

Mendelova univerzita v Brně
Agronomická fakulta
Ústav techniky a automobilové dopravy



Reologické vlastnosti bílých jogurtů
Diplomová práce

Vedoucí práce:
Ing. Vojtěch Kumbár, Ph.D.

Vypracoval:
Bc. Jana Fabianová

Brno 2016

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem práci: *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 moji 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

Zde bych ráda poděkovala vedoucímu své práce, Ing. Vojtěchu Kumbárovi, Ph.D. za cenné rady, odborné vedení a lidský přístup.

ABSTRAKT

Diplomová práce ve své teoretická části řeší problematiku mléka, sortimentu mléčných výrobků, zejména však jogurtů. Rozděluje jogurty na jednotlivé typy, popisuje jejich výrobu a chemicko-fyzikální vlastnosti. Navazuje kapitola věnovaná fyzikálním vlastnostem potravin, dále jejich reologickým vlastnostem, konkrétně pak viskozitě.

V praktické části pojednává o reologických vlastnostech konkrétních vzorků běžně dostupných jogurtů. U těchto sedmi vzorků byla stanovena hustota a hodnoty viskozity a smykového napětí v závislosti na smykové rychlosti. K sestavení tokových a viskozitních křivek byl použit Ostwald-de Waeleho model, díky němuž bylo následně rozhodnuto, o jakou kapalinu se podle Newtonova viskozitního zákona v případě jogurtu jedná. Pro vzorky byla stanovena i časová a teplotní závislost viskozity. U vybraných vzorků byla provedena analýza obsahu tuku, kterou bylo možno porovnat s údaji na obalu vzorku.

Klíčová slova: jogurt, reologie, viskozita, hustota, tokové vlastnosti, mocninový model

ABSTRACT

Diploma thesis in its theoretical part solves the problems of the milk assortment of dairy products, especially yogurt. It splits yogurt to the different types describing their production and chemical and physical properties. It is followed by a chapter devoted to the physical characteristics of foods, as well as their rheological properties, specifically viscosity.

The practical part deals with the rheological properties of specific samples of commercially available yogurt. For these seven samples was determined by the density and the viscosity and shear stress versus shear rate. To assemble the flow and viscosity curves were used Ostwald-de Waeleho model, thanks to him, it was subsequently decided what kind of fluid as, Newton viscosity law, in the case of yogurt is. For the samples was determined as well as the time and temperature dependence of viscosity. Selected samples were analyzed fat content, which can be compared with data on the packaging of the sample.

Keywords: yogurt, rheology, viscosity, density, flow properties, power model

OBSAH

1	ÚVOD.....	8
2	CÍL PRÁCE.....	9
3	LITERÁRNÍ PŘEHLED	10
3.1	Mléko	10
3.1.1	Složení mléka.....	10
3.1.2	Požadavky na mléko a ošetření mléka	11
3.2	Mléčné výrobky	11
3.2.1	Kysané mléčné výrobky.....	13
3.3	Jogurty.....	14
3.3.1	Legislativní definice jogurtu	14
3.3.2	Výroba jogurtu	15
3.3.3	Ochucené jogurty	16
3.3.4	Fyzikální a chemické vlastnosti mléka a jogurtů	18
3.3.5	Trvanlivost a skladování jogurtů.....	19
3.4	Fyzikální vlastnosti potravin	19
3.4.1	Rozdělení tekutin	20
3.4.2	Rozdělení kapalin podle závislosti na čase	22
3.4.3	Reologické vlastnosti	25
3.4.4	Viskozita	25
3.4.5	Hustota	28
3.4.6	Tekutost.....	29
4	PRAKTICKÉ MĚŘENÍ	30
4.1	Materiál a metodika.....	30
4.1.1	Měření hustoty	30
4.1.2	Měření viskozity.....	31
4.1.3	Teplotní závislost viskozity.....	33
4.1.4	Časová závislost viskozity	33

4.1.5	Analýza vybraných vzorků jogurtů	33
4.2	Výsledky a diskuze	35
4.2.1	Hustota	35
4.2.2	Viskozitní křivky	37
4.2.3	Tokové křivky	38
4.2.4	Teplotní závislost viskozity	39
4.2.5	Časová závislost viskozity	40
4.2.6	Analýza jogurtů	40
4.2.7	Závislost hustoty na obsahu tuku	41
4.2.8	Závislost viskozity na obsahu tuku	41
5	ZÁVĚR	43
6	POUŽITÁ LITERATURA	44

*„ ...forget about the yoghurt,
the new thing now is Djoghurt”*

Ylvis

1 ÚVOD

Jogurty patří mezi velmi oblíbené pokrmy, navíc je jim přisuzován pozitivní vliv na lidské zdraví a psychiku. Jsou považovány za podstatný zdroj bílkovin, jejich konzumaci doporučují výživoví poradci i reklamy.

Fyzikální vlastnosti jogurtů nejsou tím, co by běžného konzumenta zajímalo, ten se soustředí na barvu, chuť, obal, značku apod., ale neuvědomuje si, že například i hustota ovlivňuje jeho senzorické vnímání, tedy i výběr produktu. Právě fyzikální vlastnosti jogurtu, jako je viskozita, hustota a smykové napětí, jsou předmětem následující práce.

Na jogurt nahlížíme jako na jakoukoliv kapalinu, jejíž vlastnosti kvantifikujeme pomocí moderní techniky a na základě takto získaných dat můžeme danou kapalinu charakterizovat po fyzikální stránce.

Při výrobě jogurtu jsou reologické vlastnosti (deformační a tokové) důležitým faktorem, který spolu s jinými musí technologové brát v potaz.

2 CÍL PRÁCE

Cílem této diplomové práce je v literární rešerši pohovořit o mléčných výrobcích, zvláště o jogurtech. Definovat jogurt, popsat jeho výrobu, trvanlivost a způsoby skladování. Dále se teoretická část zaměřuje na reologické vlastnosti, jako je hustota a viskozita a způsoby měření těchto vlastností.

V praktické části je cílem zjistit reologické vlastnosti vhodně zvolených vzorků jogurtů. Tedy změřit jejich hustotu, viskozitu a smykové napětí. Následně také změřit časovou a teplotní závislost těchto veličin. Vycházeli jsme z předpokladu, že jogurt je neneutonská kapalina. Dalším logickým krokem tedy bylo graficky vyhodnotit naměřené hodnoty, zjistit indexy toku každého vzorku a na základě těchto dat rozhodnout, zda se jogurty chovají jako kapaliny pseudoplastické nebo dilatantní. Z údajů časové závislosti viskozity rozhodnout o tixotropním nebo reopektickém chování jogurtu. Dále všechny získané výsledky porovnat s odbornou literaturou.

3 LITERÁRNÍ PŘEHLED

3.1 Mléko

Mléko je považováno za téměř dokonalou přírodní potravinu. Poskytuje tělu všechny důležité živiny. Od proteinů, laktózy (mléčný cukr), přes esenciální mastné kyseliny až po minerály a vitamíny. To vše se v mléce nachází ve vyváženém poměru. Výživoví odborníci se shodují, že mléko a mléčné výrobky jsou významnou složkou vyvážené stravy.

Z fyziologického hlediska je mléko sekret mléčné žlázy samic savců určený k uspokojení nutričních potřeb novorozenců.

Z chemického hlediska je mléko komplexní tekutina, ve které bylo nalezeno více než 100000 samostatných molekul a chemických entit, jejichž hladiny varíují v závislosti na živočišném druhu. Fyzikální chemie na mléko nahlíží jako na bílou neprůhlednou heterogenní tekutinu, ve které jsou složky zadržovány v disperzních fázích emulze, koloidní suspenze, nebo roztoku. (CHANDAN a O'RELL, 2006)

Z hlediska legislativy je mlékem - mléko podle předpisu Evropských společenství Nařízení Rady (ES) č. 1234/2007 splňující požadavky zvláštních právních předpisů Zákon č. 166/1999 Sb., Vyhláška č. 203/2003 Sb. a ošetřené podle zvláštních právních předpisů Zákon č. 166/1999 Sb., Vyhláška č. 203/2003 Sb. (77/2003 Sb.)

3.1.1 Složení mléka

Mléko v průměru obsahuje téměř 87 % hmotnostních vody. 8,9 % tvoří tukuprostá sušina a zbylá 4 % tvoří tuk. Tukuprostá sušina se skládá zejména z laktózy (4,6 celkových hmotnostních procent), bílkovin (3,3 %) a minerálních látek (0,7 %). V proteinech mléka, ať už syrovátkových nebo kaseinových, jsou rovněž obsaženy všechny esenciální aminokyseliny. Dusíkaté látky obecně určují základní fyzikální a chemické vlastnosti mléka. Z nebílkovinných látek dusíkaté povahy zde převažuje močovina. Mléčný tuk se skládá převážně z mono-, di- a triacylglycerolů, dále volných mastných kyselin, fosfolipidů apod. Mléčné lipidy se v mléce nacházejí většinou ve formě tukových globulí o středním průměru 2,6 μm . Minerálními látkami zastoupenými v mléce jsou vápník, hořčík, sodík, fosfor, měď, mangan a zinek. Vyskytují se jednak v mléčném séru v roztoku nebo v koloidní formě, jednak také vázané na některé

organické složky mléka. Z vitamínů jsou přítomny jak rozpustné v tucích, tak rozpustné ve vodě. (PUNIYA, 2016; WALSRÁ, 2006; ŠUSTOVÁ a LUŽOVÁ, 2013)

3.1.2 Požadavky na mléko a ošetření mléka

Mléko pro výrobu zakysaných mléčných výrobků nesmí obsahovat žádné inhibiční látky. Důležitá je hygiena dojení a uchovávání mléka po nadojení. Žádoucí je nízký počet mikroorganismů, které by mohly nepříznivě ovlivňovat čisté mlékařské kultury do mléka záměrně přidávané a v konečném důsledku i samotné vlastnosti mléčného výrobku. Samozřejmostí je požadavek na normální složení mléka a jeho vlastnosti.

Před dalším zpracováním mléka je třeba jej napřed mlékárensky ošetřit. A to z důvodu případné mikrobiální kontaminace mléka. Prvním krokem je mechanické čištění mléka od hrubších nečistot na filtrech a následně se odstraňují jemnější nečistoty na odstředivkách. Dalším krokem je tepelné ošetření za účelem zajištění zdravotní nezávadnosti mléka, vytvoření ideálních patřičných podmínek pro následnou výrobu mléčných výrobků a prodloužení trvanlivosti mléka. V rámci tepelného ošetření je základem pasterace (ohřev do 100 °C) a sterilace (ohřev nad 100 °C) mléka. S vyšší použité teploty také úměrně roste trvanlivost. V případě pasterace je trvanlivost prosloužena řádově na dny, u sterilace na týdny. Po pasteraci/sterilaci následuje odstředování mléka v bubnu odstředivky, kdy lehčí část mléka obsahující tuk (smetana) setrvává u středu bubnu a těžší mléčná plazma je naopak odstředivými silami tlačena k plášti bubnu. Posledním krokem je homogenizace tuku, kdy je cílem roztržení tukových globulí na menší, pokud možno stejných rozměrů. Homogenizátor je konstruován jako vysokotlaké pístové čerpadlo, kdy je mléko tlakem 5 – 25 MPa protlačováno šterbinou homogenizační hlavy. Působením velkých smykových sil jsou tukové kuličky protaženy ve vlákno, které se téměř okamžitě mění ve shluk drobných globulí a za homogenizační hlavou se vlivem poklesu tlaku, rychlosti a v důsledku působení vířivého pohybu rozpadnou a rozptýlí se do mléka. (ŠUSTOVÁ a LUŽOVÁ, 2013; KADLEC et al., 2012)

3.2 Mléčné výrobky

Mléčné výrobky lze rozdělit do několika skupin. Mezi tekuté mléčné výrobky patří konzumní mléka. Ty se dále dělí podle způsobu ošetření a s tím související trvanlivosti na pasterovaná, mléko s prodlouženou trvanlivostí a trvanlivé mléko. Dále také

konzumní smetany, které se podle obsahu tuku a účelu dělí na dvě skupiny a to tzv. sladké smetany s obsahem tuku 10 – 18 %. Tyto jsou pasterované a většinou určeny k přímé konzumaci nebo se jedná o sterilované smetany do kávy. Druhou skupinu tvoří smetany ke šlehání, kde je obsah tuku až dvojnásobně větší.

