

# Prášková reologie práškových mléčných výrobků

Bc. Irena Sovková

---

Diplomová práce  
2024



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta technologická

---

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická  
Ústav technologie potravin

Akademický rok: 2023/2024

# ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: Bc. Irena Sovková  
Osobní číslo: T23472  
Studijní program: N0721A210004 Technologie potravin  
Forma studia: Kombinovaná  
Téma práce: Prášková reologie práškových mléčných výrobků

## Zásady pro vypracování

### I. Teoretická část

Zpracujte literární rešerši na téma přípravy práškových mléčných výrobků.

Popište metody analýzy tokových vlastností práškových materiálů.

### II. Praktická část

Provedte měření tokových křivek a jejich numerické vyhodnocení na práškovém reoviskozimetru.

Provedte vyhodnocení a zpracování získaných parametrů ve formě tabulek a grafů.

Citujte veškerou použitou literaturu.

Dodržujte stanovený styl DP.

Rozsah diplomové práce: **60**  
Rozsah příloh: **10**  
Forma zpracování diplomové práce: **tištěná/elektronická**

Seznam doporučené literatury:

- [1] LAPČÍK, Lubomír, Barbora LAPČÍKOVÁ, Eva OTYEPKOVÁ, Michal OTYEPKA, Jakub VLČEK, František BUŇKA a Richardos Nikolaos SALEK. Surface energy analysis (SEA) and rheology of powder milk dairy products. *Food Chemistry* [online]. 2015, 174, 25-30 [cit. 2021-7-12]. ISSN 03088146. Dostupné z: doi:10.1016/j.foodchem.2014.11.017
- [2] LAPČÍK, Lubomír, Michal OTYEPKA, Eva OTYEPKOVÁ, Barbora LAPČÍKOVÁ, Roman GABRIEL, Aleš GAVENDA a Barbora PRUDILOVÁ. Surface heterogeneity: Information from inverse gas chromatography and application to model pharmaceutical substances. *Current Opinion in Colloid & Interface Science* [online]. 2016, 24, 64-71 [cit. 2021-7-12]. ISSN 13590294. Dostupné z: doi:10.1016/j.cocis.2016.06.010
- [3] SCHULZE, Dietmar. *Powders and bulk solids: behavior, characterization, storage and flow*. New York: Springer, c2008. ISBN 978-3-540-73767-4
- [4] HIEMENZ, Paul C. a Raj RAJAGOPALAN. *Principles of colloid and surface chemistry*. 3rd ed., rev. and expanded. New York: Marcel Dekker, 1997. ISBN 9780824793975

Vedoucí diplomové práce: **prof. Ing. Lubomír Lapčík, Ph.D.**  
Ústav technologie potravin

Datum zadání diplomové práce: **1. ledna 2024**  
Termín odevzdání diplomové práce: **10. května 2024**

L.S.

---

**prof. Ing. Roman Čermák, Ph.D.**  
děkan

---

**Ing. Robert Gál, Ph.D.**  
ředitel ústavu

Ve Zlíně dne 10. února 2024

## **PROHLÁŠENÍ AUTORKY DIPLOMOVÉ PRÁCE**

Beru na vědomí, že:

- diplomová práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému a dostupná k nahlédnutí;
- na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3;
- podle § 60 odst. 1 autorského zákona má Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- podle § 60 odst. 2 a 3 autorského zákona mohu užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- pokud bylo k vypracování diplomové práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tj. k nekomerčnímu využití), nelze výsledky diplomové práce využít ke komerčním účelům;
- pokud je výstupem diplomové práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

### **Prohlašuji,**

- že jsem na diplomové práci pracovala samostatně a použitou literaturu jsem citovala. V případě publikace výsledků budu uvedena jako spoluautorka.
- že odevzdaná verze diplomové práce a verze elektronická nahrána do IS/STAG jsou obsahově totožné.

Ve Zlíně dne:

Jméno a příjmení studentky:

.....  
podpis studentky

## **ABSTRAKT**

V teoretické části diplomové práce jsou popsány práškové materiály využívané v potravinářství. Jsou specifikovány rostlinné náhražky mléka, využívané zejména pro přípravu instantních nápojů. Dále jsou diskutovány metody práškové reologie vztahující se k měření příslušných potravinářských matric. V praktické části diplomové práce jsou zkoumány tokové křivky práškových vzorků mléka, kaseinátu sodného a rostlinných náhražek mléka s využitím práškového reometru. Pro jednotlivé vzorky jsou naměřeny a porovnány následující reologické parametry: kohezivita, mez kluzu, hlavní napětí, menší konsolidační napětí, index toku, vnitřní úhel tření, objemová hmotnost. Výsledky jsou graficky vyjádřeny ve formě tokových křivek a Mohrových kružnic napětí.

**Klíčová slova:** sušené mléko, potravinářství, instantní nápoje, prášková reologie, mez kluzu, kohezivita, Mohrovy kružnice napětí

## **ABSTRACT**

Powder materials used in the food industry are described in the theoretical part of the thesis. Plant-based milk substitutes, used mainly for the preparation of instant drinks, are specified. Powder rheology methods related to the measurement of relevant food matrices are also discussed. In the practical part of the thesis, the flow curves of powder samples of milk, sodium caseinate and plant-based milk substitutes are investigated using a powder rheoviscosimeter. The following rheological parameters are measured and compared for individual samples: cohesiveness, unconfined yield strength, major principal stress, minor consolidation stress, flow factor, angle of internal friction, bulk density. The results are graphically expressed in the form of flow curves and Mohr stress circles.

**Keywords:** milk powder, food industry, instant beverages, powder rheology, unconfined yield strength, cohesiveness, Mohr stress circles

Chtěla bych touto cestou velmi poděkovat panu prof. Ing. Lubomíru Lapčíkovi, Ph.D., vedoucímu mé diplomové práce, za odborné vedení, cenné rady a poskytnuté materiály. Mé poděkování patří také Ing. Tomáši Valentovi, Ph.D. za odbornou asistenci a ochotu pomoci při zpracovávání této práce. Velké poděkování patří i mé rodině za podporu po celou dobu mého studia.

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

# OBSAH

<b>OBSAH</b> .....	<b>7</b>
<b>ÚVOD</b> .....	<b>9</b>
<b>I. TEORETICKÁ ČÁST</b> .....	<b>10</b>
<b>1 PRÁŠKOVÉ MATERIÁLY</b> .....	<b>11</b>
<b>1.1 SUŠENÉ MLÉKO</b> .....	<b>11</b>
1.1.1 LEGISLATIVA .....	12
1.1.2 TECHNOLOGIE VÝROBY SUŠENÉHO MLÉKA .....	13
1.1.2.1 Sušení ve sprejové (rozprašovací) sušárně .....	13
1.1.2.2 Sušení na válcích .....	15
1.1.2.3 Instantizace .....	15
<b>1.2 ROSTLINNÉ SUŠENÉ NÁPOJE</b> .....	<b>16</b>
<b>1.3 ROSTLINNÉ NÁHRAŽKY MLÉKA</b> .....	<b>17</b>
1.3.1 SÓJOVÉ INSTANTNÍ VÝROBKY .....	17
1.3.2 KOKOSOVÉ INSTANTNÍ VÝROBKY .....	20
1.3.3 POHANKOVÉ INSTANTNÍ VÝROBKY .....	22
1.3.4 RÝŽOVÉ INSTANTNÍ VÝROBKY .....	23
<b>1.4 KRAVSKÉ MLÉKO</b> .....	<b>26</b>
<b>2 REOLOGIE</b> .....	<b>29</b>
<b>2.1 VYUŽITÍ REOLOGIE V POTRAVINÁŘSTVÍ</b> .....	<b>31</b>
2.1.1 REOLOGICKÉ VLASTNOSTI POTRAVIN .....	32
<b>2.2 PRÁŠKOVÁ REOLOGIE</b> .....	<b>34</b>
2.2.1 KONSOLIDAČNÍ NAPĚTÍ.....	35
2.2.2 MEZ KLUZU .....	35
2.2.3 TEKUTOST PRÁŠKOVÝCH MATERIÁLŮ .....	36
2.2.4 MOHROVY KRUŽNICE .....	38
<b>II. PRAKTICKÁ ČÁST</b> .....	<b>40</b>
<b>3 CÍL PRÁCE</b> .....	<b>41</b>
<b>4 MATERIÁL A METODIKA</b> .....	<b>42</b>
<b>4.1 VZORKY PRÁŠKOVÝCH POTRAVIN</b> .....	<b>42</b>
4.1.1 SUŠENÁ KRAVSKÁ MLÉKA .....	43
4.1.2 INSTANTNÍ ROSTLINNÉ NÁHRAŽKY MLÉKA .....	44
4.1.3 HOVĚZÍ KASEINÁT SODNÝ.....	47
<b>4.2 PRÁŠKOVÝ REOMETR A PRINCIP MĚŘENÍ</b> .....	<b>48</b>

<b>4.3 SESTAVENÍ TOKOVÝCH KŘIVEK A MOHROVÝCH KRUŽNIC NAPĚTÍ</b>	<b>50</b>
<b>4.4 STANOVENÍ STABILITY PRÁŠKOVÝCH VZORKŮ</b>	<b>50</b>
<b>5 VÝSLEDKY A DISKUZE</b>	<b>51</b>
<b>5.1 INDEX STABILITY</b>	<b>51</b>
<b>5.2 TOKOVÉ KŘIVKY A MOHROVY KRUŽNICE NAPĚTÍ</b>	<b>52</b>
<b>5.3 KOHEZIVITA</b>	<b>56</b>
<b>5.4 MEZ KLUZU</b>	<b>58</b>
<b>5.5 HLAVNÍ NAPĚTÍ</b>	<b>59</b>
<b>5.6 INDEX TOKU</b>	<b>60</b>
<b>5.7 VNITŘNÍ ÚHEL TŘENÍ</b>	<b>62</b>
<b>5.8 OBJEMOVÁ HMOTNOST</b>	<b>63</b>
<b>5.9 MENŠÍ KONSOLIDAČNÍ NAPĚTÍ</b>	<b>65</b>
<b>ZÁVĚR</b>	<b>66</b>
<b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY</b>	<b>68</b>
<b>SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK</b>	<b>78</b>
<b>SEZNAM OBRÁZKŮ</b>	<b>79</b>
<b>SEZNAM TABULEK</b>	<b>79</b>
<b>SEZNAM PŘÍLOH</b>	<b>82</b>



## ÚVOD

Rostlinné náhražky mléka se jeví jako velmi perspektivní typy potravin, které mají značný potenciál v různých potravinářských aplikacích. Jsou nejčastěji produkovány ve formě práškových materiálů, které jsou běžně dostupné v tržní síti. Jejich nejčastější využití spočívá pro přípravu instantních nápojů, pudingů, dezertů, aj. Pro optimalizaci funkčních vlastností a praktické aplikace těchto potravinářských prášků je nezbytné provést charakterizaci jejich reologických vlastností, zejména stanovit tokové chování, kohezivitu, mez kluzu a další parametry. Tokové chování práškových materiálů je závislé na rozličných faktorech a je ovlivňováno jejich komplexním charakterem. Klíčovou roli zde hraje stanovení optimálních podmínek a metody jejich hodnocení, zvláště při využití rotačního reometru.

