1 ml roztoku fenolftaleinu, zamíchá se a titruje se.

Výpočet: Kyselost ve ° Soxhlet-Henkelových (x) se vypočte podle vzorce:

$$x = 4a, \quad (12)$$

kde a je množství 0,25 N NaOH v ml spotřebované na neutralizaci 25 g vzorku. (ČSN 57 0530)

4.1.4.4 Stanovení pH

Dle ČSN 57 0530

Aktivní kyselost je dána koncentrací vodíkových iontů v mléce a měří se pH metrem. Vyjadřuje se v hodnotách pH.

Pomůcky: WTW Microprocessor pH Meter pH 95.

Postup práce: pH metr se kalibruje v rozsahu 4 až 7 pH podle ústojných roztoků o známé hodnotě pH. Při vlastním měření je nutné postupovat podle návodu použitého pH metru. Elektrody se ponoří přímo do mléka o teplotě 20 °C a změří se odpovídající hodnota pH. (ČSN 57 0530)

4.2 Výsledky a diskuze

4.2.1 Analytický rozbor jogurtů

U pěti vybraných jogurtů byl laboratorně stanoven obsah sušiny, tuku, pH a titrační kyselost. Naměřené hodnoty byly zaznamenány do tabulky 2.

Tabulka 2: Výsledky analýzy vybraných jogurtů

číslo vzorku	pH	°SH	Tuk (%)	Sušina (%)
2	4,28	65,99	0,09	11,2770
13	4,17	41,98	3,97	12,7923
15	4,35	40,93	5,33	12,5049
16	4,14	39,47	10,22	17,8441
18	3,96	44,06	10,47	17,7522

Obsah sušiny byl naměřen od 11,2 do 17,75 % (viz tabulka 2). Z výsledků vyplývá, že s rostoucím tukem roste podíl sušiny.

Při porovnání obsahu tuku na obalu jogurtu a námi naměřených hodnot jsme zjistili, že výrobci uvádí vyšší hodnoty, než ve skutečnosti jsou. Nejmenší rozdíl byl u vzorku č. 2 (Bílý jogurt odtučněný – Classic), kdy se hodnoty lišily pouze o setinu hmotnostních procent. U vzorků č. 13, 15 a 18 jsme laboratorně stanovili 3,97 %, 5,33 % a 10,47 % tuku. Na etiketě bylo uvedeno 3,7, 5,0 a 10,2 g/100g tuku, což se liší o 0,27–0,33 % tuku. Největší rozdíl skutečné a uvedené hodnoty na obalu byl u vzorku č. 16 (Bílý jogurt řeckého typu – Elinas), a to 0,82 hmotnostních procent.

Yazici a Akgun (2004) uvádí ve své studii, že vzorky jogurtů s nižším obsahem tuku vykazovaly vyšší titrační kyselost. Naše naměřené hodnoty se pohybovaly mezi 39,47 a 65,99 °SH, a z těchto výsledků nelze tuto závislost jednoznačně potvrdit.

Naměřené hodnoty pH se pohybovaly mezi 3,96 a 4,35. Ty se shodují s hodnotami naměřenými u jogurtů obohacených o omega 3 mastné kyseliny. (Macedo y Ramírez a Vélez-Ruíz, 2015) pH jogurtů může být ovlivněno skladováním a může se lišit na začátku a na konci skladování. (Kesenkaş, 2017)

4.2.2 Stanovení hustoty

Pomocí přenosného digitálního hustoměru Densito 30 PX byla naměřena hustota jednotlivých vzorků jogurtů. Hodnoty byly zaznamenány do tabulky.

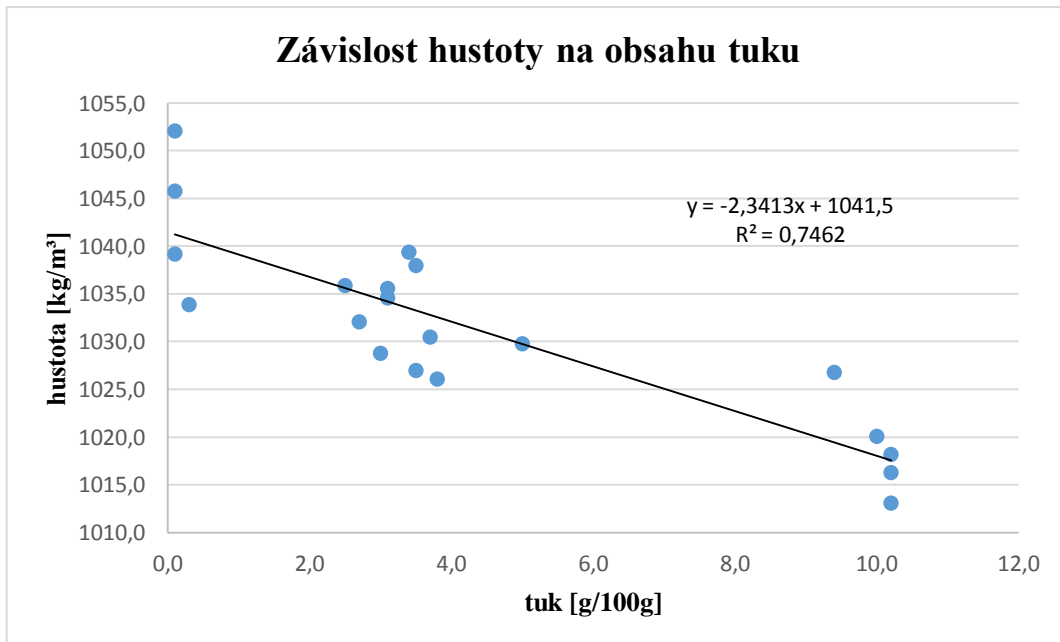
Tabulka 3: Naměřená hustota jednotlivých vzorků

číslo vzorku	hustota (kg/m ³)
1	1045,8
2	1039,2
3	1052,1
4	1033,9
5	1035,9
6	1032,1
7	1028,8
8	1035,6
9	1034,6
10	1039,4
11	1038,0
12	1027,0
13	1030,5
14	1026,1
15	1029,8
16	1026,8
17	1020,1
18	1016,3
19	1013,1
20	1018,2