Další skupinu mléčných výrobků tvoří máslo a další výrobky z mléčného tuku, včetně výrobku dříve označovaného jako pomazánkové máslo. Za máslo je považován výrobek, který obsahuje alespoň 80 % mléčného tuku. Máslo je emulze mléčné plazmy v mléčném tuku, vzniká stloukáním nebo koncentrováním smetany a následným oddělením od podmáslí. Tradiční pomazánkové (dříve pomazánkové máslo) obsahuje obvykle 35 % tuku a vyrábí se z pasterované smetany s přídavkem sušeného odstředěného mléka, následnou fermentací a výsledná konzistence je ještě upravena přídavkem hydrokoloidu (bramborového škrobu).

K hlavním mlékárenským produktům patří bezesporu velká skupina sýrů a tvarohů a s nimi souvisí hlavní mlékárenské produkty druhého stupně jako tavené sýry, tvarohové speciality a olomoucké tvarůžky. Dále pak mražené krémy, zahuštěná mléka a sušená mléka.

Tvaroh je definován jako nezrající sýr získávaný kyselým srážením mléka, které převládá nad srážením sladkým (syřidlem). Do mléka se přidává smetanová kultura a malé množství syřidla. Podle použité technologie výroby a obsahu tuku v sušině se tvarohy liší konzistencí a také způsobem použití od měkkého tvarohu ($\leq 5,0$ % tuku v sušině) přes jemný ($\leq 15,0$ % tuku v sušině) po tučný (≥ 38 % tuku v sušině). Tvrdý tvaroh na strouhání má vyšší sušinu, ale stejný obsah tuku jako měkký tvaroh. Tvaroh může být ošetřen tzv. termizací. Termotvarohy mají údržnost až 18 dní (dvojnásobek oproti netermizovaným tvarohům) a také větší výtěžnost, protože se denaturované syrovátkové bílkoviny srážejí spolu s kaseinem.

Základní rozdělení sýru je následující: přírodní, tavené a syrovátkové sýry. Pokud je k výrobě sýra použité jiné než kravské mléko, musí být původ mléka uveden na obalu (ovčí, kozí, buvolí). Sýry jsou povětšinou vyráběny z pasterovaného mléka, pouze některé mají výjimku a mohou být vyráběny z mléka syrového. Takové sýry jsou typické dlouhou dobou zrání. Přírodní sýry se dále mohou dělit na nezrající a zrající. Nezrající rozlišujeme pouze dva a to čerstvé a terminované. Ty se konzumují ihned po výrobě a mají kratší dobu trvanlivosti. Zrající sýry dělíme podle způsobu zrání na sýry zrající pod mazem, v celé hmotě, s plísní na povrchu, s plísní uvnitř hmoty,

dvouplísňové a bílé sýry v solném nálevu. Tavené sýry jsou záležitostí poslední doby (začátek 20. stol.) a Česká republika se drží na předních světových příčkách v konzumaci tavených sýrů. Výchozí surovinou pro jejich výrobu jsou přírodní sýry, které po přidavku tavicích solí a po tepelném ošetření (80 – 120 °C) získají homogenní konzistenci. K výrobě syrovátkových sýrů slouží syrovátka nebo směs syrovátky s mlékem. Díky kombinaci okyselení a záhřevu (80 – 85 °C) se vysrážejí bílkoviny syrovátky a tato sraženina se nechá okapat. Příkladem takto vyrobeného sýru je Ricotta. Dalším způsobem výroby syrovátkových sýrů je zahušťování syrovátky. Takto se vyrábějí syrovátkové sýry, například Mysost, v severských zemích. Tyto sýry v porovnání s Ricottou obsahují více laktózy a v důsledku toho mají i tmavší až hnědou barvu.

(KADLEC et al., 2012; DOSTÁLOVÁ et al., 2014; KOPÁČEK, 2014)

3.2.1 Kysané mléčné výrobky

Zakysané nebo též fermentované mléčné výrobky původně vznikaly spontánním kvašením působením mikroorganismů přítomných v syrovém mléce. Tyto mikroorganismy se liší oblast od oblasti a díky tomu také mléko získávalo po této fermentaci různé vlastnosti (konzistenční, chuťové) a díky tomu dnes máme širokou škálu mléčných výrobků. S postupem času se jednotlivé charakteristické mléčné výrobky začaly vyrábět v mlékárnách a s tím je spojeno i používání ušlechtilých mléčných bakterií a kvasinek. Tyto čisté mlékařské kultury produkují specifické enzymy, které rozkládají laktózu, bílkoviny a ojediněle i tuk. V důsledku působení těchto enzymů nastává proces mléčného a v některých případech i alkoholového kvašení a současně vznikají nové látky typické pro konkrétní výrobek a s tím se mění konzistence, chuť, vůně i aroma. Čisté mlékařské kultury obsahují buď mezofilní, nebo termofilní bakterie mléčného kysání, popřípadě kvasinky způsobující alkoholové kvašení.

Podle typu čisté mlékařské kultury rozlišujeme sortiment fermentovaných mléčných výrobků. Základní mezofilní kulturou je tzv. smetanová. Je tvořena bakteriemi rodu *Leuconostoc* a *Lactococcus*. Slouží k výrobě kysaných mlék, kysaného podmáslí, kysané smetany a dalších zahuštěných kysaných mléčných výrobků. Fermentace probíhá při teplotách 21 – 23 °C. Pokud jde o termofilní kultury, zde jde o jogurtovou

kulturu, o které blíže pojednává následující kapitola a acidofilní kultura. Ta je tvořena *Lactobacillus acidophilus* a smetanovým zákysem. Zde mléko prokysává při teplotě 38 – 40 °C. Specifikem je potom smíšená kefirová kultura mléčných bakterií a kvasinek, které v průběhu fermentace probíhající při 18 – 20 °C produkují etanol a oxid uhličitý. (ŠUSTOVÁ a LUŽOVÁ, 2013)

Fermentací laktózy vzniká kyselina mléčná. V důsledku tvorby této kyseliny dochází k poklesu pH a tím pádem k vysrážení kaseinových bílkovin, které tvoří gelovou strukturu fermentovaných výrobků (jogurt). Toto výrazné okyselení výrobku v kombinaci s kvalitní surovinou a vysokou úrovní hygieny v celém výrobním procesu zajišťuje prodloužení údržnosti na dva až tři týdny. S údržností souvisí i skutečnost, že fermentované výrobky nesmí být po fermentaci tepelně ošetřeny, což by jejich trvanlivost samozřejmě ještě prodloužilo. V legislativě je jasně definováno množství a složení mikroflóry přítomné v mléčném výrobku po celou dobu použitelnosti. (DOSTÁLOVÁ et al., 2014)

3.3 Jogurty

Jogurty spadají do kategorie zakysaných mléčných výrobků. U těchto mléčných výrobků byla část mléčného cukru (laktózy) mikrobiální fermentací přeměněna na kyselinu mléčnou, načež v důsledku zvýšení kyselosti došlo k vysrážení bílkovin. S fermentací je spojeno také prodloužení trvanlivosti mléčného výrobku, tento celý proces bychom tedy mohli nazvat biologickou konzervací.

Jogurt má svůj původ v oblasti balkánského poloostrova. Proto je také tyčinka zodpovědná za fermentaci mléka na jogurt nazvána *Lactobacillus bulgaricus*. Až následně bylo objeveno, že se na této přeměně spolupodílí další mikroorganismus, konkrétně *Streptococcus thermophilus*. Turecký výraz yogurt označuje zkvašené mléko. (KOPÁČEK, 2014; VRÁNOVÁ 2012; DOSTÁLOVÁ et al., 2014)

3.3.1 Legislativní definice jogurtu

Na základě těchto objevených mikroorganismů je možné jogurt definovat i z hlediska legislativy. Za jogurt se považuje kysaný mléčný výrobek získaný kysáním mléka, smetany, podmásli nebo jejich směsi pomocí mikroorganismů uvedených v příloze č. 2

tabulce 4. Dále podle legislativy musí být na konci doby trvanlivosti v jogurtu přítomná živá mikroflóra a to v počtu nejméně 10^7 /g. Jogurtová mikroflóra je také definovaná a to jako protosymbiotická směs *Streptococcus salivarius subsp. thermophilus* a *Lactobacillus delbrueckii subsp. bulgaricus*.

U jogurtových výrobků mohou být kromě základní jogurtové kultury přidávány i kmeny produkující kyselinu mléčnou, které tím pomáhají dotvářet specifickou chuťovou nebo texturní charakteristiku výrobku. Musí však být zachován optimální poměr obou základních kmenů jogurtové kultury. (KOPÁČEK, 2014; 77/2003 Sb.)

Naopak jogurtem není a nesmí tak být označen výrobek z bílého jogurtu, do něž byl přidán škrob nebo jiná zahušňovací látka. Stejně tak jogurtem není výrobek ošetřený termizací (tepelný záhřev hotového jogurtu na teplotu do 70 °C). (DOSTÁLOVÁ et. al, 2014)

Tabulka č.1: Fyzikální, chemické a mikrobiologické požadavky na jednotlivé mléčné výrobky

Druh výrobku	Obsah tuku v % hmotnosti	Obsah tukuprosté sušiny v % hmotnosti nejméně
Jogurt bílý smetanový	více než 10,0 včetně	
Jogurt bílý	více než 3,0 včetně	
Jogurt bílý se sníženým obsahem tuku	méně než 3,0	8,2
Jogurt bílý nízkotučný nebo odtučněný	méně než 0,5 včetně	

(77/2003 Sb.)

3.3.2 Výroba jogurtu

Jak již bylo zmíněno, jogurt je odedávna vyráběným fermentovaným mléčným výrobkem. Moderní verze tohoto tradičního přírodního jogurtu s jeho ostrou, kyselou chutí je stále velmi populární v mnoha částech světa, a je většinou konzumován ve formě gelu a označován jako „set yogurt“. Nicméně, poptávka je i po variantě tzv. „stirred yogurt“, který má spíše polotekutou konzistenci. (GRIFFITHS, 2010)

Po úpravě mléka mlékárenským ošetřením je důležitým výrobním krokem standardizace. V tomto procesu je mléko upraveno na požadovanou tučnost a upraven obsah sušiny. Jak název samotný napovídá, je tento postup významný pro zajištění standardních výrobků, tedy jogurtů o stejných vlastnostech. Požadované tučnosti je dosaženo přidávkem buď smetany (jiný než mléčný tuk není možné do jogurtu přidat),

nebo odstředěným mlékem. Standardní tukuprosté sušiny je docíleno použitím sušeného odstředěného mléka, syrovátky, kondenzovaným mlékem nebo sušených mléčných směsí. Zvýšení sušiny mléka pro výrobu jogurtů alespoň na hodnotu 14 % (zvláště důležité je procentické zastoupení kaseinových a syrovátkových proteinů) je zodpovědné za vytvoření pevného jogurtového koagula a významně se tím redukuje náchylnost k oddělování syrovátky. Obsah tuku se pohybuje mezi hodnotami 0,1 – 10 %, nejčastěji se ovšem setkáváme s jogurty o tučnosti 0,5 – 3,5 %. Po standardizaci mléka je dalším krokem homogenizace. Jde o stejný princip jako u homogenizace mléka. Zde hraje důležitou roli jako prostředek zabráňující vystávání tuku na povrchu jogurtu a tím zlepšuje sensorický dojem vzhledem k jemnější konzistenci. Po homogenizaci přichází na řadu pasterace také nazývaná jogurtový záhřev, kdy mléko pasterujeme teplotou 85 – 95 °C s výdrží 5 minut. Je možno použít i UHT (ultra-high temperature) záhřev, v jehož důsledku je konzistence jogurtu pevnější a nedochází k uvolňování syrovátky. Po tepelném záhřevu následuje rychlé zchlazení na teplotu fermentace, tedy dle následujícího použitého postupu asi 35 – 45 °C.