V teoretické části této diplomové práce jsou definovány práškové materiály. Konkrétně se zabýváme sušeným mlékem a rostlinnými náhražkami mléka produkovány ve formě prášku. Jsou popsány následující rostlinné náhražky: sójové instantní výrobky, kokosové, pohankové a rýžové instantní výrobky. V následující kapitole je pojednáno o reologii, zejména s ohledem na její využití v potravinářství. Je diskutována prášková reologie a její nejdůležitější parametry.

V diplomové práci popisujeme jednotlivé vzorky rostlinných náhražek mléka a použité metody stanovení na rotačním reometru. Cílem předkládané práce je definování různých typů rostlinných náhražek, způsobu jejich výroby a komerčního využití. V praktické části je naším cílem měření tokových křivek vybraných prášků na živočišné a rostlinné bázi z hlediska určení následujících reologických parametrů: kohezivity, meze kluzu, hlavního napětí, menšího konsolidačního napětí, indexu toku, vnitřního úhlu tření, objemové hmotnosti. Tokové chování vzorků je graficky prezentováno s využitím Mohrových kružnic a porovnáno pomocí příslušných grafů. Provedená měření mohou sloužit k optimalizaci využití různých typů práškových materiálů na základě jejich specifického reologického profilu.

## **I. TEORETICKÁ ČÁST**

## 1 PRÁŠKOVÉ MATERIÁLY

Práškové materiály se řadí mezi partikulární látky. Tyto partikulární látky jsou vytvářeny jednotlivými částicemi, a to pevnou fází, jež je obklopena tekutou fází, za kterou je považována kapalina nebo plyn. Tekutou fází pro práškové materiály je nejčastěji plyn - vzduch. Interakce mezi těmito dvěma složkami udává celkové mechanické chování. Za mechanické vlastnosti práškových materiálů jsou považovány: napětí, hustota, deformace, adhezni síly, konsolidace a stlačitelnost. [1][2]

Práškové materiály jsou charakteristické svojí schopností přenášet smykové napětí v klidovém stavu, na rozdíl od kapalin, u nichž nestačí výhradně gravitační síla. Vnitřní tření nebo jiným názvem třecí vazba je pojímáno jako silové působení. Zacházení se zmiňovanými práškovými látkami komplikuje existence tzv. kohezních sil, jelikož se zvětšují úměrně s rostoucí kontaktní rovinou částic prášku. Pokud se částice materiálu zmenšují (např. mletím), dochází ke zvětšení kohezních sil. [1][2]

Tokové mechanické vlastnosti práškových materiálů jsou určeny velkým množstvím částic s odlišnou velikostí, tvarem i kontaktních ploch, a proto se sleduje vnitřní tření v objemu vzorku, který se označuje jako smyková zóna. [1]

### 1.1 Sušené mléko

Sušené mléko je stěžejní složkou řady potravin, které se nachází ve formě prášku získané sušením. Sušené výrobky vytváří produkty s nízkou aktivitou vody, zajišťující minimální organoleptické změny, tudíž vhodné podmínky a vlastnosti pro přímý prodej spotřebiteli. Výhodou redukce obsahu vody je i snížení skladovacích a přepravních nákladů na větší vzdálenosti do zemí, kde je mléka potřeba (za významné sušené mléko můžeme považovat odtučněné, vzhledem k důležitosti mezinárodního obchodu). Práškové výrobky by měly být po sušení snadno obnovitelné, aby bylo docíleno k dalšímu použití v odvětví potravinářského průmyslu. V průběhu skladování, expedice a distribuce musí být kontrolována ochrana před sekundární kontaminací mikroorganismy. Doba minimální trvanlivosti je stanovena tím, aby během skladování nedošlo k oxidaci tuku v prášku a tím i zhoršení kvality a chuti. Do sušených mléčných produktů se řadí sušená mléka, sušené odstředěné mléko, sušená smetana, sušená syrovátka, sušené podmásli a kaseiny. [3][4]

Sušení mléka se provádí válcovým sušením, sprejovým sušením nebo sušení pomocí mrazu. Sušení se volí dle dalšího způsobu použití sušeného mléka, jelikož může nastat situace, kdy sušené produkty mohou ve vodě vytvářet nerozpustné shluky, a následně snížit použitelnost sušeného mléka. [3][4]

Obsah sušiny se udává optimálně mezi 96 - 98 % hm. Obsah tuku se udává dle vyhlášky č. 397/2016 Sb., je uvedeno v tabulce 1. [5][6]

Tabulka 1: *Obsah tuku v sušených mléčných výrobcích.* Upraveno dle Vyhlášky č. 397/2016 Sb. [6]

Druh výrobku	Obsah tuku (v % hmotnostních)
Sušená smetana	nejméně 42,0
Sušené plnotučné mléko	nejméně 26,0 - méně než 42,0
Sušené částečně odstředěné mléko	více než 1,5 - méně než 26,0
Sušené částečně odstředěné mléko v tom polotučné	více než 1,5 a méně než 26,0 14,0 - 16,0
Sušené odstředěné mléko	nejvíce 1,5

Použití sušených mlék může být:

- náhrada mateřského mléka – výživa kojenců,
- potravinářský průmysl – kaseináty, složky jogurtů, polotovary pro přípravu mléčných zmrzlin, výroba mléčné čokolády
- zemědělství – mléčné krmné směsi. [3][4]

### 1.1.1 Legislativa

Požadavky na sušené mléko stanovuje Vyhláška č. 77/2003 Sb., kterou se stanoví požadavky pro mléko a mléčné výrobky, mražené krémy a jedlé tuky.

Sušeným mlékem se dle vyhlášky Ministerstva zemědělství č. 397/2016 Sb. rozumí „mléčný výrobek v prášku získaný sušením mléka plnotučného, odtučněného, částečně odtučněného, smetany nebo jejich směsi s obsahem vody nejvýše 5 % hmotnostních. [6]

### 1.1.2 Technologie výroby sušeného mléka

Cílem sušení je snížení obsahu vody v mléčném prášku, a to v rozmezí 2,5 - 5,0 % hm. Mléko podstupuje proces standardizace obsahu tuku, homogenizaci a tepelné ošetření při teplotě 110 - 120 °C po dobu několika minut. Použití vysoké teploty je klíčové k získání rezistence k autooxidaci mléčného tuku. Z ekonomických důvodů se nejprve mléko šetrně zahušťuje na obsah sušiny 40 - 50 % a až poté dojde k odstranění přebytečné vody, tudíž se sníží aktivita mikroorganismů. Tato operace nám zaručí delší trvanlivost a zachování kvality mléka. [7][8]

Sušení mléka probíhá v sušárnách různého typu. Nejpoužívanějším způsobem sušení v potravinářství je sprejové, toto sušení je spojováno zejména s výrobou sušeného mléka. Sušené mléčné výrobky se uchovávají v inertní atmosféře. [9]

#### 1.1.2.1 Sušení ve sprejové (rozprašovací) sušárně

Přínosem této metody je minimální poškození výrobku za využití nízkých teplot a krátké doby působení na produkt v porovnání s válcovým sušením. Postup sprejového sušení se skládá ze tří podstatných kroků (atomizace, evaporace (odpařování) a separace usušených částic od sušícího plynu). [10]

Před začátkem sprejového sušení je standardizované, homogenizované a tepelně ošetřené mléko zahušťováno na obsah 45 - 55 % sušiny. Následně v sušící věži je zahuštěný meziprodukt rozprašován a již probíhá samostatné sušení. [11][12][13]

Zařazení fáze zkoncentrování mléka je velmi důležitý, pokud by k tomuto kroku nedošlo, vznikaly by při sušení velmi malé částice s vysokým obsahem vzduchu, omezenou skladovatelností a špatnou smáčivostí. Proces zkoncentrování je i ekonomicky výhodnější. [11]

Atomizace je prvním krokem sprejového sušení, jež je potřeba pro maximální plochu při přenosu tepla mezi kapalinou a sušícím vzduchem. K rozptýlení mléka se nejčastěji užívají tlakové trysky nebo atomizér (rotační kotouč). Obecné pravidlo při atomizaci zní: „čím větší energii poskytneme, tím jemnější kapičky získáme“. [9][10][14]

Atomizace ovlivňuje vlastnosti konečného výsledku a tím je například velikost a struktura částic, rozpustnost, smáčivost nebo i hustota. V komoře sprejové sušárny s horkým vzduchem o teplotě 180 - 230 °C, dochází k výměně tepla a vody a nastává vlastní sušení.

Na základě umístění atomizéru a přívodu vzduchu rozlišujeme souproudý a protiproudý režim sušení. Protiproudé sušení je ekonomicky výhodnější z pohledu spotřeby energie. Sušení v souproudém režimu, podléhá nižší teplotě než při protiproudém sušení, tudíž je i menší tepelné poškození konečného produktu. Usušené mléko padá na dno sušící komory, následně je odváděno k chlazení na teplotu okolí. Sušící komoru opouští jemné a lehké částice, které jsou unášeny vzduchem. Pro následnou separaci jsou využívány cyklony fungující na principu odstředivé síly. K separaci částic o různé velikosti slouží jednotlivé cyklony, z toho důvodu se využívá více cyklónů situovaných za sebou. [10][11][14][15]

### **Jednostupňové sušení**

Nejjednodušší zařízení je jednostupňová sprejová sušárna na výrobu mléčného prášku. Zařízení se skládá ze sušící věže, atomizéru, pneumatického dopravníkového zařízení, přívodu a oddělovače vzduchu a sušící komory. Principem jednostupňového sušení je odstranění veškeré vlhkosti v sušící komoře. Zahuštěné mléko je přiváděno vysokotlakým čerpadlem do sušící komory k atomizéru. Drobné kapénky jsou smíseny s horkým vzduchem a následně dojde k odstranění vody z mléka, volná voda se odpaří, kdežto voda vázaná nejdříve difunduje na povrch částic a následně je odpařena. Suchý prášek se během sušení usazuje na dno sušící věže a poté je pneumatickým dopravníkem přepraven k balení. V jednom nebo více cyklonech dochází k oddělení velmi drobných částic, které jsou následně připravené k samotnému balení. [3][11][16]

### **Dvoustupňové sušení**

Dvoustupňové sušení je rozděleno do dvou stupňů. V prvním stupni sprejového sušení dochází ke snížení vlhkosti v mléce na hodnotu 6 - 8 %. V druhém stupni je odstraňována přebytečná vlhkost pomocí dosoušení ve vibrofluidním žlabu. Teplota sušícího vzduchu je 100 - 120 °C. Po ukončení sušení následuje chlazení v pneumatickém chladícím a dopravním kanálu. [11]

Pokud srovnáme spotřebu tepla, tak v tomto případě se sníží o 10 - 20 % na rozdíl od jednostupňového sušení. Vícetupňové sušení má výhody, nejen na již zmíněnou spotřebu tepla, ale i na kvalitu sušeného mléka. [11][16]