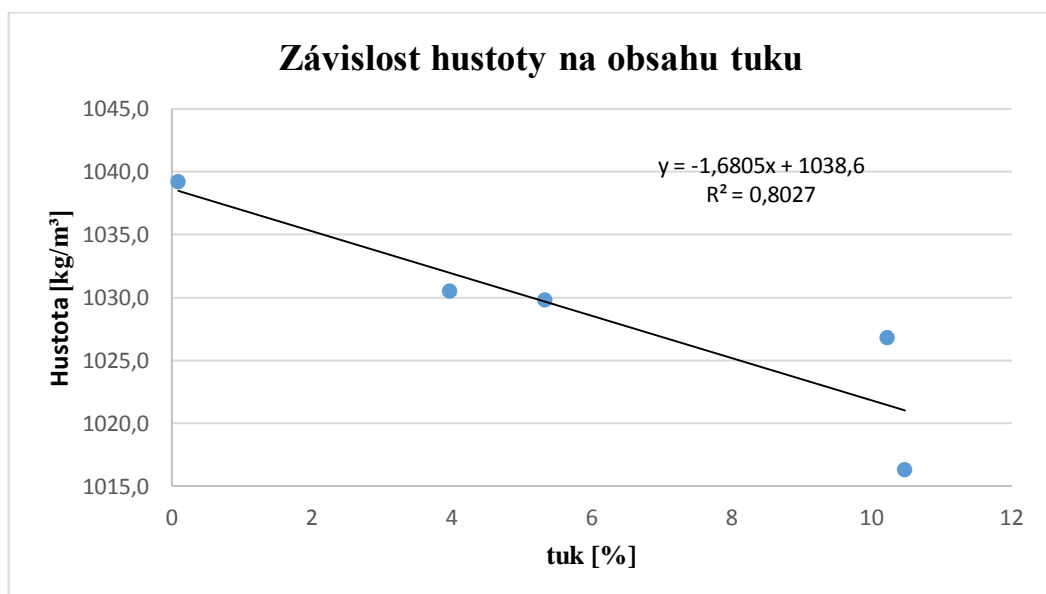
Z tabulky 3 je zřejmé, že nejmenší naměřenou hustotu měl vzorek č. 19 (Smetanový jogurt – Mlékárna Kunín) a největší hustotu měl naopak vzorek č. 3 (Activia bílá – Danone).

4.2.2.1 Závislost hustoty na obsahu tuku

Výsledné hodnoty hustoty a tuku byly porovnány v grafech na obrázcích 12 a 13.



Obrázek 12: Závislost hustoty jogurtů na obsahu tuku (tuk zjištěný z etikety)

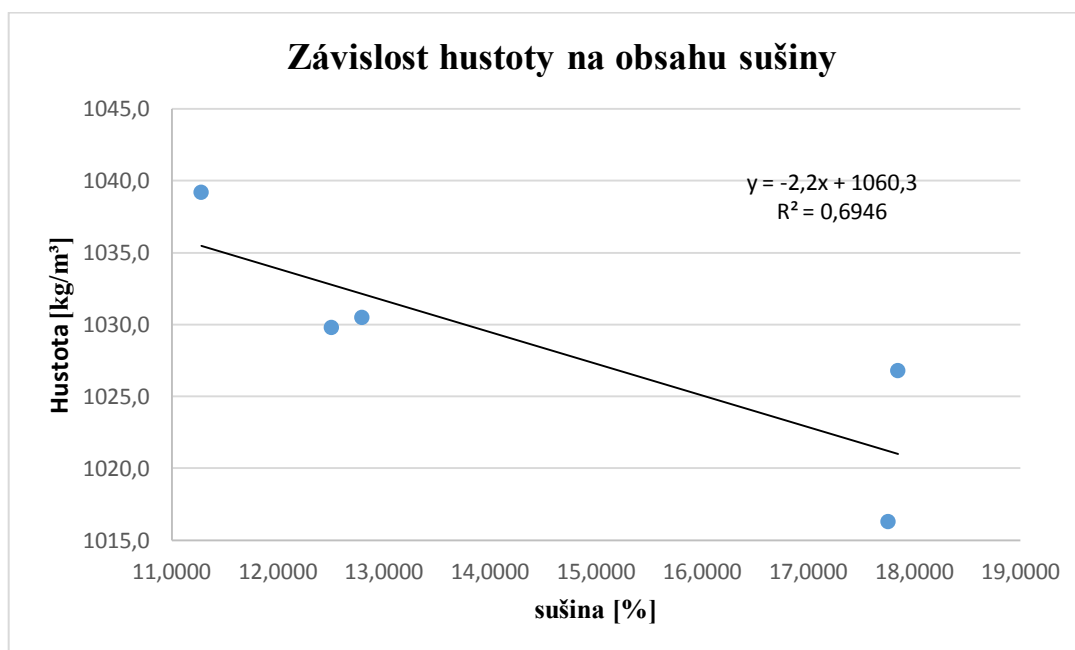


Obrázek 13: Závislost hustoty jogurtů na obsahu tuku (tuk laboratorně stanovený)

Z grafu 13 je znatelné, že s rostoucí tučností bílých jogurtů klesá jejich hustota. Naopak je to u závislosti hustoty na mléčné bílkovině. Delikanli a Ozcan (2016) zkoumali dopad mléčných bílkovin na fyzikálně-chemické, texturní a sensorické vlastnosti u odtučněných jogurtů. Výsledky ukázaly, že mléčné bílkoviny způsobily zvýšení hustoty a zlepšily strukturní vlastnosti. Snížení tuku a celkového obsahu pevných látek vykazuje slabou texturu a špatné sensorické vlastnosti.

4.2.2.2 Závislost hustoty na obsahu sušiny

Stejně jako byla posouzena závislost tučnosti na hustotě, byl porovnán také vliv obsahu sušiny na hustotu vybraných jogurtů.