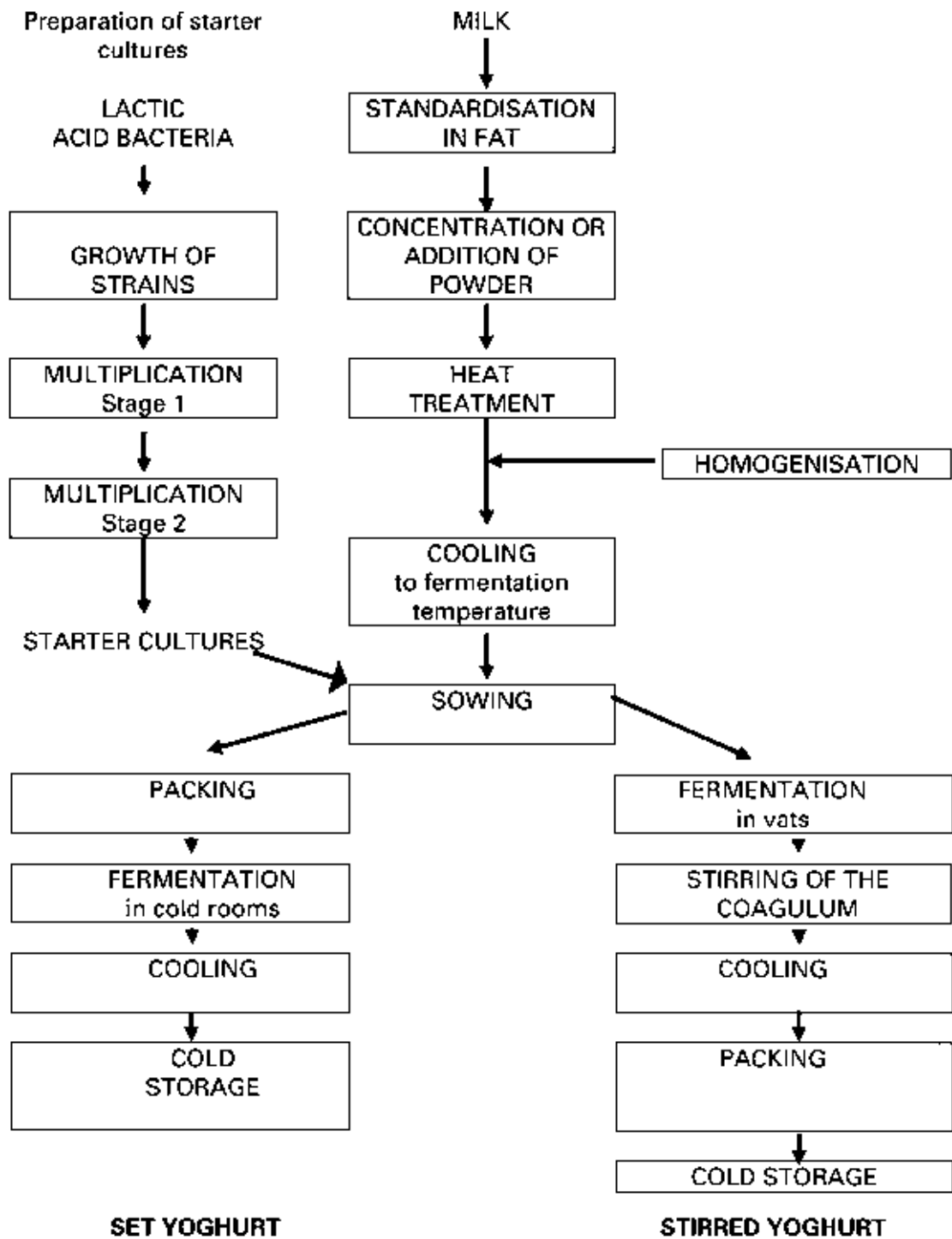
(ŠUSTOVÁ a LUŽOVÁ, 2013; GRIFFITHS, 2010)

Na začátku této kapitoly je naznačeno, že rozlišujeme dva typy jogurtů. Jogurty vyráběné takříkajíc tradičním způsobem zvané Set Yogurts, kdy fermentace probíhá přímo ve spotřebitelském obalu a jogurty s rozmíchaným koagulátem neboli Stirred Yogurts. V druhém případě probíhá fermentace v tanku, koagulát je promíchán a po vychlazení je teprve plněn do spotřebitelských obalů. (KADLEC et al., 2012)

Výrobky fermentované ve spotřebitelském obalu mívají zpravidla pevnější konzistenci oproti jogurtům vyráběným v tanku, kde je struktura koagulátu před plněním do obalu cíleně narušena (stirred). Na pevnost gelu má vliv samozřejmě také obsah tukuprosté sušiny. U nízkotučných jogurtů je někdy pro dosažení lepší konzistence použito například škrobu. (DOSTÁLOVÁ et al., 2014)

3.3.3 Ochucené jogurty

Ochucené fermentované mléčné výrobky mohou obsahovat maximálně 30 % ochucující složky. Jogurt s ovocnou složkou (původně na povrchu jogurtu) je český patent z roku 1933, konkrétně tento nápad vzešel z Radlické mlékárny. Marmeláda na povrchu jogurtu měla jednak sensorický efekt, jednak bránila rozvoji plísní.



Obrázek 1: Schéma výroby jogurtu

(:http://www.nzdl.org/gsd/mod?e=d-00000-00-off-0fnl2%2e2-00-0-0-10-0-0-0direct-10-4-0-11-11-en-50-20-about-00-0-1-00-0-4-0-0-11-10-0utfZz-8-00&a=d&c=fnl2.2&cl=CL1.5&d=HASH42a2de12455398e80d1e7c)

3.3.4 Fyzikální a chemické vlastnosti mléka a jogurtů

Přestože mléko a mléčné produkty se ve svých fyzikálních vlastnostech liší, jsou po stránce strukturálních i chemických složek totožné. (DICKINSON, 1995)

3.3.4.1 Bod mrznutí

Jednou z fyzikálních charakteristik mléka je bod mrznutí. Bod zmrznutí je definován jako setrvání tzv. plata na teplotní křivce průběhu mrznutí mléka po krátkodobém uvolnění (zvýšení teploty) tepla, tzv. krystalizačního, při mechanické iniciaci mrznutí za podmínek kryoskopické metody. Je jedním z ukazatelů technologické neporušenosti syrového mléka. Správně by se měl pohybovat v teplotním rozmezí -0.52 až -0.57 °C. Porušení mléka vodou jeho hodnotu snižuje. (mofychem.upol.cz/KA8/Mlekoamlecnevyrobky.docx)

3.3.4.2 Kyselost

Kyselost se vyjadřuje jako záporný dekadický logaritmus koncentrace vodíkových (oxoniových) iontů. Měří se kolorimetricky nebo potenciometricky. Hodnota pH kravského mléka je $6,5 - 6,7$. U mléka a mléčných výrobků se častěji vyjadřuje ve stupník Soxhlet-Henkelových (°SH). V tom případě se kyselost mléka pohybuje mezi $6,5 - 7,5$ °SH. Stanovuje se titrací (nazývána titrační kyselost) 100 ml vzorku mléka 0,25M roztokem NaOH na indikátor fenolftalein do růžového zbarvení. 1°SH pak odpovídá 1 ml NaOH potřebného k neutralizaci vzorku mléka.

Fermentací laktózy kyselost výrobku stoupá (snižuje se hodnota pH). pH jogurtu by nemělo překročit hodnotu 4,5 z důvodu možné kontaminace bakteriemi rodu *Listeria*. Kyselost jogurtu nejčastěji variuje v rozpětí hodnot $3,7 - 4,5$, kdy záleží na chuti konzumenta, jestli je pro něj přijatelnější jogurt kyselejší nebo méně kyselý. (ROBINSON, 2008) Titrační kyselost jogurtu je mnohonásobně vyšší než titrační kyselost mléka, řádově téměř desetkrát ($34 - 58$ °SH). (ŠULCEROVÁ et.al, 2014; mofychem.upol.cz/KA8/Mlekoamlecnevyrobky.docx)

3.3.4.3 Hustota

Hustota kravského mléka se pohybuje v rozmezí $1013 - 1042$ kg·m⁻³. Stanovuje se asi 3 hodiny po nadojení mléka. Hustota závisí na chemickém složení mléka, přičemž bílkoviny, soli a sacharidy hustotu zvyšují, naopak tuk hustotu snižuje. Pokud je hustota

mléka nižší než $1028 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$, je na místě podezření z naředění mléka vodou. (mofychem.upol.cz)

Konzistence jogurtů záleží na složení kultury, době a teplotě fermentace a způsobu výroby. Nejtuzší jsou jogurty vyráběné klasickou (Set) metodou, kdy fermentace probíhá přímo ve spotřebitelském obalu. (DOSTÁLOVÁ et al., 2014)

3.3.5 Trvanlivost a skladování jogurtů

Vzhledem k tomu, že jogurt je čerstvý mléčný výrobek, je na obalu značen datem použitelnosti. Datum použitelnosti se uvádí slovy: *Spotřebujte do*, následováno datem v pořadí den, měsíc. S přihlédnutím k dnešním možnostem strojního vybavení, technologiím, ale také surovinám, hygieně a sanitaci, se trvanlivost jogurtů pohybuje v rozmezí čtyř až pěti týdnů od data výroby. Ovšem pouze za adekvátních podmínek skladování, přepravy a distribuce. Řeč je zde o dodržení chladírenského řetězce až do doby spotřeby. Pokud jsou všechny podmínky splněny, jogurtová kultura zůstává vitální a jogurt nepodléhá zkáze.

Označení datem použitelnosti musí být ještě doplněno údaji o podmínkách skladování. V případě jogurtů je kritériem teplota a to konkrétně v rozsahu $2 - 5 \text{ }^\circ\text{C}$. V případě vyšších teplot mohou jogurty překysávat, vykazovat senzorické vady, zejména v chuti (hořkost), ale po určité době se na povrchu vytvoří povlak způsobený nárůstem křísových bakterií. Ovšem z hlediska senzoričky při konzumaci jogurtu o teplotě $0 - 7 \text{ }^\circ\text{C}$ jsou jeho chuťové vlastnosti málo výrazné, teprve při teplotě $10 - 12 \text{ }^\circ\text{C}$ jsou chuťové vlastnosti jogurtu plně rozvinuty a to za udržení jeho reologických vlastností na požadované úrovni. (ŠUSTOVÁ a LUŽOVÁ, 2013; KOPÁČEK, 2014)

3.4 Fyzikální vlastnosti potravin

Strukturální a mechanické vlastnosti potravin se projevují také funkčními a senzorickými vlastnostmi, které konzument rozpoznává zrakem, sluchem a hmatem. (SAHU, 2014) Mechanické a strukturální vlastnosti potravin jsou souhrnně hodnoceny jako textura. Zde se odborníci shodují, že pokud jde o hodnocení textury, hlavním jsou zde lidské vjemy, nikoliv měření pomocí přístrojů.

Jednou z vlastností potravin je jejich deformovatelnost. Zde záleží na povaze materiálu, protože rozložení vnitřních napětí v materiálu nemusí vždy být okamžitě homogenní a vyrovnání napětí může být postupné. Tím pádem můžeme být svědky dokonale pružných a vratných deformací, ale také pokračujících deformací jako například tečení. S tím souvisí i dění po odstranění působící síly, kdy mohou nastat dva rozdílné případy. V prvním z nich, dojde k trvalé změně tvaru, v druhém dochází k pomalému dobíhání deformace až do momentu, kdy jsou vnitřní a vnější napětí v rovnováze. Třetím případem je kombinace dvou předchozích, tedy dojde částečně k vratné a částečně k trvalé deformaci.

Měření mechanických vlastností potravin, které souvisejí se senzoryckými parametry textury (žvýkatelnost, tvrdost, pružnost) přístroje, které doposud sloužily ke zkoumání vlastností kovů a plastů, ovšem pro potraviny jsou uzpůsobeny v menším měřítku. Na trhu jsou k dispozici přístroje, které napodobují deformaci při senzoryckém hodnocení (stlačovací, trhací, stříhací zařízení).