### **Třístupňové sušení**

Nejrozšířenějším způsobem sušení je třístupňové, které se skládá z jednoduchého sušení a dosušení ve vibrofluidním žlabu a poté mimo sušící komoru. Účelem třístupňového sušení je snížit provozní náklady a docílit vyšší jakosti produktu. Po prvním sušení obsahuje sušený prášek 10 - 12 % vlhkosti, následující druhý stupeň probíhá v sušící věži a konečné sušení je umístěno mimo sušící komorou. Třístupňové sušení je výhodné z hlediska úspory energie (o dalších 10 - 15 %) a to v porovnání s dvoustupňovým sušením. [7][11][17]

#### **1.1.2.2 Sušení na válcích**

Válcové sušení funguje způsobem vstřikování mléka nebo zahuštěného mléka na povrch otáčejícího se válce, které jsou vyhřívané přetlakovou parou na teplotu 100 - 130 °C. Během jedné otáčky válce se nanosený film mléka usuší a následně je seškrabován z povrchu válce pomocí nožů. Sušené mléko putuje do šnekového dopravníku, kde je rozdrobeno na požadovanou velikost částic. Existují dva typy válcových sušáren. V první sušárně je mléko přiváděno do žlabu otáčejících se válců a druhým typem sušárny je mléko rozstříknuto na povrch válců z trysek, které se umísťují nad ně. [11][18][19]

Válcové sušení je úspornější v porovnání se sušením ve sprejové sušárně. Působením vysoké teploty má sušené mléko správnou mikrobiologickou jakost, je lépe stabilizovaný mléčný tuk a v neposlední řadě je trvanlivější. Výhodou je také dobrá vaznost vody v sušeném mléce, která se může využívat při výrobě masných výrobků. K nevýhodám tohoto sušení patří denaturace proteinů, změny barvy díky Maillardovým reakcím, kdy se můžou objevit spálené částice a ty následně zhoršit kvalitu. [11][18][20]

#### **1.1.2.3 Instantizace**

Pro výrobu instantních mléčných výrobků jsou sušárny vybaveny ještě speciálním instantizačním zařízením. Správnou rozpustnost zaručí disperzibilita a smáčivost. Tyto dvě vlastnosti závisí na velikosti částic sušeného mléka (2 - 3 mm), dále na obsahu tuku, kaseinu, laktózy a povrchových vlastnostech. Proces instantizace záleží na vyloučení nejmenších částic, dochází k aglomeraci částic a částečně krystalizaci laktózy.

Dále se provádí lecitinace u polotučného nebo plnotučného mléka, kdy jsou částice ve vibrofluidním žlabu pokryté nástřikem 0,2 % hm. lecitinu a ten následně zlepšuje smáčivost jejich povrchu. [11][21][22]

## 1.2 Rostlinné sušené nápoje

Rostlinné nápoje stanovuje vyhláška č. 248/2018 Sb. o požadavcích na nápoje, kvasný ocet a droždí. Rostlinné nápoje se mylně nazývají mlékem, podle platné legislativy se za pojem „mléko“ označuje pouze produkt živočišného původu, tudíž produkt z mléčných žláz samic savců. [23][24]

Rostoucí spotřeba rostlinných alternativ mlék se zvyšuje v posledním desetiletí. Alternativa mléka z rostlinných zdrojů je určena v první řadě spotřebitelům trpící laktózovou intolerancí nebo alergií na mléčnou bílkovinu. Můžou to být i osoby preferující vegetariánskou a veganskou stravu. Ačkoliv rostlinné alternativy nemohou nahradit žádná živočišná mléka, mají rostlinné nápoje i své výhody. Výhodou rostlinných alternativ je vyšší obsah vlákniny, nepřítomnost cholesterolu a v neposlední řadě vysoký obsah hladiny antioxidantů s vlastností zachytit volné oxidační radikály. [31][32]

Rostlinné nápoje jsou technologicky získány výluhem nebo rozpadem rostlinného materiálu ve vodě, a jsou svým vzhledem podobné kravskému mléku. Další kroky vedou k extrakci rostlinného materiálu ve vodě, separaci kapaliny a formulaci konečného produktu. Homogenizací získáme částice o velikosti 5 - 20  $\mu\text{m}$ . Tepelné zpracování a homogenizace jsou důležité kroky v docílení lepší suspenze a mikrobiální stability produktů, tyto kroky vedou buď ke spotřebě jako takové nebo k dalšímu zpracování na fermentované mléčné výrobky. [25][26]

Nejkonzumovanější a nejprodávanější produkt v obchodních řetězcích je sójový nápoj, avšak za nejdražší rostlinné mléko se považuje kokosový nápoj. Další významné varianty jsou nápoje mandlové, ovesné, kokosové, pohankové, rýžové, makové nebo nápoj ze skořápkových plodů. Rostlinné nápoje mohou být neochucené, ochucené nebo obohacené o minerály či vitamíny. Plnotučné kravské mléko v porovnání se sójovým má vyšší obsah tuku a cukru, ale podíl vápníku a vitamínu D je srovnatelný. Jiné nápoje a to z mandlí, rýže, ovse nebo kokosu obsahují zdroje esenciálních vitamínů a minerálů, ale mají nižší podíl bílkovin. [27][28][29][30]



Tabulka 2: Příklad obsahu nutričních složek rostlinných nápojů a kravského mléka na 100 g tekutého nápoje. [33]

Druh nápoje	Energetická hodnota (kcal)/100 g	Obsah bílkovin (g/100 g)	Obsah tuku (g/100 g)	Laktóza (g/100 g)	Obsah sacharidů (g/100 g)
Kravské plnotučné mléko	64	3,3	3,5	4,7	4,8
Kokosový nápoj	160	1,7	1,6	-	1,7
Sójový nápoj	35	3,7	2,2	-	0,1
Rýžový nápoj	49	0,1	1,2	-	9,5
Mandlový nápoj	45	0,9	2,2	-	5,0
Ovesný nápoj	42	1,0	1,5	-	6,5

### 1.3 Rostlinné náhražky mléka

Na trhu nalezneme velkou škálu rostlinných mlék. Pojmeme rostlinná „mléka“ by se v dnešní době mohl označit krémový nápoj vyrobený z vody a ořechů, luštěnin, semen, obilí nebo kokosového ořechu. Jsou to také nápoje, jež jsou vyráběny na bázi obilovin a zahrnujeme sem rýžový nápoj, špaldový nápoj nebo ovesný nápoj. Tyto nápoje se mohou vyrábět i z luštěnin, konkrétně ze sóji, oříšků, ale i jejich kombinací. [32]

#### 1.3.1 Sójové instantní výrobky

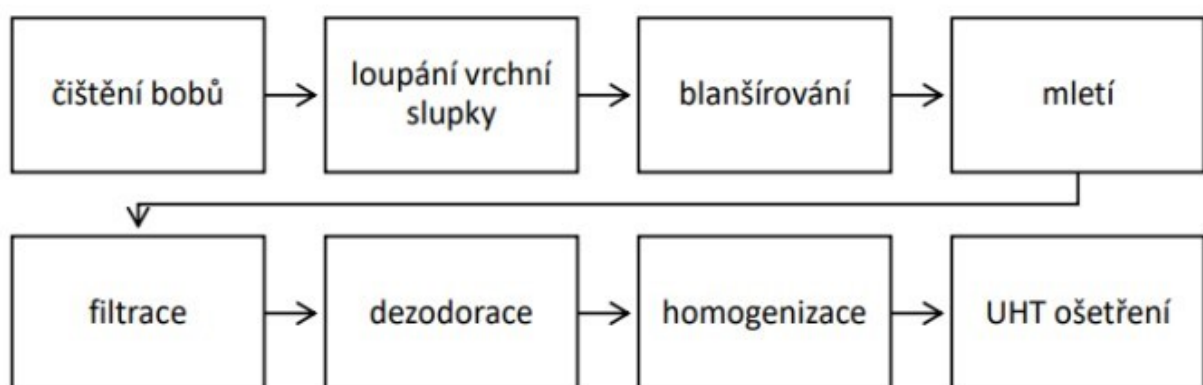
Sójový nápoj je jeden z nejvíce rozšířených rostlinných náhražek mléka. [34] Sója luštinatá (*Glycine max* (L.) Merr) je rostlina vysoká 60 - 80 cm, původem z jihovýchodní Asie, pravděpodobně z Číny. Sójové boby se vyznačují vysokou nutriční hodnotou. Obsahují zdroj rostlinných bílkovin 35 - 45 %, tuků 20 % a sacharidů 30 %. Sója obsahuje také zdroj vitaminů B - komplex (hlavně B1 a B3), vitaminů rozpustných v tucích E, K a minerálních látek - vápník a draslík. Pokud srovnáme sójový nápoj s plnotučným kravským mlékem, obsahuje sójový nápoj méně tuků a cukrů, avšak vápník a vitamín D vykazují podobné hodnoty. [35][36]

Kromě potravinářských účelů můžeme sóju využívat jako potravu pro hospodářská zvířata, pro výrobu bionafty, plastů nebo kosmetiky. [35]

Pro výrobu sójového nápoje je důležité začít správným výběrem odrůdy a následným uskladněním. V úložných prostorách je nutné zamezit velké vlhkosti, aby nedocházelo ke vzniku plísní. [37] Dalším krokem je čištění. Tento krok zahrnuje i odstranění poškozených bobů, které by mohly vyvolat nepříjemnou pachůť sójového bobu. Následné loupání slupky zamezí rozmnožení bakterií a kažení nápoje, také se prodlouží trvanlivost a zlepší chuť. Za účelem zabránění vzniku hořké chuti je nezbytné inaktivovat enzymy, jež hořkost způsobují. Používá se k tomu proces blanširování, který má dva důležité kroky. První krok využívá horkou vodu a 0,25 % jedlé sody po dobu 5 minut, druhý krok blanširování využívá také horkou vodu, ale 0,05 % jedlé sody. Současně se provádí i mletí, kde se sója převede na koloidní roztok. Po mletí se boby nechávají osušit (snadnější odstranění slupek) a jsou rozemlety v horké vodě. Filtrace probíhá na dekantačních odstředivkách k zamezení křídové chuti v ústech a dezodorace za účelem odstranění těkavých látek. [37][38]

Homogenizace je proces, kdy se pod velkým tlakem rozruší tukové kuličky a vzniká krémovitá konzistence. Tepelné ošetření UHT (Ultra-high temperature) využívá vysoké teploty a krátkou dobu působení. UHT je neodmyslitelnou součástí postupu, čímž se inaktivují mikroorganismy, prodlouží se trvanlivost a nápoj je zbaven nežádoucích pachů. [37][38]

Popsaný postup výroby sójového nápoje odpovídá metodě Illinois a je znázorněn i na obr. 1. [37][38]



Obrázek 1: Diagram výroby sójového nápoje Illinoisovou metodou. [41]

### Výroba sójového prášku

Metoda využívající výrobu sójového prášku pocházející ze Švýcarska se nazývá Bülherova metoda. Je to patentovaný postup výroby plnotučné sójové mouky a může být náhradou pro mléčnou sušinu. Šestiválcový mlýn je přístroj, který loupáním a mikromletím dokáže rozbít buňky, uvolnit bílkoviny i tukové globule a ty jdou poté lépe extrahovat. Jemný prášek je rozptýlen ve vodě a vzniká tzv. „sójové mléko“. Bülherova metoda je unikátní v tom, že zvládne zdvojnásobit výtěžek. [37][38]