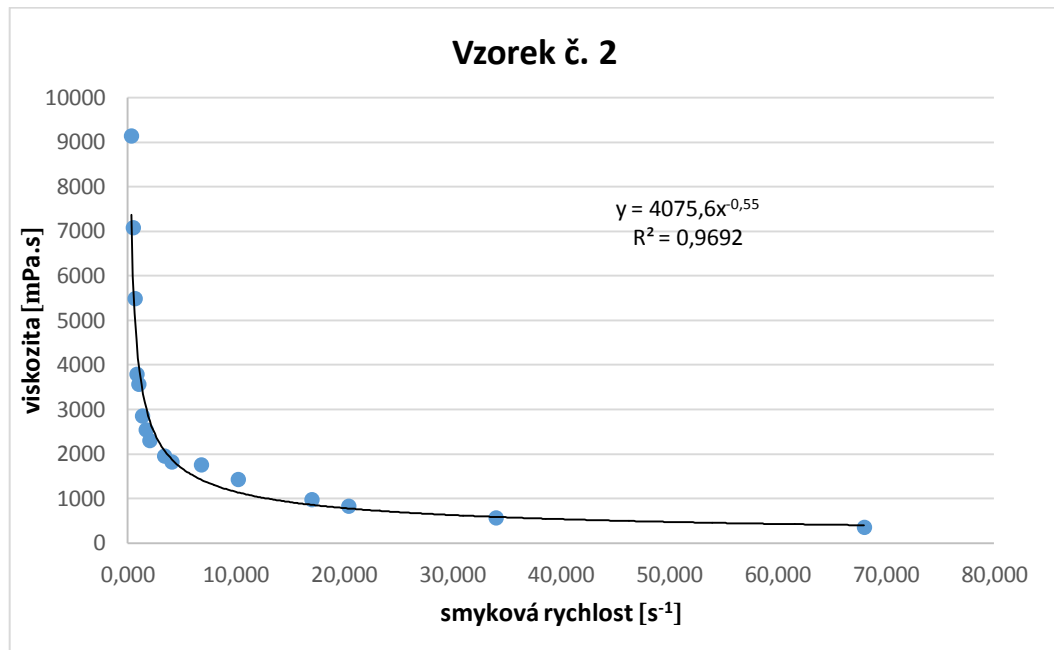
Obrázek 14: Závislost hustoty jogurtů na obsahu sušiny

Z grafu 14 vyplývá, že s rostoucím obsahem sušiny klesá hustota bílých jogurtů.

Moosavy a Roostae (2017) sledovali vliv sezónních a geografických faktorů na chemické a fyzikální vlastnosti pasterizovaného kravského mléka a zjistili, že během jara a léta vzorky mléka obsahovaly podstatně méně tuku, proteinu a sušiny než na podzim a v zimě.

4.2.3 Viskozitní vlastnosti

Pro každý vzorek jsme sestavili viskozitní křivku. Jako příklad byly uvedeny vzorky 2, 13, 18 viz obrázky 15–17. Do tabulky 4 jsme zaznamenali koeficient konzistence (K), index toku (n) a koeficient determinace (R^2).



Obrázek 15: Viskozitní křivka vzorku č. 2

Tabulka 4: Viskozitní křivky - přehled

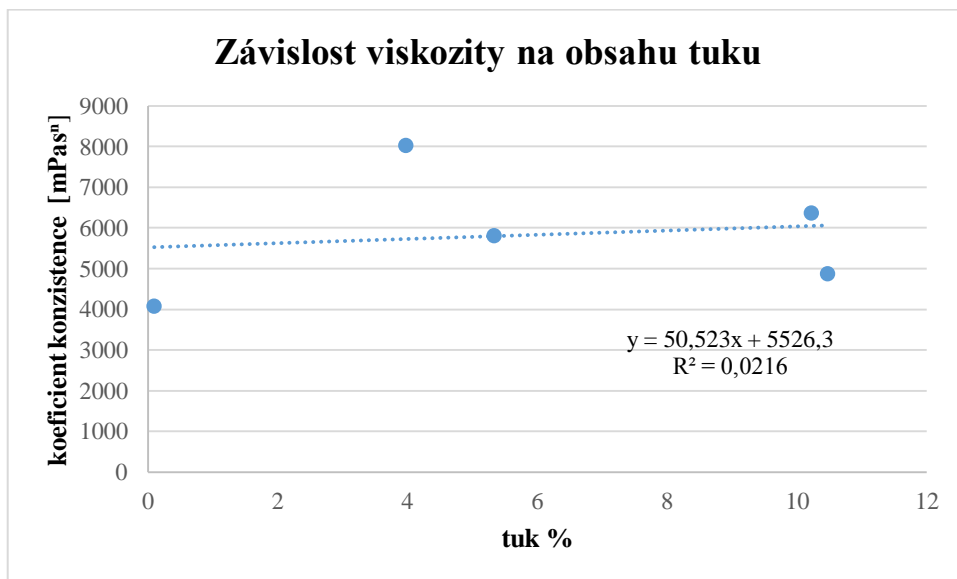
číslo vzorku	Koeficient konzistence k [mPas ⁿ]	Index toku n [-]	Koeficient determinace R ²
1	4445	0,523	0,9353
2	4075,6	0,45	0,9692
3	5057,6	0,489	0,9601
4	15909	0,396	0,9558
5	8304,1	0,455	0,9826
6	9605,7	0,468	0,9278
7	6825	0,418	0,9665
8	7651,8	0,529	0,9713
9	9016,7	0,432	0,9587
10	6787,4	0,526	0,9657
11	11237	0,468	0,985
12	4915	0,455	0,9516
13	8027,8	0,444	0,9761
14	3521,6	0,481	0,9646
15	5808,9	0,52	0,9517
16	6366,1	0,436	0,9462
17	5779,7	0,412	0,9347
18	4872,8	0,559	0,8857
19	4593,2	0,442	0,9363
20	7092,9	0,388	0,9468

K vyhodnocení výsledků jsme použili mocninný (Ostwald–de Waeleho) model:

$$\eta = k \cdot \dot{\gamma}^{(n-1)} \quad (13)$$

Index toku byl u všech vzorků menší než 1. To poukazuje na pseudoplastické chování kapalin. (Fong et al., 1996)