U měření konzistence tekutých potravin se v potravinářské praxi používají provozní metody. K tomu slouží jednoduché přístroje jako výtokové pohárky, kdy doba výtoku je měřítkem konzistence; nebo Bostwickův konzistometr kdy se jedná o korýtko s hradítkem, které se na jedné straně hradítka naplní měřenou kapalinou a po vytažení hradítka se zkoumá, kam kapalina doteče za stanovený čas. (KADLEC et al., 2013)

3.4.1 Rozdělení tekutin

Pojem tekutina zahrnuje jak vzdušniny, tak kapaliny. Jejich základní charakteristikou je tekutost, tedy skutečnost, že nemají vlastní tvar, což je způsobeno absencí krystalické mřížky a malými mezimolekulárními vazebnými silami.

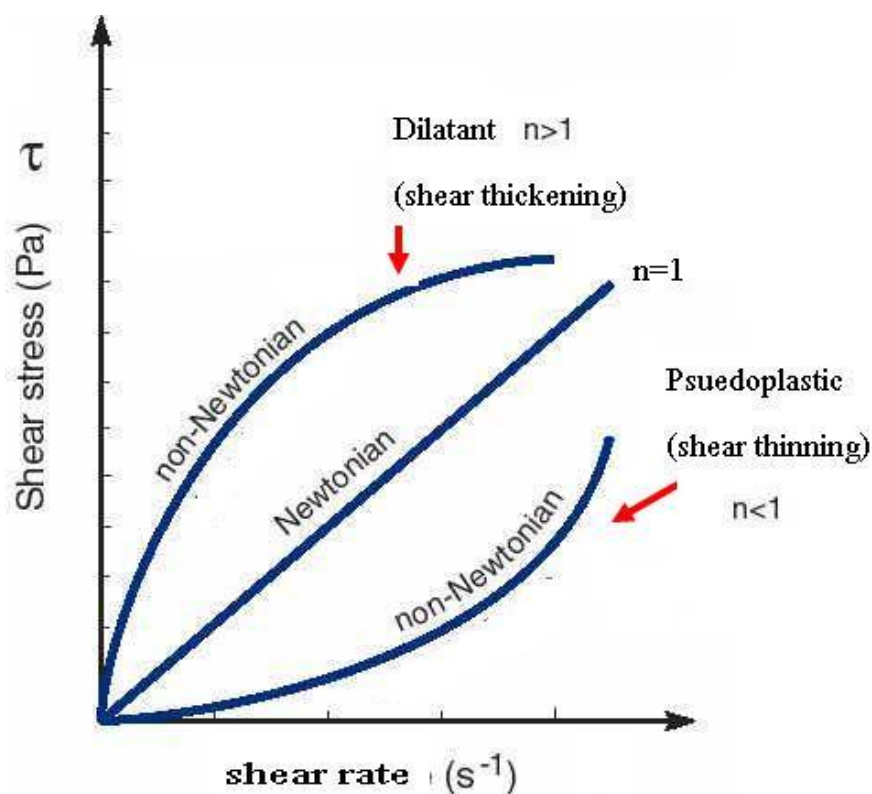
Obecně lze tekutiny rozdělit na ideální a skutečné. Zde je rozdíl mezi ideální kapalinou, která je nestlačitelná bez vnitřního tření; a ideálním plynem, který je také bez vnitřního tření ovšem dokonale stlačitelný.

Vzhledem k tématu této práce se budeme dále zaměřovat pouze na kapaliny. V běžné praxi se setkáváme se skutečnými kapalinami, které jsou více či méně stlačitelné a vykazují vnitřní tření. (DVOŘÁK, 2010) Od pevných látek se liší velkou pohyblivostí částic, jimiž jsou tvořeny. Molekuly těchto látek nejsou pevně vázány na rovnovážné polohy, což má za následek menší odpor, který kladou tekutiny při změně

tvaru oproti pevným látkám. Při změně objemu ale jejich poddajnost klesá. Kapaliny jsou látky málo stlačitelné, nerozpínavé a vytvářejí volnou hladinu, jejíž normála má v klidovém stavu směr tíhového zrychlení (za předpokladu, že o jejím tvaru rozhodují pouze tíhové síly). (VYBÍRAL, 2003)

Kapaliny rozdělujeme na newtonské a neneutonské. Newtonské kapaliny jsou homogenní a tvořeny malými molekulami. (WICHTERLE, 2006) Viskozita newtonských kapalin je závislá pouze na teplotě a tlaku. Smykové, neboli tečné napětí je přímo úměrně závislé na gradientu smykové rychlosti, takže graficky znázorněno, je to lineární funkce procházející počátkem souřadného systému. (viz. Obr.2) (GRODA, 2002) Jinými slovy, newtonské kapaliny se v oblasti laminárního proudění (pohyb částic ve vzájemně rovnoběžných vrstvách) řídí Newtonovým zákonem viskozity, kdy je dynamická viskozita (poměr tečného napětí a gradientu rychlosti) konstantní. (DVOŘÁK, 2010; HOLUBOVÁ, 2014) Příkladem newtonské kapaliny je mléko nebo voda. Naopak neneutonskou kapalinou jsou třeba natěračské barvy nebo (NORTON, 2011; HOLUBOVÁ, 2014)

Neneutonské kapaliny nepodléhají Newtonovu zákonu viskozity a jejich dynamická viskozita není konstantní. (DVOŘÁK, 2010; BUREŠOVÁ A LORENCOVÁ, 2013) Příkladem neneutonské mohou být polymerní roztoky a taveniny, dále pak disperzní systémy jako suspenze, pasty, emulze, krémy či pěny. (WICHTERLE, 2006)



Obrázek 2: Reogram newtonské a nenewtonské kapaliny
 (<http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/0456/pseudoplastic-fluid->)

3.4.2 Rozdělení kapalin podle závislosti na čase

Nenewtonské kapaliny jsou stejně jako newtonské charakterizovány mezí tekutosti (τ_0), koeficientem konzistence (k) a indexem toku (n). U jednotlivých typů nenewtonských kapalin tyto parametry mohou nabývat různých hodnot a právě na základě toho je od sebe můžeme odlišit. Základní dělení nenewtonských kapalin je právě na kapaliny s časově nezávislými reologickými vlastnostmi a kapaliny s reologickými vlastnostmi časově závislými. Protože u kapalin časově nezávislých se hovoří o vztahu smykové rychlosti a smykového napětí a u kapalin časově závislých zase o závislosti viskozity na čase (při konstantní smykové rychlosti), je tedy možné aby jedna kapalina měla zároveň reologické vlastnosti obou, například spinelový kal se chová jako pseudoplastická reopektická kapalina. (ALCANTARA a VANIN, 1995; GRODA, 2002)

3.4.2.1 Nenewtonské kapaliny časově nezávislé

Jsou charakterizovány neměnností reologických vlastností se vzrůstající dobou působení tečného (smykového) napětí. Konkrétně zde hovoříme o třech typech.

Prvním je kapalina pseudoplastická, jejíž viskozita při rostoucím gradientu rychlosti (smyková rychlost) klesá. Popisují se mocninným vztahem:

$$\tau = k \cdot \gamma^n$$

přičemž $\tau_0 = 0$ a $n < 1$ a $\tau = [\text{Pa}]$

V praxi je pseudoplastičita brána jako pozitivní vlastnost, neboť se příznivě projevuje na výši energetických nákladů vynaložených na míchání této kapaliny a její dopravu potrubím.

Dalším typem je binghamská kapalina. Jsou to kapaliny s plastickou složkou deformace, u nichž nedochází k toku, pokud není překročena mez tekutosti (určitá hodnota smykového napětí). Tuto kapalinu lze popsat následovně:

$$\tau = \tau_0 + k \cdot \gamma \quad [\text{Pa}]$$

Graficky je tento vztah znázorněn jako přímka, která nevychází z počátku. Rozdíl mezi počátkem a výchozím bodem této přímky je právě ona mez tekutosti. Ve zkratce, pokud na binghamskou kapalinu působí smykové napětí $\tau \leq \tau_0$, smyková rychlost je rovna nule a tekutina se chová jako pevné těleso. Pokud $\tau \geq \tau_0$, smyková rychlost není nadále nulová a tato kapalina se chová jako newtonská.

Posledním typem je kapalina dilatantní, jejíž viskozita při zvyšujícím se gradientu rychlosti stoupá. Je popsána vztahem:

$$\tau = k \cdot \gamma^n \quad [\text{Pa}]$$

kdy $\tau_0 = 0$ a $n > 1$

Její chování je tedy diametrálně odlišné od pseudoplastické kapaliny. S tím samozřejmě souvisí jednak i ona energetická náročnost, jednak i celková technologická náročnost při práci s tímto typem kapaliny. Proto je výhodnější se dilatanci vyhnout, pokud to látka umožňuje (například změnou složení). S dilatantní kapalinou se setkáváme všude tam, kde se využívá fluidní vrstvy (sušárny, dopravní žlaby). Příkladem je směs vody a písku. (GRODA, 2002; HOLUBOVÁ, 2014)

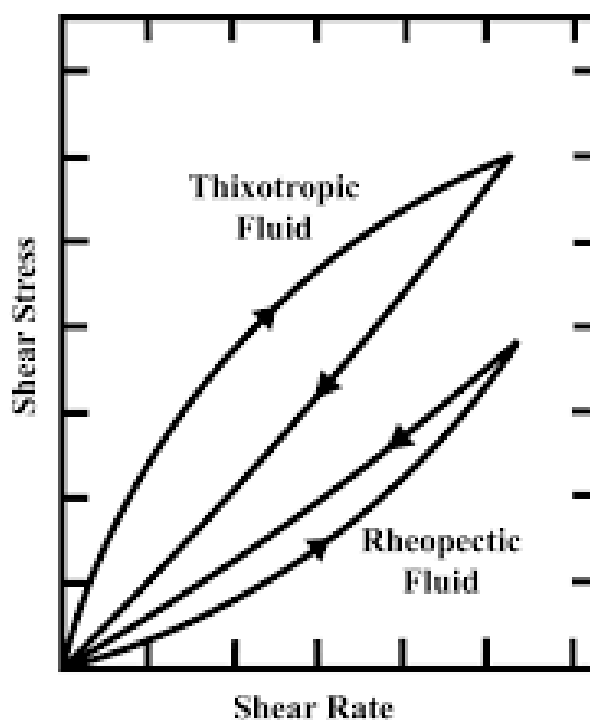
3.4.2.2 *Nenewtonské kapaliny časově závislé*

U těchto kapalin se zdánlivá viskozita mění v závislosti na době, po kterou je kapalina podrobena deformaci. Zde tedy mohou existovat pouze dva typy kapalin a to ty, jejichž viskozita v závislosti a čase buď stoupá, nebo klesá.

V prvním případě se jedná o kapalinu reopektickou. Pokud je reopektická kapalina vystavena smykovému namáhání (míchání), její viskozita je na počátku měření nízká, avšak s postupem času stoupá. U těchto kapalin s rostoucí dobou působení smykové rychlosti roste i smykové napětí. Příkladem reopektické kapaliny je sádra smíšená s vodou. Pokud je v klidu, zůstává dlouho vláčná, pokud se začne míchat, tuhne rychleji.

Druhý případ charakterizuje tixotropní kapalinu, kdy při stálé smykové rychlosti se s postupem času snižuje její smykové napětí. Nebo jinak řečeno, její viskozita je zpočátku vysoká a s rostoucí dobou míchání klesá, proto se také tyto látky někdy nazývají řídnoucí.