### Příklady komerčního využití sójového nápoje.



Obrázek 2: Tetrapackově balené sójové nápoje. [39]



Obrázek 3: Sušené sójové nápoje (autorská fotografie)

### 1.3.2 Kokosové instantní výrobky

Kokosový ořech je plodem kokosové palmy zvané kokosovník ořechoplodý (*Cocos nucifera* L.). Kokosový ořech se řadí mezi skořápkové plody (ovoce). Skládá se z tvrdé skořápky, endospermu a uvnitř jádra se nachází kokosová voda. [40]

Kokosové mléko je tekutina vyrobená z rozdrceného a nastrouhaného endospermu s vodou. Přefiltrované „mléko“ se smísí s emulgátory a stabilizátory, následně se emulguje a vzniká krémová konzistence. V gastronomii se využívá pro výrobu bezmléčné šlehačky, omáček a dezertu. Má lahodnou chuť i proto ji konzumují nejen dospělí, ale i děti. Termín kokosový krém je velmi obdobný jako kokosové mléko, obsahuje vyšší hodnoty tuku a hustoty. [42]

Kokosové mléko poskytuje vysoké množství tuku, převážně nasycené mastné kyseliny (například kyselina laurová, kyselina myristová, kyselina kaprylová a kyselina stearová). Právě kyselina myristová může negativně zvýšit hladinu cholesterolu LDL a HDL v krevní plazmě. [40] Opakem je obsah bílkovin v kokosovém mléce, ten je zanedbatelný. Dále z nutričního hlediska nalezneme v kokosovém mléce větší množství minerálních látek, konkrétně K, Fe, Mg, Se, vitaminů skupiny B, D a v neposlední řadě vápník. Kokosové nápoje bývají často fortifikovány vápníkem, vitamínem B12 a D. Vzhledem ke svému složení kokosové mléko napomáhá po fyzické zátěži předcházet vyčerpání, křeči a svalové bolesti. [40][43]

Porovnání kokosového mléka s mlékem kravským: Kravské mléko obsahuje v porovnání s kokosovým nápojem pětkrát až osmkrát méně tuku, také obsahuje méně železa a vitamínu B1, ale obsahuje více sacharidů a bílkovin. [44]

Výroba kokosového nápoje začíná samotným rozlousknutím kokosového ořechu a vydlabáním jeho dužiny. Odstranění hnědé slupky za pomoci ostré čepele, dužina se omyje vodou a následně nastrouhá. K nastrouhané dužině se přidá horká voda o teplotě 80 °C, pro vyluhování oleje, mléka i aromatických látek. Suspenze se přefiltruje, aby se dosáhlo neprůhledné mléčné emulze se specifickou sladkou chutí a vůní po kokosu. Tato cesta výroby je pro Evropské státy ekonomicky velmi náročná. [45] Ekonomičtější cestou je proto výroba za použití již vysušeného a nastrouhaného kokosu. Kokos se suší na místě sklizně z důvodu zabránění oxidaci tuku a enzymatickým změnám. Vlhkost při uskladnění je stěžejní z důvodu zabránění kontaminace. Dalším krokem vedoucí k výrobě kokosového nápoje je smíchání s teplou vodou, která vede k rehydrataci a bobtnání kokosových částic. Teplota vody se volí 70 °C po dobu 20 minut a dochází k samotné pasteraci produktu.

Důkladné promíchání docílí kontaktu všech částic s vodou. Lisování je ukončovací fází, která probíhá na hydraulickém lisu. K získání větší výtěžnosti se tento proces provádí obvykle dvakrát po sobě. V této ukončovací fázi se kokosové mléko buď zahušťuje a vzniká kokosové mléko s vyšším obsahem tuku nebo se naopak ředí vodou. [46][47]

Popis výroby kokosového nápoje je znázorněn na obr. 4.



Obrázek 4: Diagram výroby kokosového nápoje. [41]

#### Příklady komerčního využití kokosového nápoje.



Obrázek 5: Tetrapackově balené kokosové nápoje (autorská fotografie).

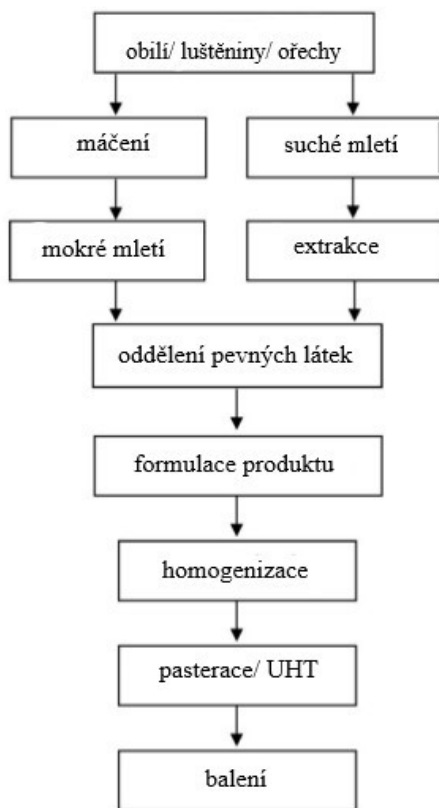
### 1.3.3 Pohankové instantní výrobky

Pohanka obecná (*Fagopyrum esculentum* Möench) je menší plodina, která se řadí mezi pseudoobiloviny a je bezlepková. Své využití pohanka nachází především ve východní Evropě, Číně a Japonsku. Nutriční vlastnosti jsou výhodné zejména pro celiaky a diabetiky. Pohanková krupice má podobné hlavní nutriční hodnoty jako obiloviny. Kromě vlákniny i škrobu obsahuje vysoké množství polynenasycených mastných kyselin (kyselina linolová je v tucích pohanky obsažena z 37 - 48 hm. %,  $\alpha$ -linolenová z 1,9 - 2,8 hm. %). Bílkoviny pohanky mají vysokou nutriční kvalitu, díky vysoké hladině lyzinu. Pohanka je dobrým zdrojem minerálních látek (hořčík, železo, fosfor, vápník) a několika vitaminů (E, B1 a C). Nižší stravitelnost pohanky je dána obsahem taninů, kyseliny fytové a inhibitorů *proteázy*. Některé inhibitory *proteáz* mohou vyvolat i alergické reakce u lidí s malou obranyschopností. [59]

Mletí zrna hraje klíčovou roli v následném zpracování a kvalitě konečného produktu. Zrna se máčí ve vodě i několik hodin. Následně probíhá smíchání s vodou a drcení. Důležitým krokem je filtrace a oddělení pevných zbytků pohanky. Popis výroby pohankového mléka je znázorněn na obr. 6. [25][59]

Cappelli et al (2020) uvedl, že kamenné a válcové mletí je výhodné a prospěšné pro kvalitu získané obilné mouky. Dále bylo prokázáno, že teplená předúprava zrn před samotným mletím přispěla ke zlepšení vlastností mouky. Poudel a Rose (2018) ověřovali, že předúprava v páře zlepšuje stabilitu obilných zrn při skladování tak, aby nedocházelo k ovlivnění vlastnosti škrobu a lepku a také kvality konečného využití mouky. Ve své studii Chen, Guo, Xing a Zhu (2020) uvedli, že temperování párou změní vlastnosti při mletí zrn a následnělepší reologické vlastnosti získané mouky. [67][68][69]

Pohanková mouka se dále využívá jako potravinářská složka do různých potravin jako například chléb, sušenky, nudle, palačinky a špagety. [59]



Obrázek 6: Výrobní proces rostlinného pohankového nápoje. [25]

#### 1.3.4 Rýžové instantní výrobky

Rýže je obilnina, pocházející z rostliny, nazývané se rýže setá (*Oryza sativa* L.). Jedná se o nejrozšířenější plodinu na světě, jež se pěstuje v oblasti tropického a subtropického pásma téměř po celém světě (Čína, Indie, Indonésie, Vietnam, Thajsko). Rýže je také nejvhodnější alternativou, protože nezpůsobuje žádné alergie (alergie na laktózu, ale i na ořechy a sóju) a je hypoalergenní. [34][39][48]

Rýži můžeme rozdělit na hnědou (z rýžových zrn jsou odstraněny plevy), má oříškovou chuť a déle se vaří nebo bílou rýži (jsou odstraněny otruby), je levná, rychle se uvaří a má měkkou texturu, ovšem obsahuje méně vitaminů a vlákniny. [48]

Rýžový nápoj má několik výhod: neobsahuje cholesterol, neobsahuje tolik tuku, tudíž nezatěžuje trávení, další výhodou je, že nezpůsobuje zahlenění a posiluje obranyschopnost organismu. Podstatnou informací je, že rýžový nápoj by neměl plnit roli náhrady mateřského mléka, kojeneckého ani kravského mléka, kvůli přirozeně vyskytujícímu se

arzenu v rýži. Malé děti konzumují více mléka a mají menší tělesnou hmotu, proto by mohly snadněji dosáhnout i překročit hranici tolerovaného denního příjmu arzenu. [48][49] Obsah bílkovin v samotné rýži je velmi nízký, a není tomu jinak ani v rýžovém nápoji, kdy v porovnání s kravským mlékem je množství bílkovin do 0,02 % a je tudíž zanedbatelné. Ze sacharidů je nejvíce zastoupen škrob poté dextriny, cukry a malé množství vlákniny. Díky vysokému zastoupení sacharidů má rýžový nápoj nasládlou chuť. Obsah cukru se liší v závislosti dané výrobcem, nápoje jsou na trhu s hodnotami 2,8 % - 7,4 (8,5 %) podílu cukru. Pokud není rýžový nápoj fortifikován, neobsahuje velké množství vitaminů a minerálních látek. Kvůli tomu výrobci produkty vylepšují rostlinnými oleji (slunečnicový olej), solí, vápníkem či mořskou solí. Rostlinné oleje slouží v rýžovém nápoji pro krémovitější konzistenci, i přesto se obsah tuku v tomto nápoji pohybuje jen okolo 1 %. [39] [50]

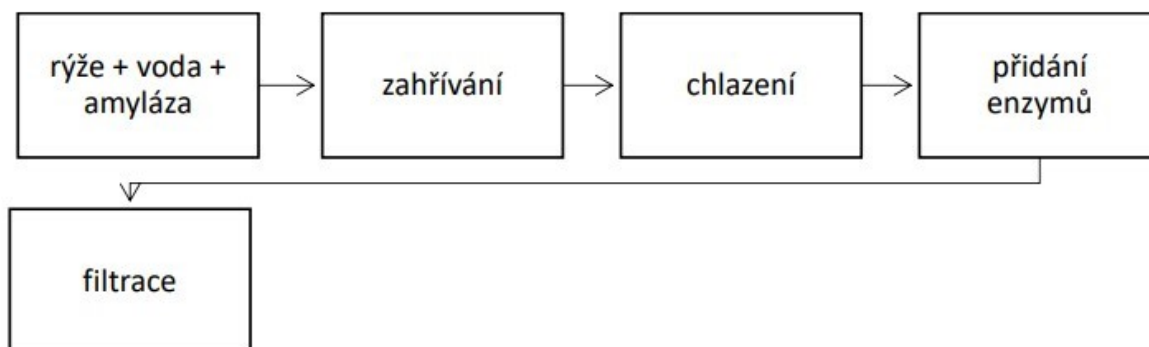
Rýžové nápoje jsou bílé až číré tekutiny a jsou vhodnou alternativou mléka při pečení, ke snídanovým cereáliím, ke kávě a na výrobu rýžového jogurtu. [39]