4.2.3.1 Závislost viskozity na obsahu tuku

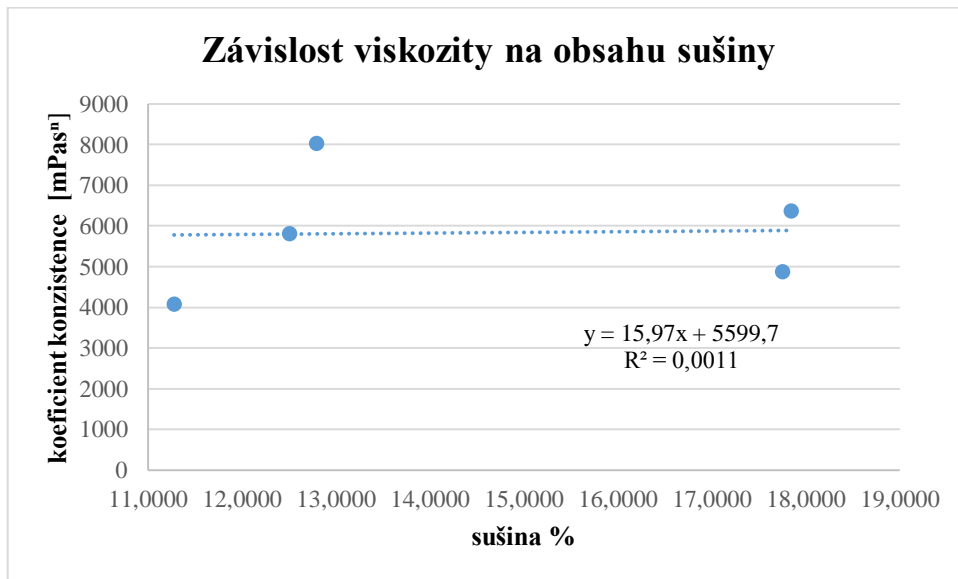


Obrázek 18: Závislost viskozity na obsahu tuku jogurtů

Yaziciho a Akgunovy (2004) vzorky jogurtů s nižším obsahem tuku vykazovaly vyšší viskozitu než vzorky s vyšším obsahem tuku. Tuk a doba skladování měly významný vliv na fyzikální, chemické, texturní a sensorické vlastnosti jogurtů.

Tuto závislost viskozity na obsahu tuku nelze z našich výsledků prokázat. Jak můžeme vidět na obrázku 18, křivka má mírnou vzrůstající tendenci, ale koeficient determinace má hodnotu 0,0216, což znamená, že proložení křivky je nedokonalé.

4.2.3.2 Závislost viskozity na obsahu sušiny



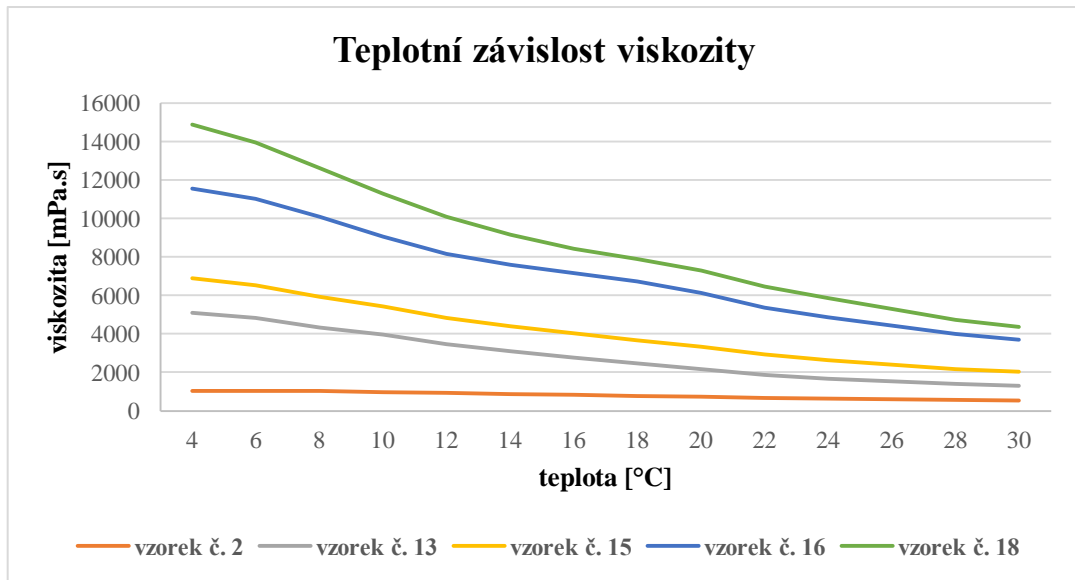
Obrázek 19: Závislost viskozity na obsahu sušiny jogurtů

Vztah mezi obsahem sušiny ve vzorcích a jejich viskozitou se nepotvrdil. Z grafu na obrázku 19 vyplývá, že koeficient determinace se blíží k nulové hodnotě, to znamená, že proložení lineární funkce je nepřesné.

Ani přidavek extraktu z listů olivovníku do nízkotučných meruňkových jogurtů neovlivnil jeho viskozitu a obsah sušiny. (Peker a Arslan, 2016)

4.2.3.3 Teplotní závislost viskozity

Naměřené hodnoty závislosti teploty a viskozity při konstantní smykové rychlosti (s^{-1}) byly zaneseny do grafu na obrázku 20.

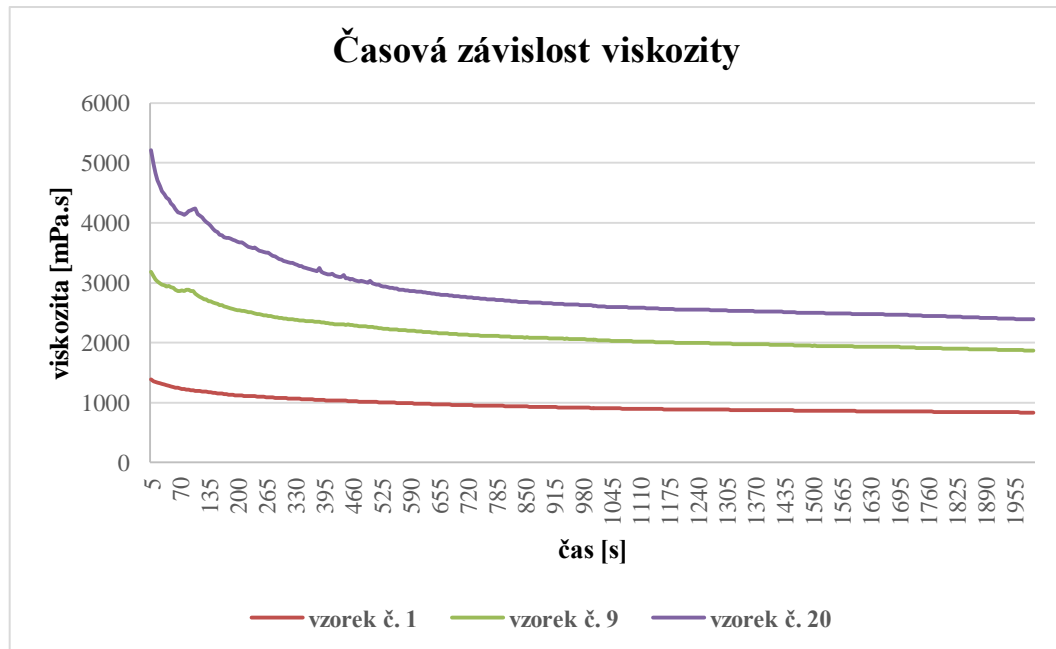


Obrázek 20: Teplotní závislost viskozity

Fernandes (2006) ve své práci uvádí vliv teploty na viskozitu. Tuto závislost potvrzuje také náš graf, ve kterém lze navíc vidět, že s rostoucí teplotou klesá viskozita.