U obou těchto typů kapalin se po přerušení namáhání (míchání) po nějaké době viskozita vrátí na původní hodnotu. To se ovšem neděje po stejné křivce, jako když jsme kapalinou míchali a viskozita stoupala/klesala. Tento rozdíl se graficky projevuje jako hysterezní smyčka, přičemž u tixotropní kapaliny probíhá tato smyčka ve směru hodinových ručiček, u reopektických naopak proti směru. (viz Obr.3) (GRODA, 2002; BUREŠOVÁ a LORENCOVÁ, 2013; HOLUBOVÁ, 2015)



Obrázek 3: Hysterezní smyčka tixotropní a reopektické kapaliny

(CHHABRA, 2010)

3.4.3 Reologické vlastnosti

Pojem reologie lze vysvětlit jako vědu zabývající se deformací a tokem hmoty. Zkoumá vzájemné vztahy vnější síly a vnitřní reakce látky, dále v kombinaci s deformací a časem rychlost deformace). Tento vědní obor je aplikovatelný na jakýkoliv materiál od těch pevných až po plynné. (WALTERS, 1989; ADEBOWALE, 2016; HOLUBOVÁ, 2014)

Znalost reologických vlastností potravin, případně surovin, je v potravinářství velmi důležitá. Mechanické a reologické vlastnosti mají nepopiratelný vliv na celou škálu procesů probíhajících při zpracování a výrobě potravin. Ať už jde o míchání, čerpání, sedimentaci, filtraci a další.

Cílem reologických měření (reometrie) je objektivizovat metody reologických vlastností. V oblasti potravin byly tyto metody čistě subjektivní (senzorické hodnocení). (KADLEC et al., 2013)

3.4.4 Viskozita

Pokud se jedná o nestlačitelné newtonské kapaliny, pak je viskozita (η) chápána poněkud obecněji jako materiálová konstanta v Newtonově viskozitním zákonu. (WEIN, 1996) Jinak lze viskozitu vysvětlit jako vlastnost reálné tekutiny způsobující nenulové smykové napětí mezi dvěma sousedními vrstvami tekutiny, které se pohybují rozdílnou rychlostí. (MECHLOVÁ a KOŠŤÁL, 1999) Při laminárním proudění reálné tekutinami vzniká mezi těmito dvěma vrstvami tečné (smykové) napětí (τ), kterým rychlejší vrstva snaží urychlit vrstvu pomalejší a naopak.

(http://old.vscht.cz/met/stranky/vyuka/labcv/labor/res_stanoveni_viskozity_roztoku/teorie.htm)

Viskozita kapaliny je stavová vlastnost, která nezávisí na tlaku, ale závisí na složení látky a teplotě. Charakterizuje se veličinou zvanou dynamická viskozita (η), jejíž jednotkou je [Pa·s]. Je definována vztahem:

$$\eta = \frac{\tau}{\dot{\gamma}}$$

kde τ znamená tečné (smykové) napětí a $\dot{\gamma}$ smykovou rychlost. (WICHTERLE, 2006; MECHLOVÁ a KOŠŤÁL, 1999)

Newtonské kapaliny definuje Newtonův zákon, který říká, že tečné napětí (τ) je lineárně úměrné gradientu rychlosti $\frac{du}{dy}$, přičemž dynamická viskozita (η) je konstantou úměrnosti (směrnicí přímky). Hodnota gradientu rychlosti se nazývá smyková rychlost (γ). (DVOŘÁK, 2010; WICHTERLE, 2006)

$$\tau = \eta \frac{du}{dy} [\text{Pa}]$$

Takže pro newtonovské kapaliny je dynamická viskozita konstantní, u neneutronských kapalin konstantní není. (MECHLOVÁ a KOŠŤÁL, 1999)

Vztah mezi smykovým napětím a smykovou rychlostí popisuje mocninový neboli Ostwald-de Waeleho model.

$$\tau = K\gamma^n [\text{Pa}]$$

(WICHTERLE, 2006; KADLEC et al., 2013; BUREŠOVÁ a LORENCOVÁ, 2013)

Kromě dynamické viskozity rozeznáváme ještě další. Kinematická viskozita je definována poměrem dynamické viskozity a hustoty dané kapaliny. Její jednotkou je $[\text{m}^2/\text{s}]$

$$\nu = \frac{\eta}{\rho_k}$$

(SEVERA a NEDOMOVÁ, 2011;

http://old.vscht.cz/met/stranky/vyuka/labcv/labor/res_stanoveni_viskozity_roztoku/teorit.htm)

Zdánlivá viskozita je proměnnou veličinou. Není tedy látkovým parametrem (není konstantou), ale lze ji i tak použít k ohodnocení neneutronských kapalin, pokud je uváděna její závislost na smykovém napětí. Podobně se používá i diferenciální viskozita:

$$\eta_{\Delta} = \frac{d\tau}{d\gamma}$$

(JANALÍK, 2010)

3.4.4.1 Měření viskozity

K měření viskozitních parametrů látek existuje několik typů přístrojů. Hlavními jsou viskozimetry pádové, průtokové, rotační a speciální kapilární. Avšak pouze poslední dva jmenované typy jsou schopny postihnout i tokovou křivku nenewtonských kapalin.

V případě pádového viskozimetru se měří rychlost pádu kuličky kapalinou, jejíž viskozitu chceme zjistit. Příkladem pádového viskozimetru je Stokesův nebo Höpplerův viskozimetr. (SEVERA a NEDOMOVÁ, 2011) V případě Höpplerova viskozimetru se hustota vypočítá ze vztahu:

$$\eta = k_1 \cdot (\rho_k - \rho_m) \cdot \tau$$

kde k_1 je konstanta viskozimetru určená výrobcem, ρ_k je hustota kuličky, ρ_m je hustota zkoumaného média a τ je doba průchodu kuličky dráhou. (DVOŘÁK, 2010)

Průtokové neboli kapilární viskozimetry fungují na základě Hagen-Poiseuilově zákona při laminárním proudění v trubici o kruhovém průřezu (kapilára) a známém průměru a délce. Viskozita měřené kapaliny se zjistí srovnáním s jinou kapalinou o známé viskozitě (v_0) na základě vztahu:

$$v = \left(\frac{t}{t_0}\right) \cdot v_0$$

t a t_0 jsou doby výtoku zkoumané referenční kapaliny. Konkrétními průtokovými viskozimetry jsou například Ostwaldův nebo Ubbelohdův.

U rotačních viskozimetrů se měří smyk v materiálu mezi dvěma plochami. Vycházejí z Couetteova proudění měrné kapaliny v mezikruží mezi dvěma sousými válci, přičemž jeden z nich vykonává rotační pohyb. Jeden z válců se uvede v pohyb konstantní úhlovou rychlostí (ω) a zapisuje se moment síly M , který při tom působí na vnitřní válec. Viskozita se následně vypočítá z rovnice:

$$\eta = A \frac{M}{\omega}$$

kde A je přístrojová konstanta.

Rotační viskozimetry jsou vhodné pro měření i nenewtonských kapalin, kde se zjišťuje toková křivka neboli reogram a viskozimetr se také díky tomu nazývá reometr. (DVOŘÁK, 2010; SEVERA a NEDOMOVÁ, 2011)

Dalším typem může být vibrační viskozimetr, kde se využívá tlumící schopnost kapaliny jako důsledek její viskozity. (JANALÍK, 2010)

3.4.5 Hustota

Hustota je definována jako podíl hmotnosti (m) a objemu (V) homogenní látky, která je obsažena v tomto daném objemu. (MECHLOVÁ a KOŠŤÁL, 1999)

$$\rho = \frac{m}{V}$$

Kde ρ je hustota. Základní jednotkou je $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$. Hustota vody při běžné pokojové teplotě je asi $1000 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$, což je v porovnání s hustotou vzduchu téměř tisíckrát více ($\rho_{\text{vz}} = 1,3 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$). (MATHIEU, 1991). Hustoty plynů se poměrně výrazně mění s tlakem, zatímco hustota kapaliny zůstává téměř neměnná, což souvisí se stlačitelností jednotlivých tekutin. Hustota plynů i kapalin se zvyšujícím se tlakem roste, u plynů je tento růst mnohem markantnější. Hustota naopak klesá společně s teplotou. Tento jev je způsobován tepelnou roztažností, kdy se při konstantní hmotnosti zvětší úměrně s teplotou i objem. Výjimkou je voda, u které je známá tzv. teplotní anomálie vody, kdy voda má nejmenší objem (a tím pádem největší hustotu) při teplotě $3,98 \text{ }^\circ\text{C}$.

3.4.5.1 Měření hustoty

Hustotu je možno měřit několika způsoby a přístroji. Nejjednodušším je ponorný hustoměr, kdy se odečte hodnota podle ponoru hustoměru v kapalině. Funguje na principu vyrovnání vztlakové síly kapaliny a tíhové síly hustoměru. Na stejném principu fungují i Mohrovy váhy, kde je měrné těleso zavěšené na delším z ramen vah zcela ponořené do kapaliny a nadlehčováno vztlakovou silou. Váhy se vyrovnají pomocí závaží na kratším rameni. Hustota se potom vypočítá podle hmotnosti závaží a jejich polohy na rameni. Na tomto principu Archimédova zákona funguje i vztlakový hustoměr s elektrickým výstupem. Plovák hustoměru je pevně spojen s feromagnetickým jádrem, které se posouvá v cívce. S měnicí se vztlakovou silou se výstupu, který je potom úměrný hustotě měřené kapaliny. Hustotu lze stanovovat také pyknometricky; tedy pomocí pyknometru, což je nádoba o známém objemu se zábrusným závěrem, ve kterém je kapilára, která slouží k odtoku přebytečné kapaliny. Po naplnění a osušení se pyknometr zvaží a hustota kapaliny se vypočte podle vztahu:

$$\rho = \frac{m_2 - m_1}{V}$$

kde m_2 je hmotnost pyknometru naplněného kapalinou, m_1 je hmotnost prázdného pyknometru a V je objem pyknometru.

Další měření je možné pomocí snímačů, které fungují na principu vážení protékající kapaliny, pak to mohou být snímače vibrační, ultrazvukové a jiné.

(HALLIDAY, 2013; DVOŘÁK, 2010)

3.4.6 Tekutost

Jak již bylo řečeno, kapaliny a plyny lze postihnout souhrnným názvem tekutiny. Kapaliny jsou látky o více méně neměnném objemu, na rozdíl od plynů, které vyplňují celý prostor a nevytvářejí hladinu. Kapaliny, stejně jako plyny jsou dále charakteristické tvarovou nestálostí. (VYBÍRAL, 2003)

Tekutost je schopnost látek téct, neboli schopnost molekul látky se vůči sobě volně přeskupovat. Vyjádřením míry tekutosti je potom viskozita. (<https://cs.wikipedia.org/w/index.php?title=Tekutost&oldid=8024623>) Tekutost je definovaná jako převrácená hodnota dynamické viskozity.

$$\varphi = \frac{1}{\eta}$$

kde φ představuje tekutost $[(\text{Pa}\cdot\text{s})^{-1}]$ a η je dynamická viskozita $[\text{Pa}\cdot\text{s}]$. (KUMBÁR et al., 2015) Plyny a kapaliny se také od sebe liší rozdílnou tekutostí. Protože vzájemná pohyblivost molekul je u plynů vyšší než u kapalin, je i tekutost u plynů větší. Tekutost látek je omezována vnitřním třením, které se projeví jako odporová síla působící ve směru proti pohybu částic tekutiny. (VYBÍRAL, 2003)

4 PRAKTICKÉ MĚŘENÍ

4.1 Materiál a metodika

Materiálem pro měření hustoty, viskozity a smykového napětí sloužily běžně dostupné jogurty zakoupené v jednom a tom stejném obchodě a to za předpokladu, že měly všechny vzorky stejné skladovací podmínky po dobu uložení ve skladu obchodu i v prostorách samotné prodejny.

Snahou bylo získat jogurty s co nejpodobnějším datem spotřeby a širokým rozpětím obsahu tuku (0,3 – 10,2 g/100g).

Tabulka 1: Vzorky vybraných jogurtů

vzorek	výrobce	označení	datum spotřeby
1	Milko	Řecký jogurt bílý	29.9.2015
2	Olma	Klasik bílý jogurt	6.10.2015
3	Zott Natura	Bílý jogurt	9.10.2015
4	Mlékárna Kunín	Selský jogurt	22.9.2015
5	Elinas	Bílý jogurt řeckého typu	28.9.2015
6	Tesco	Jogurt bílý smetanový	28.9.2015
7	Milko	Řecký jogurt bílý	22.9.2015

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 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.