Technologie výroby rýžového nápoje zahrnuje tradiční nebo moderní způsob produkce. Tradiční japonská výroba vyžaduje mísení dušené nebo vařené rýže s rýží kóji. Kója rýže se vytváří z uvařené rýže spolu se spory plísně *Aspergillus oryzae*, rýže nyní obsahuje velké množství enzymů ( $\alpha$ -amyláz), což způsobuje ztekucení a zcukření škrobu. Fermentace je krok, který trvá 4 - 48 hodin, zcukřená hmota je filtrována a filtrát má bílou až béžovou barvu dle výběru použité rýže. Sladkost a textura emulze je určena celkovým množstvím tuhých částic a stupněm rozložení škrobu. Jestliže, je kultivace příliš dlouhá, nápoj je velmi sladký, ale vzniká problém s vytvořením nakyslé chuti. Je zvykem, že se kultivace z tohoto důvodu ukončuje dříve a předejde se vzniku nežádoucích chutí. Nutriční nápoj připravený právě z rýže se nazývá Amazake. Pojem Amazake pochází z japonštiny a znamená sladké saké, obsahuje maltózu a glukóza je obsažena pouze ze 2 - 3 % celkového množství sacharidů. [51]

Druhý způsob výroby je moderní. Rýže o hmotnosti 45 kg se vloží do 80 litrů vody, přidá se 100 g  $\alpha$ -amylázy a směs se ohřeje na 80 °C po dobu 30 minut. Po uplynutí 30 minut je směs zahřáta na 100 °C po dobu 15 minut a následuje ochlazení na teplotu 60 °C. Zde se přidá 450 ml *glukosidázy*. Dalším krokem je filtrace, získání sušiny v množství 31 % a glukózy v sušině o obsahu 70 %. Hotový nápoj se může usušit a využívat místo sladidla například do pudíngů. [51]



Srovnání jednotlivých druhů rýžového mléka se do značné míry může značně odlišovat. Na trhu lze nalézt jak rýžová mléka tekutá v tetrapakových krabicích tak i sušená. Mléka obsažená v tetrapakových krabicích obsahují stabilizátory, regulátory kyselosti a emulgátory. Na trhu není nápoj, který by obsahoval pouze vodu a rýži. Do instantních rýžových nápojů jsou poté přidávány protispěkové látky i zahušťovadla. Výrobky z rýžových nápojů nesou většinou název a certifikát bio kvality. [70]



Obrázek 7: Diagram výroby rýžového nápoje moderním způsobem. [41]

### Příklady komerčního využití rýžového nápoje.



Obrázek 8: Tetrapackově balené rýžové nápoje. [39]



Obrázek 9: Sušené rýžové nápoje (autorská fotografie).

#### 1.4 Kravské mléko

Mléko má několik obecných definic. Nařízení Evropského parlamentu a Rady (ES) č. 853/2004 stanovuje mléko jako tekutý sekret samic savců, což plní primární funkci výživy narozeného mláděte. [53]

Nařízení Evropského parlamentu a Rady (EU) č. 1308/2013 formuluje pojmy mléko a konzumní mléko. Mléko dle tohoto nařízení je výrobek získaný dojením jedné nebo více krav a konzumní mléko je výrobek, který je obstaráván konzumentovi v neupraveném stavu. [55]

Základní a mezinárodně uznávaným standardem je název *Codex Alimentarius*: „Mléko“ je sekret mléčné žlázy zvířat produkujících mléko, získané dojením, do kterého nebylo nic přidáno ani z něho nebylo nic odebráno, a je určeno pro konzumaci v tekutém stavu nebo k dalšímu zpracování. [54]

Sekrety mléčné žlázy se mohou dle odlišného chemického složení rozdělit na dvě skupiny: mléka zralá a mléka nezralá. Mléko nezralé (mlezivo/kolostrum) se vylučuje mléčnou žlázou po porodu a slouží k výživě narozeného mláděte. Mléko zralé je obvyklé mléko v laktační periodě a je charakteristické pro příslušný druh savce, který jej produkuje. [57]

### Složení a vlastnosti kravského mléka

Chemické složení kravského mléka závisí na mnoha faktorech. Mezi nejvýznamnější patří plemeno skotu, jeho genetický potenciál, dále také způsob chovu, výživa, aktuální zdravotní stav dojnice, pořadí a fáze laktace, mikrobiální aktivita a v neposlední řadě enzymatické reakce vyskytující se v syrovém mléce. [16][56]

Kravské mléko obsahuje 86,0 - 88,0 % hm. vody a 12,0 - 14,0 % hm. sušiny. U zdravých dojnic by hodnota sušiny neměla klesnout pod 12 % hm., tuk pod 3 % hm. a tukuprostá sušina pod hodnotu 8,5 % hm. [16][56] Sušina kravského mléka je popsána v tabulce 3.

Hodnota pH kravského mléka se pohybuje v intervalu 6,5 - 6,7. Kravské mléko by mělo mít nasládlou chuť, kterou zapříčiňuje laktóza. Barva je neprůhledná a má bílou barvu. Nevýhodou je, že zachytává snadno okolní pachy, proto je velmi důležité dbát na hygienu. [52]

Tabulka 3: *Průměrné složení sušiny kravského mléka.* Upraveno dle [16][56]

Základní složky sušiny	Množství (v % hmotnostních)
dusíkaté látky	3,3 - 3,6
tuk	3,5 - 5,5
laktóza	4,5 - 5,0
vitamíny, minerální látky, enzymy, hormony	0,7 - 0,8

### Technologie výroby kravského mléka

Prvním krokem k výrobě kravského mléka je zisk - dojení. Dojení se provádí buď ručně, nebo strojově. [16][19]

Filtrace zabrání působení prostupu nečistot. Pokud se mléko nezačne ihned zpracovávat, musí se ochladit pod 10 °C (cílem je: udržet mikrobiologickou kvalitu, udržet přirozené organoleptické vlastnosti mléka a prodloužit dobu uchování.). Mléko přijaté v mlékárně musí být podrobena deaeraci, kdy se sníží obsah vzduchu a také se sníží riziko oxidace tuku. [16] Odstředování je další úkon vedoucí k odstranění tuku od mléčné plazmy na základě rozdílné hustoty. Část tuku se vrací zpět do mléka, ale pouze v takovém množství, které vyžaduje konkrétní produkt mléčného výrobku. [31]

Dalším krokem je homogenizace, tato operace má za úkol zmenšit velikost tukových kuliček a zvýšit viskozitu hmoty. Následně se využívá standardizace. Standardizace je úkon, kdy se získá odstředěné mléko a smetana o tučnosti 35 - 45 % hm. Plynule dochází k tepelnému ošetření mléka neboli pasteračnímu zásahu - nejčastěji se využívá vysoká pasterace (85 - 95 °C po dobu několika sekund). Cílem pasterace je snížení počtu nežádoucích mikroorganismů, prodloužení trvanlivosti a zajišťuje zdravotní nezávadnost. [16][19]

### Kasein

Kasein je hlavní bílkovinou mléka a je tvořen přibližně z 80 % celkového množství čistých bílkovin. Chemickou strukturou se jedná o komplex fosfoproteinů. K základním kaseinovým frakcím se řadí  $\alpha_{S1}$  -,  $\alpha_{S2}$  -,  $\beta$  -,  $\kappa$ - kasein a dále jsou podrobněji popsány. [58]

**$\alpha_{S1}$  - kasein** (obsahuje 199 aminokyselin) tvoří spolu s  **$\alpha_{S2}$  - kaseinem** (207 aminokyselin) největší podíl v kaseinovém komplexu,  $\alpha_S$  - kaseiny jsou hydrofilní, avšak v přítomnosti vápenatých iontů tvoří nerozpustné vápenaté soli. [16]

**$\beta$  - kasein** - jedná se o hydrofobní kaseinovou frakci, obsahuje 209 aminokyselin. V přítomnosti vápenatých iontů tvoří při běžných teplotách (20 °C) nerozpustnou sůl.

**$\kappa$  - kasein** - v přítomnosti vápenatých iontů se nesráží, obsahuje 169 aminokyselin. Stabilizuje  $\alpha_{S1}$  -,  $\alpha_{S2}$  - a  $\beta$  - kasein v přítomnosti vápenatých iontů a tím vytváří tzv. ochranný koloid. Jako jediný z kaseinových frakcí obsahuje glykoprotein, jenž obsahuje jeden fosfoserinový zbytek, proto se liší od ostatních frakcí. [16]

Kasein je v mléce přítomen ve formě micel. Z odstředěného mléka se kasein vysráží okyselením mléka za vzniku kyselého kaseinu (*acid casein*). Případně se mléko zpracuje enzymatickým syřidlem za vzniku sladkého kaseinu (*rennet casein*). Precipitovaný kaseinový tvaroh (*casein curd*) se oddělí od syrovátky, promyje a suší. Množství získaného kaseinu (*casein yield*) je závislé na době srážení (precipitace), koncentraci použitého syřidla, pH, teplotě aj. [65][66] Ve vodě rozpustné deriváty kyselých kaseinů, které vznikají reakcí s alkáliemi, nazýváme kaseináty. [60]

## 2 REOLOGIE

Původ slova reologie pochází z řeckého slova „*rheos*“ (tok, tekoucí) a „*logie*“ (studie, věda), doslovný překlad reologie znamená „studium toku“. Reologie je nauka o deformaci látek a toku hmoty, buď v kapalném nebo pevném stavu. [61][62]

Využití reologie spočívá obzvláště ve výzkumu mechanického chování viskoelastických látek, jelikož se mohou vlivem deformujících napětí chovat částečně jako viskózní látky a částečně jako pružná tělesa. Reologie mimo jiné popisuje chování plastických a nenewtonských látek na základě znalostí, že tyto dva typy materiálů pod vlivem smykových napětí mohou být deformovány. Dále se reologie zabývá vztahy mezi napětím a průtokem látek. [3][71]

Co se týče historie, ta sahá až do 20. let minulého století. První práci, která se zabývá danou tematikou, uveřejnil Markus Reiner. Dílo neslo název *Handbuch der Physik*. Následně došlo k založení společnosti *The Society of Rheology*, pod vedením E. C. Bingham, která pomohla k význačné propagaci reologie. Marcus Reiner se zapsal do dějin jako izraelský vědec a jeden z hlavních představitelů reologie (roku 1958 dostal Izraelskou cenu, jež znamená jedno z nejvyšších vyznamenání vůbec). Velkou podporou reologie jakožto vědy byl časopis *Journal of Rheology*, který s tímto názvem působí a vychází dodnes. Reologické vlastnosti mají vliv i na senzorické vlastnosti různých látek. [63][64]