4.2.3.4 Časová závislost viskozity

Do grafu na obrázku 21 byly zaneseny také hodnoty závislosti viskozity při konstantní smykové rychlosti (s^{-1}) na čase.



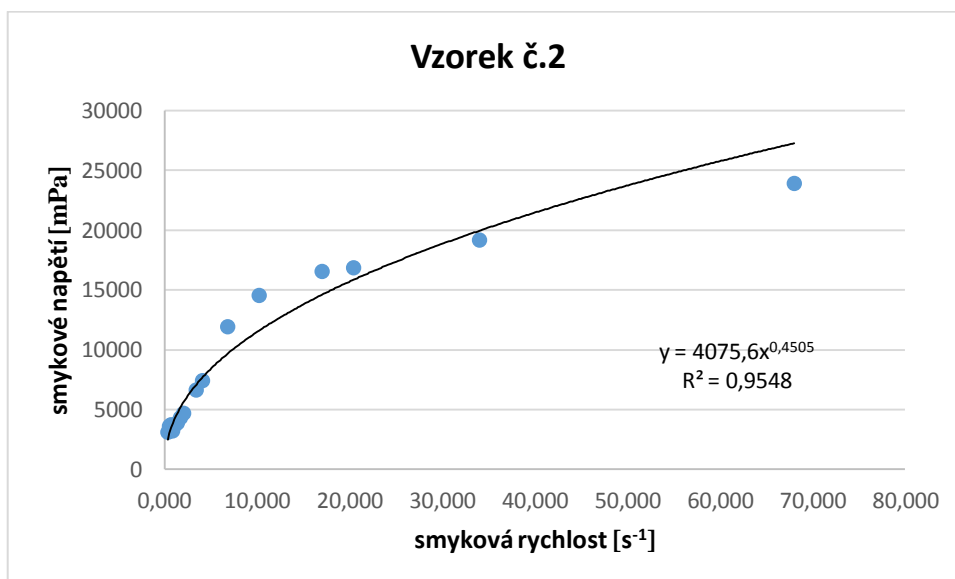
Obrázek 21: Časová závislost viskozity

Z grafu (viz obrázek 21) je viditelné, že s rostoucím časem viskozita klesá. U vzorků č. 1 a 9 dochází k mírnému vychýlení na počátku měření. Z výsledků můžeme říci, že jogurty se řadí k tixotropním kapalinám. (O'Donnell a Butler, 2002)

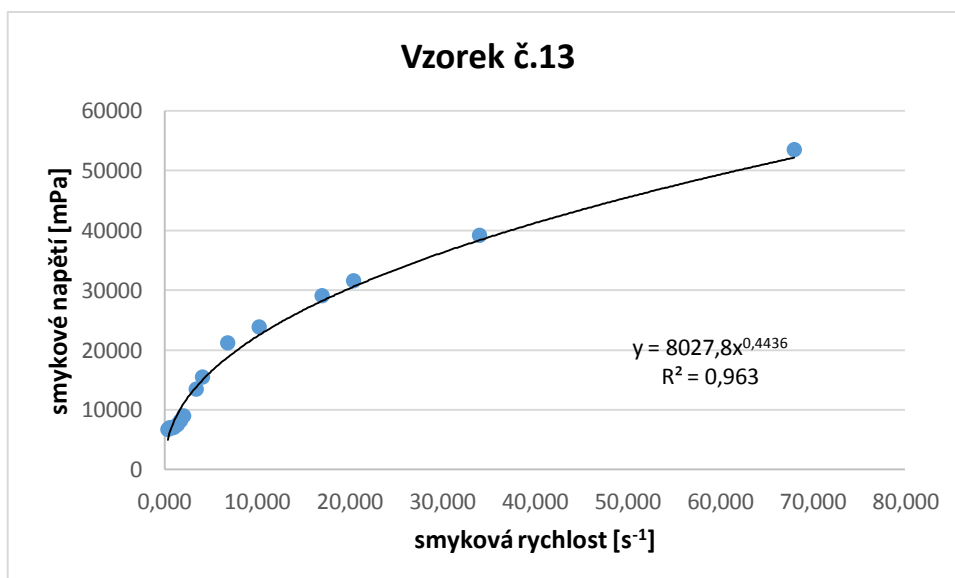
Rychlost a rozsah snížení viskozity u koncentrovaného jogurtu závisí na použité smykové rychlosti a také na době skladování. Při konstantní rychlosti smyku se zdánlivá viskozita zvyšuje se zvyšující se dobu skladovatelnosti. (Abu-Jdayil a Mohameed, 2002)

4.2.4 Tokové křivky

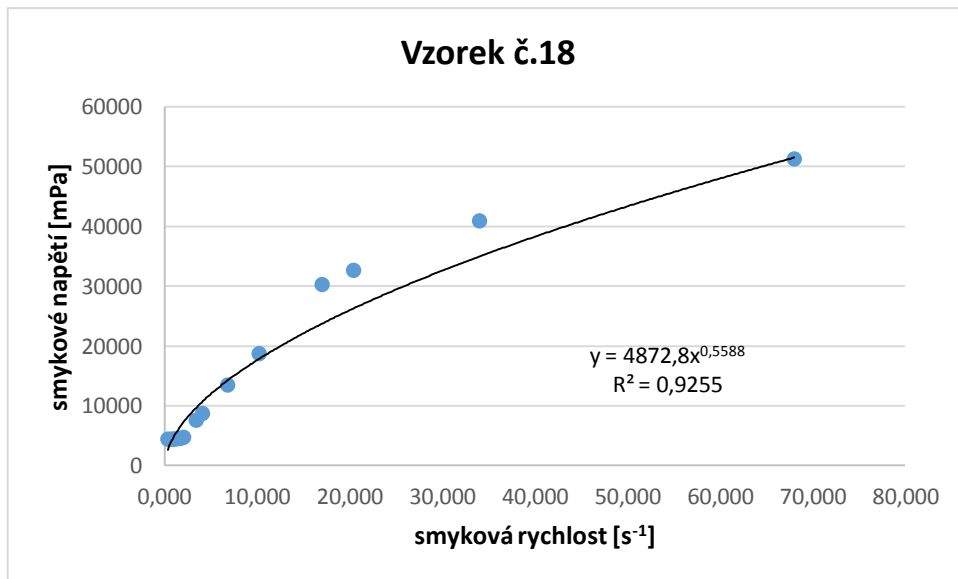
U všech vzorků byly také proloženy tokové křivky. Jako příklad jsme uvedli vzorek č. 2, 13 a 18 viz obrázek 22 - 24. Do tabulky 5 jsme zaznamenali koeficient konzistence (K), index toku (n) a koeficient determinace (R^2).