Technické údaje použitého přístroje Densito 30 PX:

Měřicí rozsah hustoty: 0 až 2 g·cm⁻³

Měřicí rozsah teploty: 0 až +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

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 jsou propojeny 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 [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. K měření vzorků jogurtů byl viskozimetr osazen adaptérem pro měření malých objemů vzorků a standardizovaným vřetenem TR9.

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 *mNm*

DV – 3P R: 0,7 *mNm*

DV – 3P H: 5,8 *mNm*

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

Hodnoty viskozity uvedené v tabulce č. 2 byly naměřeny při konstantní smykové rychlosti 10 s^{-1} .

4.1.3 Teplotní závislost viskozity

Pomocí viskozimetru Anton-Paar, termostatu a teploměru jsme u tří vzorků naměřili teplotní závislost viskozity a to při konstantní smykové rychlosti $20,4 \text{ s}^{-1}$. Konkrétními měřeními jogurtů byly vzorky 1, 4 a 5. Jogurt jsme nejprve zchladili na teplotu $4 \text{ }^\circ\text{C}$ a změřili viskozitu. Po té byl vzorek umístěn do termostatu a byla u něj postupně zvyšována teplota, která byla kontrolována teploměrem vloženým přímo do jogurtu. Viskozita byla zaznamenávána vždy při zvýšení teploty o $2 \text{ }^\circ\text{C}$. Měření probíhalo v teplotním rozpětí $4 - 30 \text{ }^\circ\text{C}$.

4.1.4 Časová závislost viskozity

Pro vzorky 1, 3 a 6 jsme naměřili časovou závislost viskozity. To znamená, že jsme měřili hodnoty viskozity při konstantní smykové rychlosti $20,4 \text{ s}^{-1}$ po dobu 33 minut a 20 sekund. Viskozita byla zaznamenávána po 5 sekundách.

4.1.5 Analýza vybraných vzorků jogurtů

U vybraných vzorků jogurtů (4 a 5) tedy konkrétně u Bílého jogurtu řeckého typu (Elinas) a Jogurtu bílého smetanového (Tesco) nechali změřit hodnoty pH, titrační kyselosti, obsahu tuku a sušiny za účelem porovnání s hodnotami uvedenými na obalu výrobku.

4.1.5.1 Stanovení titrační kyselosti

Princip: základní metodou hodnocení u většiny mléčných výrobků je spotřeba odměrného roztoku NaOH ($0,25 \text{ mol} \cdot \text{l}^{-1}$) na neutralizaci kyselých reagujících látek na indikátor fenolftalein ve 100 ml (resp. na 100 g) vzorku.

Činidla: NaOH, odměrný roztok ($0,25 \text{ mol} \cdot \text{l}^{-1}$)

Fenolftalein, 2 % roztok v ethanolu

Síran kobaltnatý, 5 % vodný roztok $\text{CoSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$

Pracovní postup: u tekutých vzorků se odměřuje 50 ml, u jogurtů apod. se navažuje 50 g s přesností na 0,1 g (u výrobků s vysokou kyselostí jen 25 g). K důkladně rozmíchanému vzorku se přidá pipetou 1 ml roztoku fenolftaleinu, zamíchá se a titruje se do slabě růžového zabarvení nebo zabarvení srovnávacího roztoku (k 50 ml vzorku se přidá 1 ml síranu kobaltnatého). Zabavení musí vydržet 1 minutu.

- **dle ČSN 570530**

4.1.5.2 Stanovení sušiny

5.6.1. Referenční metoda

Princip: podstatou je sušení do konstantní hmotnosti při 102 ± 2 °C. Použije se postupu popsaného u mléka v modifikaci s pískem, avšak suší se po 30 minutovém předsoušení uzančně po přesně stanovenou dobu 3 hodiny bez dalšího dosoušení.

Postup práce: do předem vysušené a zvážené váženky s pískem (s odečtem 0,1 mg) se naváží 3 ml vzorku (u vzorků s nižší sušinou 5 ml), pak se suší při 102 ± 2 °C a po vychlazení v exikátoru se zváží.

- **dle ČSN 570530**

4.1.5.3 Stanovení pH

pH individuálních vzorků bylo měřeno pH metrem WTW Microprocessor pH Meter pH 95

- **dle ČSN 570530**

4.1.5.4 Stanovení obsahu tuku acidobutyrometrickou metodou

Princip: 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.

Postup práce: do butyrometru s 10 ml Gerberovy kyseliny se navažuje vzorek diferenčně např. injekční stříkačkou v množství 8 – 11 g a přidá se tolik vody, aby

objem vzorku + vody byl 11 ml. U jogurtů, které mají vyšší obsah sušiny se nejprve na kyselinu navrství 3 ml vody tak, aby se s ní nesmíchala, teprve pak se navažuje 5 - 6 g jogurtu. (Pozor, aby se nesmočilo hrdlo!) Další postup po doplnění objemu vodou na 11 ml je stejný, jako je popsáno u mléka. Výsledek se vyjadřuje v hmotnostních %.

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

$$x = \frac{c \times 11,33}{a - b}$$

a - hmotnost stříkačky se vzorkem v g

b - hmotnost stříkačky po vyprázdnění vzorku do butyrometru

c - obsah tukového sloupce odečtený na škále butyrometru

(ŠUSTOVÁ, 2015)

4.2 Výsledky a diskuze

4.2.1 Hustota

Tabulka 2: Vzorky měřených jogurtů – fyzikální vlastnosti

vzorek	hustota (kg/m ³)	viskozita (při 10s ⁻¹ mPa•s)	tuk (g/100g)	sacharidy (g/100g)	bílkoviny (g/100g)	sůl (g/100g)	energetická hodnota (kJ)
1	1033,2	3797	0,3	3,8	9,8	0,07	242
2	1031,8	2869	2,7	4,5	4,9	0,13	260
3	1028,9	2253	3,0	4,1	4,9	0,18	278
4	1030,6	2341	3,7	4,2	4,0	0,10	276
5	1026,7	1557	9,4	4,0	3,3	0,10	472
6	1018,1	1681	10,2	3,8	3,5	0,10	502
7	1026,8	4746	5,3	4,6	8,4	0,09	417

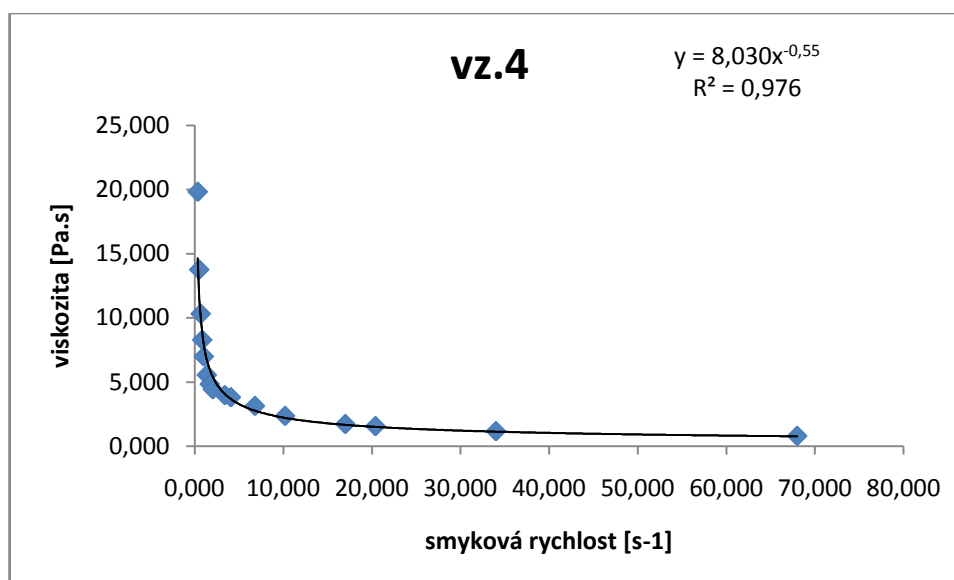


Obrázek 4: Hustota vzorků jogurtů

U všech vzorků jogurtů byla změřena hustota. Z tabulky i grafu je zřejmé, že nejnižší hustotu má vzorek č. 6, tedy Tesco Jogurt bílý smetanový. Naopak nejvyšší hustotu má Milko Řecký jogurt bílý (vzorek č. 1).

4.2.2 Viskozitní křivky

Vzhledem k tomu, že všechny naměřené vzorky jogurtů mají obdobnou křivku, uvádíme jako příklad jednu a to konkrétně vzorek č.4.



Obrázek 5: Viskozitní křivka vzorku jogurtu č.4

U všech vzorků jogurtu byl koeficient determinace R^2 vyšší nebo roven 0,928, což ukazuje téměř dokonalé proložení křivky.

Tabulka 3: Shrnutí viskozitních křivek

Vzorek	koeficient konzistence k [Pa s^n]	Index toku n [-]	Koeficient determinace R^2
1	15,65	0,41	0,957
2	9,604	0,47	0,928
3	6,855	0,42	0,966
4	8,030	0,45	0,976
5	6,366	0,44	0,946
6	7,094	0,39	0,946
7	19,33	0,46	0,962

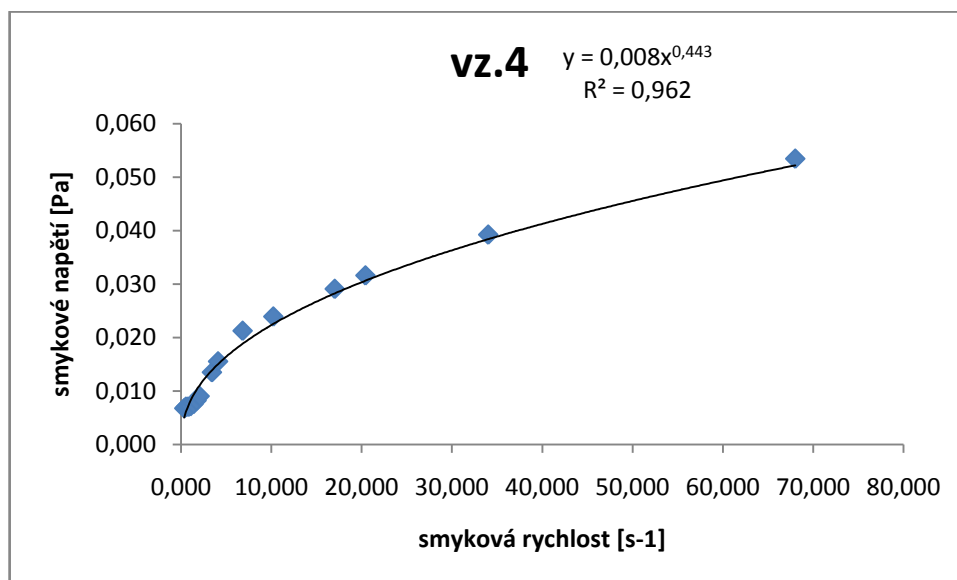
K vyhodnocení chování jogurtu jako kapaliny byl použit mocninový model:

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

(GAUCHE et al., 2009)

4.2.3 Tokové křivky

Stejně jako v případě viskozitních křivek, i zde uvádíme pouze jednu jakožto příklad za všechny.