### Viskozita

Viskozita je jednou ze základních fyzikálních veličin, která nám udává míru vnitřního tření kapaliny a odporu proti tečení. Je zřejmé, že čím větší je tření, tím větší je síla potřebná k vyvolání pohybu. Vysoce viskózní kapaliny z toho důvodu potřebují větší sílu k pohybu, oproti méně viskózním materiálům. Příkladem může být sirup, je to kapalina s vysokou viskozitou a deformuje se pomaleji, než tekutina s nízkou viskozitou, jako je tomu u vody. [72] Hodnoty viskozity nebývají při měnících se podmínkách konstantní, jelikož jsou ovlivněny mnoha faktory, například teplotou. Viskozita u všech tekutin klesá se zvyšující se teplotou a je nezávislá na tlaku. Viskozita je závislá na druhu kapaliny. [73][74]

### Newtonské kapaliny

Newtonův zákon je vyjádřen reologickou rovnicí, která je charakterizována přímou úměrou smykové rychlosti  $\gamma$  a smykovým napětím  $\tau$ . Viskozita se u takových látek s časem nemění. Můžeme tedy říct, že viskozita je nezávislá na smykové rychlosti. Viskozita newtonské kapaliny při určité teplotě zůstane konstantní, nehledě na rychlost smykového namáhání nebo model viskozimetru. Typické newtonské látky jsou voda, mléko, plyny, minerální a potravinářské rostlinné oleje. [72][74][75]

Newtonův zákon:

$$\tau = \eta * \gamma = \eta * \frac{du}{dx} \quad (1)$$

$\tau$  - smykové napětí (Pa)

$\eta$  - dynamická viskozita (Pa.s)

$\gamma$  - rychlostní gradient neboli rychlost smyku, rychlost deformace ( $s^{-1}$ )

$du$  - vzájemná rychlost pohybu smykových rovin, které jsou od sebe vzdálené o  $dx$ . [76]

### Nenewtonské kapaliny

Kapaliny, u nichž se při proudění mění jejich vnitřní uspořádání neboli struktura, vykazují nenewtonské chování. Jsou to takové kapaliny, pro něž smykové napětí není lineární k rychlosti smykové deformace. Viskozita nenewtonské kapaliny není konstantní a liší se od newtonských kapalin tím, že zde neplatí Newtonův zákon viskozity. Nejčastější typy nenewtonských kapalin, vyskytující se v potravinářském inženýrství, řadíme do pěti skupin, a těmi jsou: pseudoplastické, dilatantní, plastické, tixotropní a rheopektické kapaliny. [1][72][77][82]

Tabulka 4: Rozdělení nenewtonských kapalin a jejich popis. [84]

Popis chování	Popis	Příklad
<b>Pseudoplastické</b>	Viskozita klesá s rostoucí rychlostí smykové deformace	Smetana
<b>Dilatantní</b>	Viskozita vzrůstá s rostoucí rychlostí smykové deformace	Škrobová suspenze
<b>Binghamské</b>	Tečou až po překonání meze toku	Kečup
<b>Thixotropní</b>	Viskozita klesá s dobou působení smykového namáhání	Nátěrové hmoty
<b>Rheopektické</b>	Viskozita roste s dobou působení smykového namáhání	Suspenze bentonitu

### Smykové napětí

Smykové napětí  $\tau$  se definuje jako poměr síly  $F$  (N), na smykovou plochu  $A$  ( $m^2$ ). Její jednotkou je (Pa). V některých odborných člancích se může objevit značka pro napětí  $\sigma$ , touto značkou se spíše označuje napětí v tahu.

$$\tau = \frac{F}{A} \quad (2)$$

$\tau$  - smykové napětí,

$F$  - smyková síla

$A$  - smyková plocha [78]

### Smyková rychlost

Smyková rychlost  $\dot{\gamma}$  se definuje jako podíl rychlosti pohybu  $v$  (m/s) a vzdálenosti  $h$ . Jednotka smykové rychlosti je ( $s^{-1}$ ).

$$\dot{\gamma} = \frac{v}{h} \quad (3)$$

$\dot{\gamma}$  - smyková rychlost

$v$  - rychlost

$h$  - vzdálenost [78]

## 2.1 Využití reologie v potravinářství

Uplatnění reologie je velmi široké. Reologická analýza je klíčová pro potravinářský průmysl, jelikož poskytuje nejen komplexní popis tokového a viskoelastického chování látek, ale i výsledky ohledně mechanických vlastností potravin a následně podle výsledků lze popsat jednotlivé konzistence daných výrobků. Kromě toho se uplatňuje jak v geologii, tak příbuzných vědách jako je stavitelství. Velké využití skýtá v technických oborech věnovaných materiálům a jejich deformacím, dále pro výrobu plastů, kosmetiky nebo bioinženýrství. [63][80]

Dále se reologie využívá za účelem optimalizování vlastností ve vývoji produktů, pro provedení správného výrobního postupu a v neposlední řadě má vliv na jakost finálních výrobků. Těmito kroky eliminuje technologické problémy při výrobě potravin. Stejně tak je ovlivněna i tlakem, teplotou, složením vzorku, smykovou rychlostí, dobou

skladovatelnosti a vlivem texturních vlastností potravin. Neméně důležité vyjádření reologické analýzy jsou matematické stavové rovnice a grafickou podobu nám udávají tokové křivky. [63][79][80]

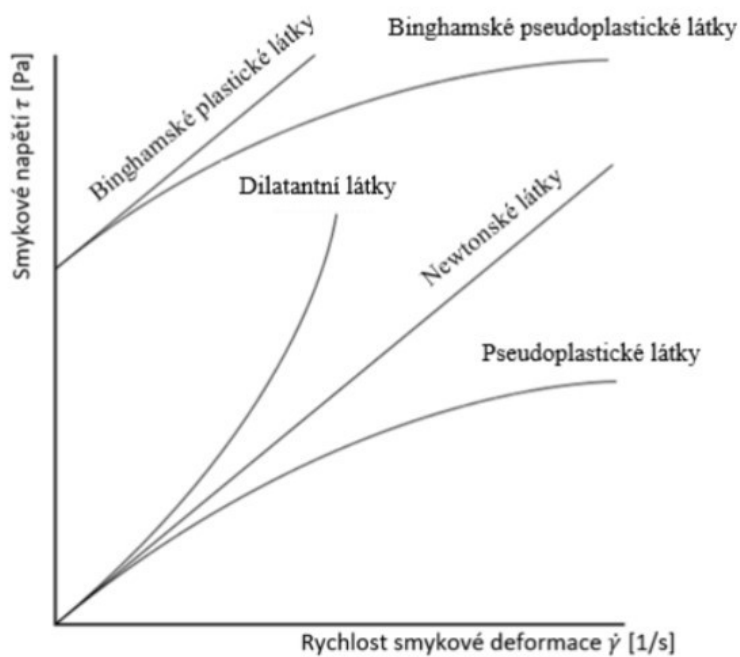
### 2.1.1 Reologické vlastnosti potravin

Reologické vlastnosti v potravinářství jsou využívány v následujících oblastech:

- prověřování skladovatelnosti,
- kontrola kvality výrobku – buď v průběhu výroby nebo na konci jako finální produkt,
- procesní inženýrství – propočty k usnadnění a řádnému fungování zařízení kterými jsou potrubí, mixéry, výměníky tepla,
- kontrola kvality výrobků,
- jak ovlivňuje textura potraviny její senzorické vnímání, atd. [84]

V praxi není omezený rozsah smykového namáhání schopen v některých případech získat potřebný rozsah reologických dat. Z toho důvodu dochází k opakovanému měření a vyhodnocení tokové charakteristiky dané látky z více přístrojů a na základě různých smykových rychlostí. [82]





Obrázek 10: Reogram časově nezávislých neneutonských látek.

Na obr. 10 je v grafu vyznačeno pět typů časově nezávislých látek u kterých lze vidět odlišnou závislost smykového napětí  $\tau$  na rychlosti smykové deformace  $\dot{\gamma}$ . Pseudoplastické látky jsou charakterizovány tím, že s rostoucí rychlostí smykové deformace dochází nejen ke snížení jejich viskozity, ale i ke snížení odporu vůči toku: hodnota  $\tau$  při vyšším smykovém namáhání narůstá jen pozvolna, jak je znázorněno na obr. 10. K typickým pseudoplastickým látkám se řadí kečup, zubní pasty, kolagen. Tyto látky, pokud na ně působíme vnější silou a zvyšujeme rychlost deformace, se stávají tekutějšími. Další z neneutonských látek jsou látky dilatantní, tyto látky vykazují opačné chování oproti pseudoplastickým. Se vzrůstající viskozitou se při vyšší rychlosti smykové deformace zvyšuje i jejich smykové napětí a snižuje tok. Klasickým příkladem dilatantních látek je koncentrovaná škrobová suspenze. [79][83]

Příklady potravin a typy přístrojů, na nichž jsou měřeny:

- hořčice, kečup – Bostwickův konzistometr [84]
- voda, mouka (těsto) – farinograf [85]
- olej, mléko, mléčný nápoj (newtonské kapaliny) – rotační viskozimetr (geometrie válec-válec)
- jogurt, zakysaná smetana, škrobová suspenze (nenewtonské kapaliny) – rotační viskozimetr (geometrie válec-válec)
- dětská přesnídávka (s masem, zeleninou atd.) – rotační reometr (geometrie deska-deska). [84]

## 2.2 Prášková reologie

Prášková reologie se zabývá stanovením tokových, sypných, kohezních a konsolidačních vlastností práškových materiálů, které rozhodují o chování těchto látek během jejich zpracování. Různé parametry mohou ovlivňovat reologické vlastnosti materiálů; mezi tyto parametry náleží distribuce velikosti a tvaru částic, teplota, vlhkost, měrný povrch, jeho drsnost a elektrostatický náboj. Z praktického hlediska existují jednoduché metody měření práškové reologie, jako jsou sypná a setřesná hustota v odměrném válci, sypný úhel či stanovení tekutosti skrz definovanou násypku. Lze také využít práškové rotační a smykové reometry.