Obrázek 22: Toková křivka vzorku č. 2



Obrázek 23: Toková křivka vzorku č. 13



Obrázek 24: Toková křivka vzorku č. 18

Koeficient determinace R^2 se pohyboval mezi hodnotami 0,8758 (vzorek č. 20) a 0,9808 (vzorek č. 11). Koeficient determinace se blíží k hodnotě 1, což znamená, že výsledek je téměř spolehlivý, a proložení křivky téměř dokonalé. (Kumbár a Nedomová, 2015)

Tabulka 5: Tokové křivky - přehled

číslo vzorku	Koeficient konzistence k [mPas ⁿ]	Index toku n [-]	Koeficient determinace R ²
1	4445	0,5227	0,9455
2	4075,6	0,4505	0,9548
3	5057,6	0,4892	0,9566
4	15909	0,3963	0,9031
5	8304,1	0,4553	0,9753
6	9605,7	0,4677	0,9084
7	6825	0,4185	0,9373
8	7651,8	0,5289	0,9771
9	9016,7	0,4318	0,9306
10	6787,4	0,5262	0,972
11	11237	0,4683	0,9808
12	4915	0,4548	0,9319
13	8027,8	0,4436	0,963
14	3521,6	0,4814	0,9591
15	5808,9	0,5197	0,9585
16	6366,1	0,4369	0,9135
17	5779,7	0,4125	0,8758
18	4872,8	0,5588	0,9255
19	4593,2	0,442	0,9022
20	7092,9	0,388	0,8773

K vyhodnocení závislosti smykového napětí na rychlosti deformace jsme použili mocniný (Oswald-de Waeleho) model:

$$\tau = k \cdot \dot{\gamma}^n \quad (14)$$

Pro newtonskou kapalinu platí $k = \eta$ a $n = 1$. (Severa et al., 2011) V našem případě byl index toku u všech vzorků menší než 1, tudíž se jedná o kapalinu neneutonskou. Měřená viskozita s časem klesá, proto hovoříme o časově závislé kapalině. (Schmitt et al., 1998) Ze všech výsledků můžeme určit, že použité jogurty se řadí mezi pseudoplastické kapaliny. (Groda et al., 2009)

5 ZÁVĚR

V teoretické části práce jsme se věnovali definování kysaného mléčného výrobku vyrobeného kysáním pasterovaného mléka za pomoci jogurtové kultury. Složení jogurtu je stejné jako složení mléka, ze kterého je vyroben. Dále popisujeme rozdělení tekutin, reologie a měření viskozity a hustoty.

Z našeho analytického rozboru pěti vybraných bílých jogurtů vyplynulo, že s rostoucím tukem roste podíl sušiny (viz tabulka 2). Při porovnání obsahu tuku na obalu jogurtu a námi naměřených hodnot jsme zjistili, že výrobci uvádí vyšší hodnoty, než ve skutečnosti jsou, a liší se o 0,01–0,82 %. Z grafu závislosti hustoty na obsahu tuku je znatelné, že s rostoucí tučností bílých jogurtů klesá jejich hustota. Stejně tomu tak je u závislosti hustoty na obsahu sušiny. Hustota bílých jogurtů klesá s rostoucím obsahem sušiny.

Výsledky tokových a viskozitních křivek praktického měření poukázaly na to, že jogurt je typickou neneutonskou pseudoplastickou kapalinou. Potvrdilo se mj., že s rostoucí teplotou viskozita klesá. Graf časové závislosti (viz obrázek 21) prezentoval, že viskozita při konstantní smykové rychlosti s časem také klesá. To vypovídá o tixotropním chování bílých jogurtů. Závislost viskozity na obsahu tuku a sušiny se z naměřených hodnot vzorků nepodařilo prokázat.

Lze tedy říci, že bílé jogurty se chovají jako časově závislá (tixotropní) pseudoplastická kapalina a obsah sušiny a tuku příliš neovlivňuje jejich reologické vlastnosti. Nižší obsah tuku je výrobci kompenzován přísádky různých hydrokoloidů, což eliminuje právě vliv obsahu tuku a sušiny na reologické vlastnosti jogurtů. To je potřeba vzít v úvahu při technologických procesech.

6 POUŽITÁ LITERATURA

ABU-JDAYIL, B. a MOHAMEED, H. Experimental and modelling studies of the flow properties of concentrated yogurt as affected by the storage time. *Journal of Food Engineering* [online]. 2002, 52(4), 359-365 [cit. 2017-04-05]. DOI: 10.1016/S0260-8774(01)00127-3. ISSN 02608774. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0260877401001273>.

ADEBOWALE, A. Food rheology [online]. 2011 [cit. 2017-03-02]. Dostupné z: http://www.unaab.edu.ng/attachments/455_FST%20310%20%20lecture%20note-DR%20ADEBOWALE.pdf.

ARANA, I. *Physical properties of foods: novel measurement techniques and applications*. Boca Raton: CRC Press, 2012. ISBN 9781439835371.

BULKOVÁ, V. *Nauka o poživatinách*. Brno: Institut pro další vzdělávání pracovníků ve zdravotnictví, 1999. ISBN 80-7013-293-0.

ČSN 57 0530 (570530) *Metody zkoušení mléka a tekutých mléčných výrobků: Methods for testing of milk and milk products*. Praha: Vydavatelství Úřadu pro normalizaci a měření, 1974.