Obrázek 6: Toková křivka vzorku jogurtu č.4

Tabulka 4: Shrnutí tokových křivek

Vzorek	koeficient konzistence k [Pas ⁿ]	Index toku n [-]	Koeficient determinace R^2
1	0,015	0,402	0,91
2	0,009	0,468	0,908
3	0,006	0,418	0,937
4	0,008	0,443	0,962
5	0,006	0,436	0,913
6	0,007	0,387	0,877
7	0,019	0,459	0,948

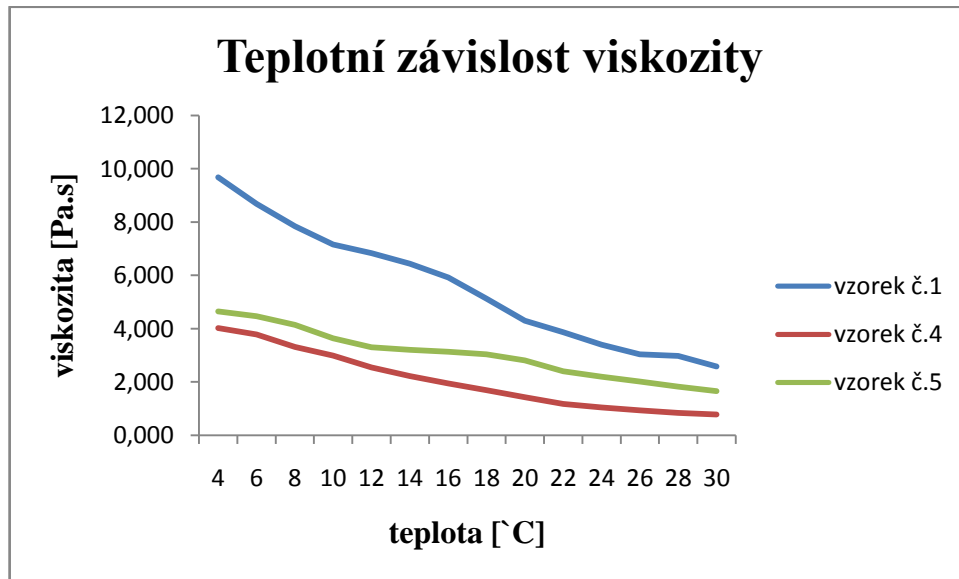
Požijeme-li k porovnání tokových i viskozitních křivek Ostwald-de Waeleho mocninový model, který definuje vztah mezi smykovým napětím a smykovou (deformační rychlostí) následovně:

$$\tau = k \cdot \gamma^n$$

Pak můžeme na základě indexu toku (n) a koeficientu konzistence (k) rozhodnout, o jaký druh kapaliny se jedná.

Pro newtonskou kapalinu platí $k = \eta$ a $n = 1$. Pokud $n \neq 1$, jedná se o neneutonskou kapalinu. Zde je třeba ještě rozhodnout, o jakou neneutonskou kapalinu jde. V za podmínek $n > 1$ se jedná o látku dilatantní. V našem případě je ovšem $n < 1$, proto je zřejmé, že jogurt je kapalina pseudoplastická. (KADLEC et al., 2013)

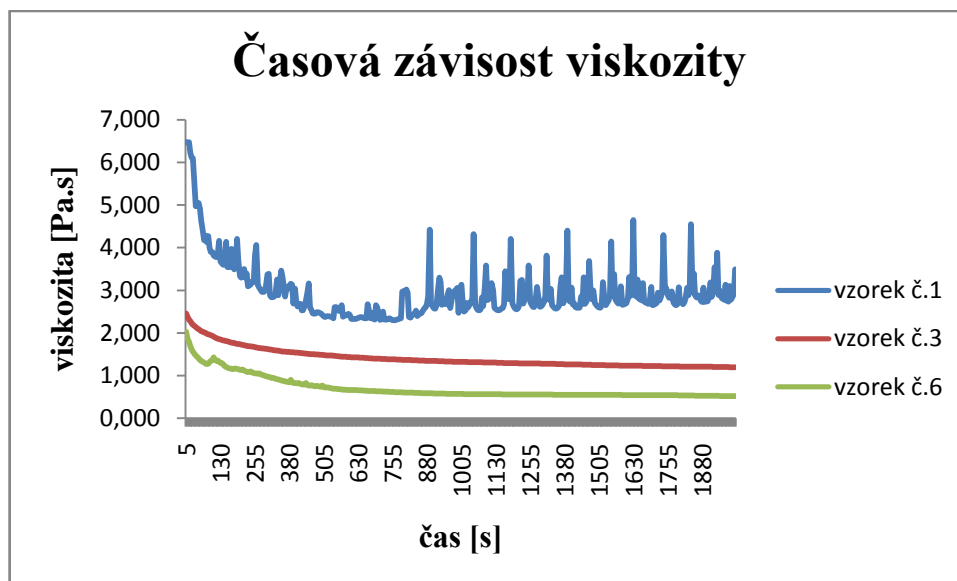
4.2.4 Teplotní závislost viskozity



Obrázek 7: Teplotní závislost viskozity

Z grafu je vidět, že viskozita se stoupající teplotou klesá, což souhlasí s tvrzením, že viskozita látek s rostoucí teplotou klesá (HOLUBOVÁ, 2014)

4.2.5 Časová závislost viskozity



Obrázek 8: Časová závislost viskozity

Z grafu vyplývá, že viskozita se vzrůstajícím časem míchání klesá. U vzorků 3 a 6 klesá po celou dobu měření pozvolna, naproti tomu u vzorku č. 1 dochází k výkyvům viskozity a po počátečním klesání viskozita v druhé polovině měření viskozita dokonce mírně stoupá. Obecně můžeme říct, že se jogurty chovají jako tixotropní kapaliny. (CRUZ, 2013) Tixotropní chování vykazují také kečupy. (ŠTERN et al., 2010)

4.2.6 Analýza jogurtů

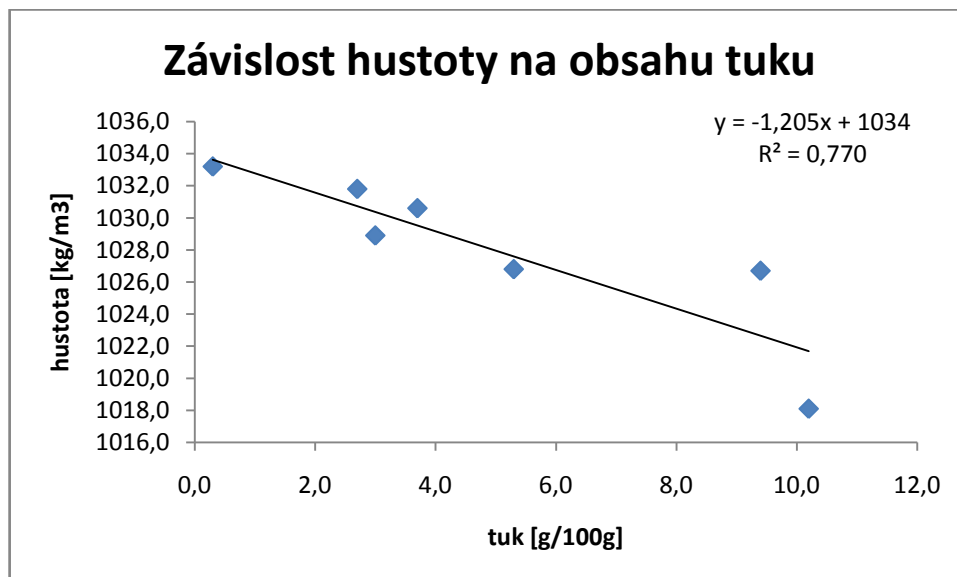
Tabulka 5: Výsledky analýzy vybraných jogurtů

vzorek	pH	°SH	tuk (%)	sušina (%)
4	4,17	41,98	3,97	12,7923
5	4,14	39,47	10,22	17,8441

Porovnáme-li hodnoty tuku z obalu jogurtu a hodnoty naměřené námi, zjistíme, že v obou případech byla skutečná hodnota tuku vyšší, než je uváděno. U vzorku č. 4 je na etiketě hodnota tuku 3,7 g/100g tedy 3,7 hmotnostních procent, zatímco acidobutyrometrickou metodou jsme stanovili obsah tuku na 3,97 %, což je 0,27% rozdíl. U vzorku č. 5 je rozdíl mezi uváděnou a reálnou hodnotou ještě markantnější a to 0,82 %.

Naměřené hodnoty pH korespondují s hodnotami získanými C. GAUCHE a kolektivitu (2009) při měření pH jogurtu vyráběného pouze z mléka.

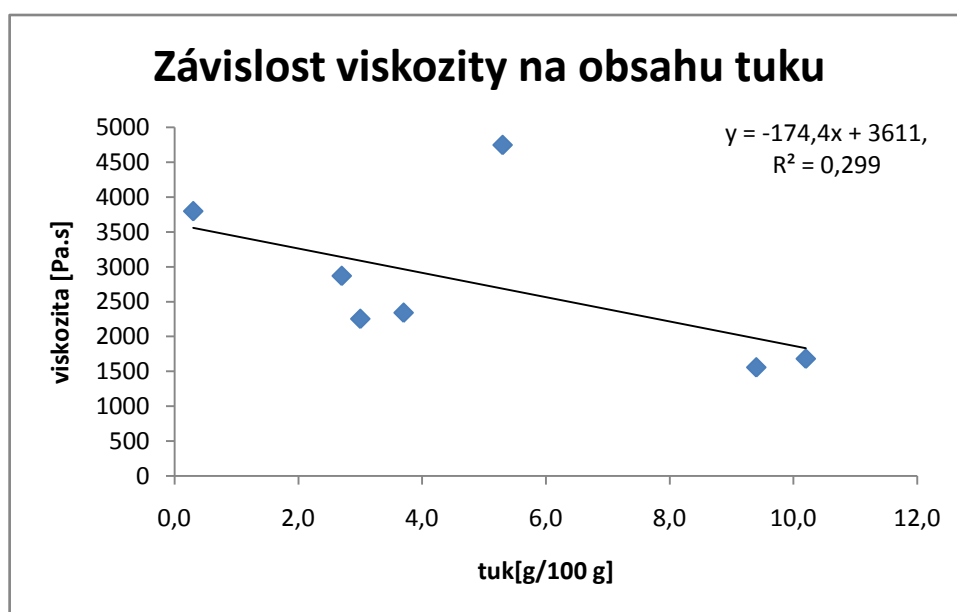
4.2.7 Závislost hustoty na obsahu tuku



Obrázek 9: Závislost hustoty na obsahu tuku

Z grafu jasně vyplývá, že s rostoucí tučností klesá hustota jogurtu. Je to stejný případ jako u mléka, kde obsah minerálů a bílkovin hustotu mléka zvyšuje, zatímco s rostoucím obsahem tuku se snižuje hustota mléka. (NAVRÁTILOVÁ, 2012)

4.2.8 Závislost viskozity na obsahu tuku



Obrázek 10: Závislost viskozity na obsahu tuku

Tabulka 6: Obsah tuku a index toku vzorků jogurtu

Vzorek	tuk (g/100g)	Index toku n [-]
1	0,3	0,41
2	2,7	0,47
3	3,0	0,42
4	3,7	0,45
5	9,4	0,44
6	10,2	0,39
7	5,3	0,46

Některé zdroje hovoří o vzrůstající tendenci viskozity spolu se zvyšujícím se obsahem tuku. (SIMUANG, 2005; TABILO-MUNIZAGA a BARBOSA-CÁNOVAS, 2005) Zde se ovšem výzkum týkal kokosového mléka a salátových dresingů. U vzorků mléka o různé tučnosti byla prokázána přímá úměra mezi obsahem tuku a relativní viskozitou. (PHILLIPS, 1995) Relativní viskozita je definována vztahem:

$$\eta_r = \frac{\eta}{\eta_0}$$

kde je η viskozita disperzní soustavy [Pa.s], η_0 viskozita disperzního prostředí [Pa.s]. (http://old.vscht.cz/met/stranky/vyuka/labcv/labor/res_stanoveni_viskozity_roztoku/teorie.htm)

SHAKER (2000) uvádí, že v průběhu fermentace mléka na jogurt byla měřena viskozita u vzorků s různým obsahem tuku, přičemž bylo zjištěno, že nejnižší viskozita byla naměřena u vzorku s nejnižším obsahem tuku a naopak nejvyšší u nejtučnějšího vzorku. V článku autoři vyslovili domněnku, že vyšší viskozita u vzorku s vyšším obsahem tuku může být způsobena celkovým zvýšením sušiny.