Moderní analyzátory práškové reologie sledují pouze počáteční a koncový stav měřeného prášku (sesypávání, setřásání, atd.). To znamená, že sledují celý proces setřásání a zaznamenávají automaticky hustotu po každém setřesu, zjišťují sypný úhel ze všech stran (více úhlů), sledují dynamický sypný úhel a kohezi materiálu v rotujícím bubnu, určují množství elektrostatického náboje vygenerovaného pneumatickou dopravou či pouhým sypáním materiálu. Prášková reologie je velmi důležitá pro studium vlastností potravinářských prášků, jako jsou sušená mléka, koření, aj. Uplatňuje se též v chemickém a farmaceutickém průmyslu stejně jako v práškové metalurgii. [86]

### 2.2.1 Konsolidační napětí

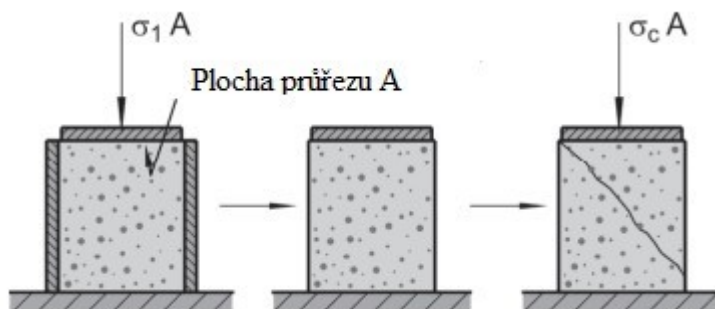
Pro různá normálová napětí představuje hranice meze kluzu (*yield limit*) smykové napětí, které je nutné k vyvolání pohybu (proudění) práškového materiálu. S rostoucí konsolidací prášku se místa kluzu (*yield loci*) posouvají směrem k vyšším smykovým napětím. Místa kluzu se využívají při analýze problémů tváření plastických látek; poskytují způsob, jak zjistit, zda jednoosý nebo víceosý stav napětí může způsobit plastickou deformaci v daném materiálu.

Tekutost konkrétního prášku může být stanovena kvantitativně měřením jeho síly. To je prokázáno jednoosým kompresním testem (*uniaxial compression test*). Dutý válec se stěnami bez tření je naplněn práškovým vzorkem. Vzorek je zatížen vertikálně konsolidačním napětím (*consolidation stress*), které se označuje  $\sigma_1$ , protože je totožné s hlavním napětím (*major principal stress*). Vlivem konsolidačního zatížení se zvyšuje jak hustota (objemová hmotnost), tak i pevnost práškového vzorku. [87]

### 2.2.2 Mez kluzu

Po konsolidaci měřeného práškového materiálu se dutý odměrný válec vyjme. Pokud je následně zpevněný válcový vzorek zatížen rostoucím vertikálním tlakovým napětím, dojde k jeho přetržení (porušení) při určité hodnotě napětí (viz. obr. 11), které se nazývá mez pevnosti v tlaku  $\sigma_c$  (*unconfined yield strength*), případně mez kluzu, a vyjadřuje tlakovou pevnost materiálu. [87]

Objemová hmotnost  $\rho_b$  a mez pevnosti v tlaku  $\sigma_c$  se zvyšují s rostoucím konsolidačním napětím  $\sigma_1$ . Funkce  $\sigma_c(\sigma_1)$  se nazývá toková funkce. [87]



Obrázek 11: Jednoosá zkouška tlakem [87]

### 2.2.3 Tekutost práškových materiálů

Vzhledem k tomu, že k zahájení toku musí být překonána pevnost prášku, lze tekutost (*flowability*) prášku definovat na základě jeho meze kluzu,  $\sigma_c$ , v závislosti na konsolidačním napětí,  $\sigma_1$ :

$$ff_c = \frac{\sigma_1}{\sigma_c} \quad (4)$$

$\sigma_1$  - napětí působící během konsolidace (kPa)

$\sigma_c$  - mezní stav napjatosti vzorku konsolidovaného napětím  $\sigma_1$  (kPa)

Čím vyšší je hodnota tekutosti, tím snadnější je vyvolat tok prášku. To znamená, že číselnou hodnotu tekutosti (tokovosti) prášku je možno převést na informaci o jeho ochotě téct. Je možné konstatovat, že se zvyšující se hodnotou tokovosti je uvedení látky k toku snazší. Na základě průběhu tokové křivky v zónách ohraničených přímkami znázorňujícími jednotlivé indexy toku lze dojít k závěru, že se index toku s rostoucí konsolidací zvyšuje. [92] Následující klasifikace, navržená A. W. Jenikem (1964), reprezentuje význam různých hodnot tokové funkce, vyjádřené pomocí indexu toku  $ff_c$ :

$ff_c < 1$  netekoucí materiál,

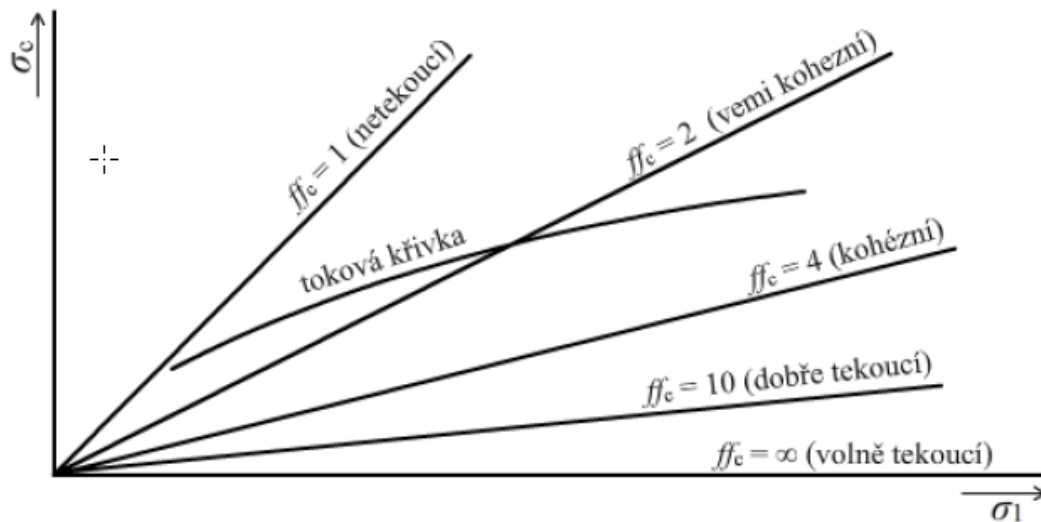
$1 < ff_c < 2$  velmi soudržný materiál,

$2 < ff_c < 4$  soudržný materiál,

$4 < ff_c < 10$  snadno tekoucí materiál,

$10 < ff_c$  volně tekoucí materiál.

Ilustrace odpovídajících hodnot indexu toku  $ff_c$  je znázorněna na obrázku 12.



Obrázek 12: Typy práškových materiálů definované indexem toku  $ff_c$  v grafu závislosti meze kluzu  $\sigma_c$  na konsolidačním napětí  $\sigma_1$ . [92]

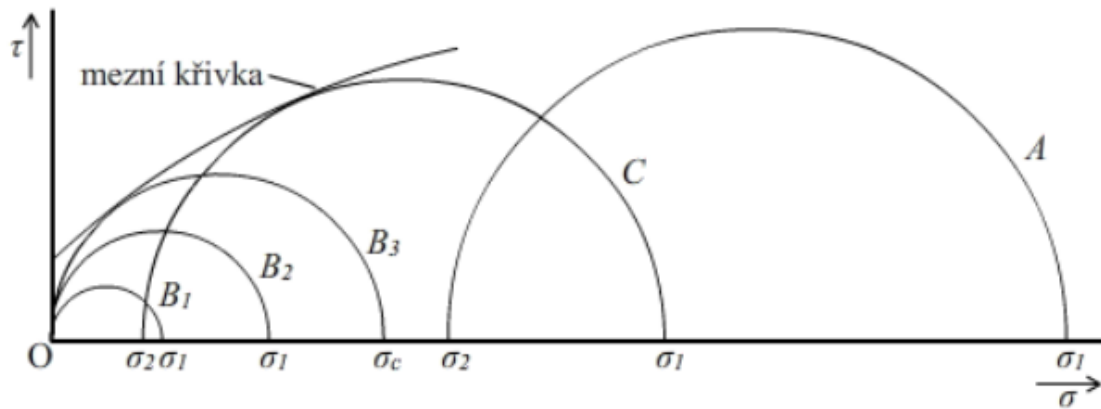
Hodnota tokové funkce závisí na konsolidačním napětí, jelikož  $\sigma_c$  není přímo úměrná  $\sigma_1$ . Tím pádem, každá hodnota  $ff_c$  stejně jako odpovídající klasifikace kohezivitu prášku se vztahuje na úroveň napětí, kterému je prášek vystaven. Hodnoty pevnosti některých prášků narůstají, pokud jsou delší dobu skladovány v klidu pod tlakovým namáháním (např. v násypce). Tento efekt se nazývá časová konsolidace nebo spékání (*caking*). Časovou konsolidaci lze určit testem znázorněným na obr. 11. Za tímto účelem je vzorek vystaven konsolidačnímu napětí  $\sigma_1$  po definovanou dobu (např. jeden den). Poté se určí neomezená mez kluzu podle principu vysvětleného výše. Tekutost se pak vypočítá pomocí rovnice (4). [87]

#### 2.2.4 Mohrovy kružnice

V průběhu konsolidace práškového materiálu je rozložení napětí v konsolidovaném vzorku vyjádřeno pomocí Mohrovy kružnice (Mohrova kružnice označená na obr. 13 písmenem *A*). [87] Mohrova kružnice je symetrická vůči ose normálového napětí  $\sigma$ , proto se běžně znázorňuje pouze část odpovídající kladným hodnotám smykového napětí  $\tau$ . [92] Kolmo na svislé napětí převažuje napětí horizontální podle hodnoty poměru napětí *K*. Pojem poměr napětí *K* je vyjádřen jako poměr horizontálního napětí k vertikálnímu napětí. Typické hodnoty *K* jsou mezi 0,3 - 0,6. [87]

Mohrovy kružnice popisují tři stavy napjatosti materiálu ve válci; během zvyšování napětí jsou tyto stavy označeny jako  $B_1$ ,  $B_2$  a  $B_3$  – viz. obr. 13. Během testování je při hodnotě zatížení odpovídající kružnici  $B_3$  pozorován počátek toku materiálu – je dosaženo *mezního stavu napjatosti*. Tímto je dosažena hodnota vertikálního zatížení, která je nezbytná k uvedení dotyčného materiálu, konsolidovaného daným napětím, k toku. Při této hodnotě na vzorek nepůsobí žádné horizontální napětí. Obdobným způsobem lze stanovit hodnoty prosté meze kluzu během působení nenulových horizontálních napětí  $\sigma_2$ . Na obr. 13 Mohrova kružnice *C* znázorňuje výsledek stanovení meze napjatosti pro dané horizontální napětí  $\sigma_2$ . Tečná (obalová) křivka Mohrových kružnic *A* a *C* reprezentuje všechny mezní stavy napjatosti pro daný materiál a je označována jako *mezní křivka*. Mohrovy kružnice, které jsou tečné k této křivce reprezentují stav napjatosti, kdy práškový materiál začíná téct. Mohrovy kružnice  $B_1$  a  $B_2$ , nacházející se pod mezní křivkou, odpovídají klidovému stavu materiálu, při němž nebyly překonány vazby mezi částicemi a vlivem působícího tlaku dochází jen k elastické deformaci dotyčného materiálu. [92]

Jak vertikální, tak horizontální napětí jsou napětí, kde se protíná Mohrova kružnice s osou  $\sigma$ , protože v těchto rovinách nedochází k působení smyku. Vzorek je narušen, jakmile se Mohrova kružnice napětí začne dotýkat místa kluzu (kruh  $B_3$ ). Nyní dochází ke splnění kritéria toku (*yield criterion*): V rovině řezu vzorku je daný bod, kde se Mohrova kružnice napětí dotýká místa kluzu a smykové napětí je dostatečně vysoké, aby se pohnuly částice přes sebe, podle definice meze kluzu. [87] Průběh mezní křivky závisí na předchozí konsolidaci materiálu. Při rostoucí míře konsolidace je dosahováno větší objemové hmotnosti prášku, která se projevuje zvyšováním tlaku potřebného k dosažení mezního stavu napjatosti. Zakreslením vyšších hodnot  $\sigma_c$  do grafu závislosti tím dojde ke zvětšení poloměru Mohrových kružnic a posunu mezní křivky ve směru rostoucích hodnot smykového a normálového napětí. [92]



Obrázek 13: Měření mezní křivky s využitím Mohrových kružnic. A, B, C - průměry Mohrových kružnic;  $\sigma_c$  - neomezená mez kluzu;  $\sigma_{1,2}$  - konsolidační napětí. [92]

## **II. PRAKTICKÁ ČÁST**



### 3 CÍL PRÁCE

Cílem předkládané diplomové práce je stanovit reologický profil práškových potravinářských matric, konkrétně sušeného plnotučného mléka, instantních rostlinných náhražek mléka a sušeného kaseinátu sodného.