DELIKANLI, B. a OZCAN, T. Improving the Textural Properties of Yogurt Fortified with Milk Proteins. *Journal of Food Processing and Preservation* [online]. 2016 [cit. 2017-04-05]. DOI: 10.1111/jfpp.13101. ISSN 01458892. Dostupné z: <http://doi.wiley.com/10.1111/jfpp.13101>.

DOSTÁLOVÁ, J. a KADLEC, P. *Potravinářské zbožíznalství: technologie potravin*. Ostrava: Key Publishing, 2014. ISBN 978-80-7418-208-2.

DVOŘÁK, L. Vlastnosti tekutin. *Sylabus předmětu „Vlastnosti tekutin“*. Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 2010.

FERNANDES, C. S., DIAS, R. P., NÓBREGA, J. M., AFONSO, I. M., MÊLO, L. F. a MAIA, J. M. Thermal behaviour of stirred yoghurt during cooling in plate heat exchangers. *Journal of Food Engineering* [online]. 2006, 76(3), 433-439 [cit. 2017-04-04]. DOI: 10.1016/j.jfoodeng.2005.05.043. ISSN 02608774. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0260877405003766>.

FERNANDEZ, M. A., PICARD-DELAND, É., LE BARZ, M., DANIEL, N. a MARETTE, A. Yogurt and Health. *Fermented Foods in Health and Disease Prevention* [online]. Elsevier, 2017, s. 305 [cit. 2017-04-05]. DOI: 10.1016/B978-0-12-802309-9.00013-3. ISBN 9780128023099. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/B9780128023099000133>.

FONG, C. F. Chan Man, TURCOTTE, G. a DE KEE, D. Modelling steady and transient rheological properties. *Journal of Food Engineering* [online]. 1996, **27**(1), 63-70 [cit. 2017-04-05]. DOI: 10.1016/0260-8774(94)00077-M. ISSN 02608774. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/026087749400077M>.

GAJDŮŠEK, S. *Laktologie*. Brno: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně, 2003. ISBN 80-7157-657-3.

GÖRNER, F. a VALÍK, L'. *Aplikovaná mikrobiológia požívatin: princípy mikrobiológie požívatin, potravinársky významné mikroorganizmy a ich skupiny, mikrobiológia potravinárskych výrob, ochorenia mikrobiálneho pôvodu, ktorých zárodoky sú prenášané požívatinami*. Bratislava: Malé Centrum, 2004. ISBN 80-967064-9-7.

GRODA, B. *Mechanika tekutin a suspenzí*. Brno: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně, 2002. ISBN 80-7157-576-3.

GRODA, B. a VÍTĚZ, T. *Mechanika tekutin I*. Brno: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně, 2009. ISBN 978-80-7375-283-5.

HOLUBOVÁ, R. *Základy reologie a reometrie kapalin*. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci, 2014. ISBN 978-80-244-4178-8.

IBURG, A. *Lexikon sýrů: výroba, původ, druhy, chuť*. Čestlice: Rebo Productions CZ, 2004. ISBN 80-7234-379-3.

JANALÍK, J. *Viskozita tekutin a její měření*. VŠBTU, fakulta strojní Ostrava. [on-line]. 2010 [cit. 2017-03-05]. Dostupné z: <http://www.338.vsb.cz/PDF/TEXTviskozitaPDF.pdf>.

KADLEC, P., MELZOCH, K. a VOLDŘICH, M. *Přehled tradičních potravinářských výrob: technologie potravin*. Ostrava: Key Publishing, 2012. ISBN 978-80-7418-145-0.

KADLEC, P., MELZOCH, K. a VOLDŘICH, M. *Procesy a zařízení v potravinářství a biotechnologiích*. Ostrava: Key Publishing, 2013. ISBN 978-80-7418-163-4.

KADLEC, P., MELZOCH, K. a VOLDŘICH, M. *Co byste měli vědět o výrobě potravin?: technologie potravin*. Ostrava: Key Publishing, 2009. ISBN 978-80-7418-051-4.

KESENKAŞ, H., KARAGÖZLÜ, C., YERLİKAYA, O., ÖZER, E., AKPINAR, A. a AKBULUT, N. Physicochemical and Sensory Characteristics of Winter Yoghurt Produced from Mixtures of Cow's and Goat's Milk. *Journal of Agricultural Sciences* [online]. 2017, 23(1), 53-62 [cit. 2017-04-02]. Dostupné z: http://tarimbilimleri.agri.ankara.edu.tr/2017/23_1/6.makale.pdf.

KLECKEROVÁ, A. *Chemie potravin: laboratorní cvičení*. Brno: Mendelova univerzita v Brně, 2014. ISBN 978-80-7509-170-3.

KOPÁČEK, J. *Mléko a mléčné výrobky: jak poznáme kvalitu?*. Praha: Sdružení českých spotřebitelů, 2014. Jak poznáme kvalitu? ISBN 978-80-87719-18-3.

KUMBÁR, V. a NEDOMOVÁ, Š. Viscosity and Analytical Differences between Raw Milk and UHT Milk of Czech Cows. *Scientia Agriculturae Bohemica* [online]. 2015-01-1, 46(2) [cit. 2017-03-29]. DOI: 10.1515/sab-2015-0020. ISSN 1211-3174. Dostupné z: <http://www.degruyter.com/view/j/sab.2015.46.issue-2/sab-2015-0020/sab-2015-0020.xml>.

MACEDO Y RAMÍREZ, R. C. a VÉLEZ-RUÍZ, J. F. Propiedades Fisicoquímicas y de Flujo de un Yogur Asentado Enriquecido con Microcápsulas que Contienen Ácidos Grasos Omega 3. *Información tecnológica* [online]. 2015, 26(5), 87-96 [cit. 2017-04-25]. DOI: 10.4067/S0718-07642015000500012. ISSN 0718-0764. Dostupné z: http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-07642015000500012&lng=en&nrm=iso&tlng=en.

MATHIEU, J. P., KASTLER, A. a FLEURY, P. *Dictionnaire de physique*. 3. éd. rév. et augment. Paris: Masson, 1991. ISBN 2-225-82415-0.

MOOSAVY, M. H. a ROOSTAEE, N. Effects of seasonal and geographical variations on the physicochemical properties of commercial pasteurized milk in the northwest of Iran. *Nutrition & Food Science* [online]. 2017, 47(1), 31-41 [cit. 2017-04-15]. DOI: 10.1108/NFS-02-2016-0017. ISSN 0034-6659. Dostupné z: <http://www.emeraldinsight.com/doi/10.1108/NFS-02-2016-0017>.