V našem případě se nepodařilo u 7 vzorků jogurtu prokázat vztah mezi obsahem tuku v jogurtu a jeho viskozitou. Jak je na první pohled patrné, křivka má klesající tendenci, navíc proložení lineární funkce není přesné ($R^2 = 0,299$), takže na základě tohoto grafu není možné dojít k jasnému závěru.

5 ZÁVĚR

Z literární rešerše vyplynulo, že bílé jogurty jsou jasně legislativně definovanou komoditou a jejich fyzikální vlastnosti (kyselost, hustota) jsou silně ovlivněny chemickým složením, stejně jako je tomu u mléka. Dále je v teoretické části definována reologie a konkrétní vlastnosti, které pod tento pojem spadají a popsány způsoby jejich měření.

Na základě praktického měření jsme dospěli k závěru, že bílý jogurt je typickým představitelem neneutonské pseudoplastické kapaliny, což plyne z viskozitních a tokových křivek. Z grafu časové závislosti viskozity je zřejmé, že jogurt vykazuje tixotropní chování, tedy že jeho viskozita při konstantní smykové rychlosti s postupem času klesá. Bohužel se nepodařilo prokázat přímou souvislost mezi obsahem tuku a viskozitou. Ze vzorků sedmi měřených jogurtů jsme získali ne příliš prokazatelnou grafickou závislost, jejíž křivka je sice lineární, jak jsme předpokládali, ovšem s klesající tendencí. Z výsledků provedené analýzy jogurtů je patrné, že obsah tuku stanovený u dvou vzorků a následně porovnaný s hodnotami uvedenými na obalu výrobku je u obou vzorků vyšší řádově o desetiny procenta (0,27 a 0,82 %).

Celkově tedy lze výsledky literární i praktické části shrnout do tvrzení, že bílý jogurt se chová jako pseudoplastická tixotropní kapalina a je tedy třeba s touto skutečností počítat v technologických operacích při jeho výrobě.

6 POUŽITÁ LITERATURA

ADEBOWALE A. A. . Food rheology Dr. A.A. Adebowale. *Foodelphi*. [online]. 28.3.2016 [cit. 2016-03-30]. Dostupné z: <http://www.foodelphi.com/food-rheology-dr-a-a-adebowale/>

ALCANTARA, M. R.; VANIN, J. A. Rheological properties of lyotropic liquid crystals. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 1995, 97.2: 151-156.

BUREŠOVÁ, I. a LORENCOVÁ E. *Výroba potravin rostlinného původu: zpracování obilovin*. Vyd. 1. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 2013. ISBN 978-80-7454-278-7.

CHHABRA, R. P. Non-Newtonian fluids: an introduction. In: *Rheology of Complex Fluids*. Springer New York, 2010. s. 3-34.

CHANDAN, R. C.; O'RELL, K. R. Principles of yogurt processing. *Manufacturing yogurt and fermented milks*, 2006, s. 195-197.

CRUZ, A. G., et al. Developing a prebiotic yogurt: Rheological, physico-chemical and microbiological aspects and adequacy of survival analysis methodology. *Journal of food engineering*, 2013, 114.3: 323-330.

DICKINSON, E. *New physico-chemical techniques for the characterization of complex food systems*. 1st ed. Dordrecht: Springer Science+Business Media, 1995.

DOSTÁLOVÁ, J. et al. *Potravinářské zbožíznalství: technologie potravin*. Vyd. 1. Ostrava: Key Publishing, 2014. ISBN 978-80-7418-208-2.

DVOŘÁK, Lukáš. Vlastnosti tekutin. *Sylabus předmětu "Vlastnosti tekutin "*. Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 2010.

GAUCHE, C., et al. Physical properties of yoghurt manufactured with milk whey and transglutaminase. *LWT-Food Science and Technology*, 2009, 42.1: 239-243.

GRIFFITHS, M. *Improving the safety and quality of milk*. First published. Boca Raton: CRC Press, 2010. ISBN 978-1-84569-806-5.

GRODA B., 2002: *Mechanika tekutin a suspenzí*. Brno: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita, 51 s. ISBN 80-7157-576-3.

HALLIDAY, D., et al. Fyzika. 2., přeprac. vyd. Brno: VUTIUM, c2013. ISBN 978-80-214-4123-1.)

HAQUE, A. et al. Effect of fermentation temperature on the rheology of set and stirred yogurt. *Food Hydrocolloids*, 2001, 15.4: 593-602.

HOLUBOVÁ, R. *Základy reologie a reometrie kapalin*. Univerzita Palackého v Olomouci, 2014.

KADLEC, P. et al. *Přehled tradičních potravinářských výrob: technologie potravin*. Vyd. 1. Ostrava: Key Publishing, 2012. ISBN 978-80-7418-145-0.

KADLEC, P. et al. *Procesy a zařízení v potravinářství a biotechnologiích*. Vyd. 1. Ostrava: Key Publishing, 2013. ISBN 978-80-7418-163-4.

KOPÁČEK, J. Mléko a mléčné výrobky: jak poznáme kvalitu?. 1. vyd. Praha: Sdružení českých spotřebitelů, 2014. ISBN 978-80-87719-18-3.

KUMBÁR, V. et al. Mendelova Univerzita. Fyzikální a mechanické vlastnosti směsí bioetanolu a benzínu. *Listy Cukrovarnické a Řeparské* [online]. 2015, vol. 131, no. 3, s. 112-116. ISSN 12103306.

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

MECHLOVÁ, Erika a Karel KOŠTÁL. *Výkladový slovník fyziky pro základní vysokoškolský kurz*. 1. vyd. Praha: Prometheus, 1999. ISBN 80-7196-151-5.

Moduly jako prostředek inovace v integraci výuky moderní fyziky a chemie. *Výstupy*. [online]. 31.12.2014 [cit. 2016-04-07].

Dostupné z: mofychem.upol.cz/KA8/Mlekoamlecnevyrobky.docx

NAVRÁTILOVÁ, Pavlína. *Hygiena produkce mléka*. Vyd. 1. Brno: Veterinární a farmaceutická univerzita Brno, 2012. ISBN 978-80-7305-624-7.

NORTON I. T. et al. 2011: *Practical food rheology: an interpretive approach*. Ames, Iowa: Wiley-Blackwell. Functional food science and technology series. ISBN 1405199784.

PHILLIPS, L. G. et al. The influence of fat on the sensory properties, viscosity, and color of lowfat milk. *Journal of dairy science*, 1995, 78.6: 1258-1266.

Pseudoplastic fluid. *Food Network Solution*. [online]. © 2010 – 2016 [cit. 2016-04-04].

Dostupné z: <http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/0456/pseudoplastic-fluid->

PUNIYA, A. K. *Fermented milk and dairy products*. Boca Raton, FL: CRC Press, Taylor & Francis Group, 2016, xxix, 714 pages. Fermented foods and beverages series. ISBN 1466577975.

ROBINSON, R. K. et al. Manufacture of Yoghurt. *Fermented milks*, 2008, 53.

SAHU, J. K. *Introduction to advanced food process engineering*. Boca Raton: CRC Press, c2014. ISBN 978-1-4398-8071-5.

SEVERA, L. a NEDOMOVÁ Š. *Fyzikální a mechanické vlastnosti potravin*. Vyd. 1. V Brně: Mendelova univerzita, 2011. ISBN 978-80-7375-521-8.

SHAKER, R. R. et al Rheological properties of plain yogurt during coagulation process: impact of fat content and preheat treatment of milk. *Journal of Food Engineering*, 2000, 44.3: 175-180.

SIMUANG, J. et al. Effects of fat content and temperature on the apparent viscosity of coconut milk. *Journal of Food Engineering*, 2004, 64.2: 193-197.

Stanovení viskozity roztoků. VŠCHT – Návody k laboratorním cvičením. [online]. 2.12.2008 [cit. 2016-04-07].

Dostupné z:http://old.vscht.cz/met/stranky/vyuka/labcv/labor/res_stanoveni_viskozity_roztoku/teorie.htm

ŠTERN, P. et al. Psychorheology of food dispersions. *Journal of Hydrology and Hydromechanics*, 2010, 58.1: 29-35.

ŠULCEROVÁ, H. et al. Changes monitoring of white yoghurts sensorial characteristic during their minimal endurance time. *Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis*, 2014, 55.5: 187-196.

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. *Mlékárenské technologie: (návod do cvičení)*. Vydání první. Brno: Mendelova univerzita v Brně, 2015. ISBN 978-80-7509-248-9.

TABILO-MUNIZAGA, G. a BARBOSA-CÁNOVAS, G. V. Rheology for the food industry. *Journal of Food Engineering*, 2005, 67.1: 147-156.

Technical Guide for SMEs in the Dairy Industry (CDI; 1999; 74 pages). *The New Zealand Digital Library*. [online]. 7.4.2016 [cit. 2016-04-07]. Dostupné z: <http://www.nzdl.org/gsd/mod?e=d-00000-00-off-0fnl2%2e2-00-0-0-10-0-0-0-direct-10-4-0-11-11-en-50-20-about-00-0-1-00-0-4-0-0-11-10-0utfZz-8-00&a=d&c=fnl2.2&cl=CL1.5&d=HASH42a2de12455398e80d1e7c>

Tekutost. In: Wikipedie: Otevřená encyklopedie: [online]. c2012 [citováno 5. 04. 2016]. Dostupný z WWW: <https://cs.wikipedia.org/w/index.php?title=Tekutost&oldid=8024623>

VRÁNOVÁ, D. O jogurtech. *CHEMPOINT*. [online]. 15.8.2012 [cit. 2016-03-12]. Dostupné z: <http://www.chempoint.cz/o-jogurtech>

VYBÍRAL, Bohumil. Mechanika ideálních kapalin. Knihovnička FO č, 2003, s. 62.

Vyhláška č. 77/2003 Sb. ze dne 6. 3. 2003, kterou se stanoví požadavky pro mléko a mléčné výrobky, mražené krémy a jedlé tuky a oleje. In Sbíрка zákonů České republiky. 2003. Částka 32/2003.

WALSTRA, P. et al. Milk: main characteristics. Dairy science and technology. Edited by Walstra P, 2006, 2.

WALTERS, K. et al. An Introduction to Rheology . Philadelphia: Elsevier Science, 1989. 210 s.

WEIN, O. Úvod do reologie. 1. vydání. Brno : Malé Centrum, 1996. 84 s

WICHTERLE K., 2006: Neneutonské kapaliny a disperze v hydrodynamických procesech. Databáze online [cit. 2016-01-18]. Dostupné z: <http://homen.vsb.cz/~wih15/Publikace/KWMix06.pdf>

Seznam tabulek

<i>Tabulka 1: Vzorky vybraných jogurtů</i>	<i>30</i>
<i>Tabulka 2: Vzorky měřených jogurtů – fyzikální vlastnosti.....</i>	<i>35</i>
<i>Tabulka 3: Shrnutí viskozitních křivek.....</i>	<i>37</i>
<i>Tabulka 4: Shrnutí tokových křivek</i>	<i>38</i>
<i>Tabulka 5: Výsledky analýzy vybraných jogurtů</i>	<i>40</i>
<i>Tabulka 6: Obsah tuku a index toku vzorků jogurtu.....</i>	<i>42</i>

Seznam obrázků

<i>Obrázek 1: Schéma výroby jogurtu</i>	<i>17</i>
<i>Obrázek 2: Reogram newtonské a nenewtonské kapaliny</i>	<i>22</i>
<i>Obrázek 3: Hysterezní smyčka tixotropní a reopektické kapaliny.....</i>	<i>24</i>
<i>Obrázek 4: Hustota vzorků jogurtů</i>	<i>36</i>
<i>Obrázek 5: Viskozitní křivka vzorku jogurtu č.4.....</i>	<i>37</i>
<i>Obrázek 6: Toková křivka vzorku jogurtu č.4.....</i>	<i>38</i>
<i>Obrázek 7: Teplotní závislost viskozity.....</i>	<i>39</i>
<i>Obrázek 8: Časová závislost viskozity</i>	<i>40</i>
<i>Obrázek 9: Závislost hustoty na obsahu tuku</i>	<i>41</i>
<i>Obrázek 10: Závislost viskozity na obsahu tuku</i>	<i>41</i>