NAŘÍZENÍ EVROPSKÉHO PARLAMENTU A RADY (ES) č. 853/2004 ze dne 29. dubna 2004, kterým se stanoví specifické hygienické předpisy pro potraviny živočišného původu.

NAŘÍZENÍ EVROPSKÉHO PARLAMENTU A RADY (ES) č. 1234/2007 ze dne 21. října 2007, kterým se stanoví společná organizace zemědělských trhů a zvláštní ustanovení pro některé zemědělské produkty.

NGUYEN, Q. H. a CHOI, S. B. Optimal Design Methodology of Magnetorheological Fluid Based Mechanisms. *Smart Actuation and Sensing Systems - Recent Advances and Future Challenges* [online]. InTech, 2012 [cit. 2017-03-14]. DOI: 10.5772/51078. ISBN 978-953-51-0798-9. Dostupné z: <http://www.intechopen.com/books/smart-actuation-and-sensing-systems-recent-advances-and-future-challenges/optimal-design-methodology-of-magnetorheological-fluid-based-mechanisms>.

O'DONNELL, H. J. a BUTLER, F. Time-dependent viscosity of stirred yogurt. Part II: tube flow. *Journal of Food Engineering* [online]. 2002, 51(3), 255-261 [cit. 2017-04-05]. DOI: 10.1016/S0260-8774(01)00065-6. ISSN 02608774. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0260877401000656>.

PEKER, H. a ARSLAN, S. Effect of Olive Leaf Extract on the Quality of Low Fat Apricot Yogurt. *Journal of Food Processing and Preservation* [online]. 2016 [cit. 2017-04-25]. DOI: 10.1111/jfpp.13107. ISSN 01458892. Dostupné z: <http://doi.wiley.com/10.1111/jfpp.13107>.

RITZOULIS, Ch. *Introduction to the physical chemistry of foods*. Přeložil Jonathan RHOADES. Boca Raton: CRC Press, 2013. ISBN 978-1-4665-1175-0.

SCHMITT, L., GHNASSIA, G., BIMBENET, J. J. a CUVELIER, G. Flow properties of stirred yogurt: Calculation of the pressure drop for a thixotropic fluid. *Journal of Food Engineering* [online]. 1998, 37(4), 367-388 [cit. 2017-04-25]. DOI: 10.1016/S0260-8774(98)00105-8. ISSN 02608774. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0260877498001058>.

SEVERA, L. *Tixotropní chování vybraných druhů potravin*. Habilitační práce, MZLU v Brně, 2008, 113 s.

- SEVERA, L. a NEDOMOVÁ, Š. *Fyzikální a mechanické vlastnosti potravin*. Brno: Mendelova univerzita v Brně, 2011. ISBN 978-80-7375-521-8.
- STEFFE, J. F. *Rheological methods in food process engineering*. 2nd ed. East Lansing, MI: Freeman Press, 1996. ISBN 978-0-9632036-1-8.
- STONE, H., BLEIBAUM, R. N. a THOMAS, H. A. *Sensory Evaluation Practices*. 4th ed. San Diego: Elsevier Science, 2012. ISBN 9780123820877.
- ŠUSTOVÁ, K. a LUŽOVÁ, T. *Technologie zakysaných mléčných výrobků: odborný kurz: další vzdělávání pedagogických pracovníků Středních odborných škol*. Brno: Mendelova univerzita v Brně, 2013. ISBN 978-80-7375-735-9.
- ŠUSTOVÁ, K. a SÝKORA, V. *Mlékárenské technologie*. Brno: Mendelova univerzita v Brně, 2013. ISBN 978-80-7375-704-5.
- YAZICI, F. a AKGUN, A. Effect of some protein based fat replacers on physical, chemical, textural, and sensory properties of strained yoghurt. *Journal of Food Engineering* [online]. 2004, 62(3), 245-254 [cit. 2017-04-04]. DOI: 10.1016/S0260-8774(03)00237-1. ISSN 02608774. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0260877403002371>.
- ZADRAŽIL, K. *Mlékařství: (přednášky)*. Praha: ČZU, 2002. ISBN 80-86642-15-1.

Seznam tabulek

Tabulka 1: Seznam vybraných bílých jogurtů	26
Tabulka 2: Výsledky analýzy vybraných jogurtů	36
Tabulka 3: Naměřená hustota jednotlivých vzorků	37
Tabulka 4: Viskozitní křivky - přehled	42
Tabulka 5: Tokové křivky - přehled.....	49

Seznam obrázků

Obrázek 1: Blokové schéma výroby fermentovaných mléčných (1)	14
Obrázek 2: Hustoměr.....	17
Obrázek 3: Mohrovy vážky	18
Obrázek 4: Vztlakový hustoměr	18
Obrázek 5: Pyknometr (15).....	19
Obrázek 6: Ubbelohdův (vlevo) a Englerův (vpravo) viskozimetr (15)	20
Obrázek 7: Höpplerův viskozimetr (15).....	21
Obrázek 8: Reogramy newtonské a neneutonských kapalin (26)	22
Obrázek 9: Přenosný digitální hustoměr Densito 30 PX (Merci, 2013)	28
Obrázek 10: Schématické znázornění mechanismu měření	29
Obrázek 11: Rotační viskozimetr Anton Paar DV3-P.....	30
Obrázek 12: Závislost hustoty jogurtů na obsahu tuku (zjištěný z etikety).....	38
Obrázek 13: Závislost hustoty jogurtů na obsahu tuku (laboratorně stanovený).....	38
Obrázek 14: Závislost hustoty jogurtů na obsahu sušiny	39
Obrázek 15: Viskozitní křivka vzorku č. 2	40
Obrázek 16: Viskozitní křivka vzorku č. 13	41
Obrázek 17: Viskozitní křivka vzorku č. 18	41
Obrázek 18: Závislost viskozity na obsahu tuku jogurtů	43
Obrázek 19: Závislost viskozity na obsahu sušiny jogurtů	44
Obrázek 20: Teplotní závislost viskozity	45
Obrázek 21: Časová závislost viskozity	46
Obrázek 22: Toková křivka vzorku č. 2	47
Obrázek 23: Toková křivka vzorku č. 13	47
Obrázek 24: Toková křivka vzorku č. 18	48