Teoretickým cílem je předložit literární rešerši na téma práškových potravinářských výrobků, formulovat jejich vlastnosti, přípravu a využití v potravinářském průmyslu. Dalším cílem je definovat předmět reologie a její využití v potravinářství. Zejména bude popsána prášková reologie a typické reologické parametry stanovované za pomoci příslušných technik.

V praktické části budou naměřeny tokové křivky na práškovém reometru, bude provedeno jejich numerické hodnocení a získané výstupy znázorněny pomocí Mohrových kružnic napětí a sloupcových grafů. Budou diskutovány a porovnány naměřené reologické parametry v souvislosti s nutričním složením zkoumaných potravinářských vzorků. Na základě získaných výsledků budou charakterizovány možné praktické aplikace těchto vzorků v potravinářství.

## 4 MATERIÁL A METODIKA

K provedení experimentu bylo využito celkem 6 typů potravinářských produktů. Jednalo se o sušené plnotučné kravské mléko, sušené rostlinné náhražky mléka (kokosový, sójový, rýžový a pohankový nápoj) a kaseinát sodný.

### 4.1 Vzorke práškových potravin

K reologické analýze byly vybrány práškové vzorky potravin popsané v následujících kapitolách. Bylo zkoumáno sušené kravské mléko, instantní rostlinné náhražky mléka a práškové kaseináty sodné. Výživové údaje sušeného mléka a jeho rostlinných náhražek jsou uvedeny v příslušných tabulkách (tab. 5-6). Vlhkost všech měřených prášků byla < 3 % hm.

#### 4.1.1 Sušená kravská mléka

V případě sušených mlék bylo k výzkumu zvoleno sušené plnotučné mléko od firmy Bohemilk a.s. (ČR). Nutriční údaje tohoto výrobky jsou uvedeny v tabulce 5.

Tabulka 5: Nutriční hodnoty sušeného plnotučného mléka.

Název produktu	Výživové údaje na 100 g			
	Tuky	Sacharidy	Bílkoviny	Sůl
Plnotučné mléko Bohemilk 400g	26 g	39 g	26 g	0,82 g



Obrázek 14: Sušené plnotučné mléko Bohemilk (autorská fotografie).

#### 4.1.2 Instantní rostlinné náhražky mléka

V rámci rostlinných náhražek mléka byly k analýze zvoleny instantní sušené výrobky od firmy Topnatur s.r.o. (ČR). Jejich výživové údaje jsou uvedeny v tabulce 6. Jako směšovací poměr pro přípravu instantního nápoje je doporučeno 25 g směsi + 250 ml vody.

Tabulka 6: Nutriční hodnoty instantních prášků rostlinných náhražek mléka.

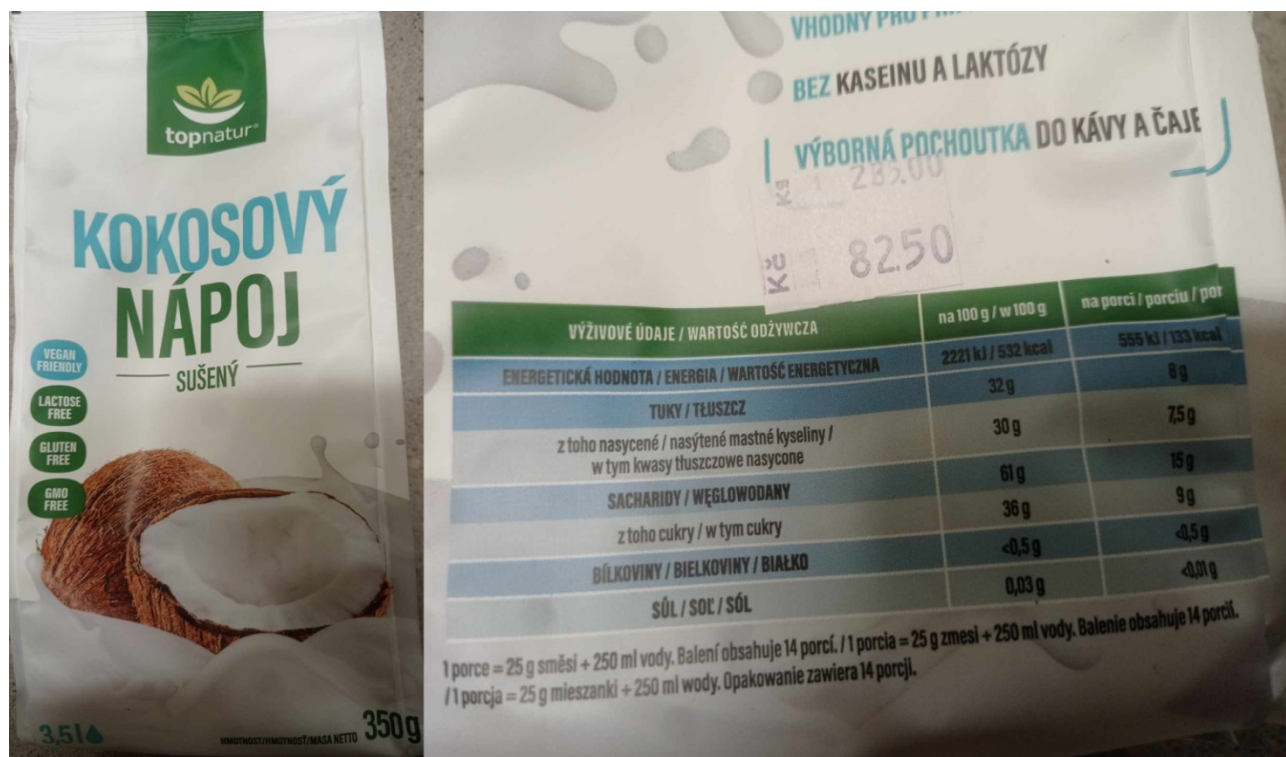
Název produktu	Výživové údaje na 100 g výrobku				
	Tuky (g)	Sacharidy (g)	Bílkoviny (g)	Sůl (g)	Vláknina (g)
Pohankový nápoj Topnatur (350 g pro přípravu 3,5 l nápoje)	23	59 g	2,1 g	0,03 g	11 g
Kokosový nápoj Topnatur (350 g pro přípravu 3,5 l nápoje)	32	61 g	<0,5 g	0,03 g	-
Rýžový nápoj Topnatur (350 g pro přípravu 3,5 l nápoje)	21	62 g	1,7 g	0,03 g	9,3 g
Sójový nápoj Topnatur (350 g pro přípravu 3,5 l nápoje)	9,8	37 g	30 g	1,7 g	11 g

Pozn.: Pomlčka v tabulce značí, že výrobce nedeklaruje danou složku.

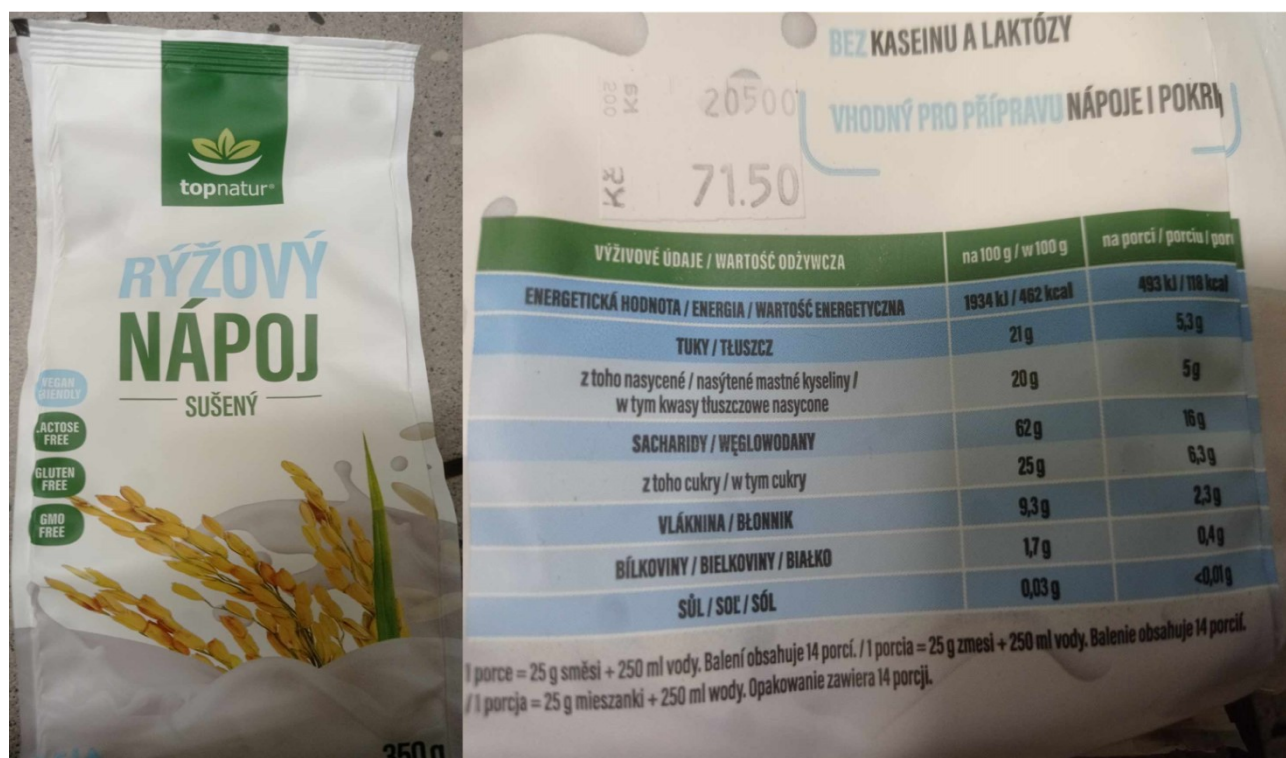


Obrázek 15: Pohankový nápoj sušený Topnatur (autorská fotografie).





Obrázek 16: Kokosový nápoj sušený Topnatur (autorská fotografie).



Obrázek 17: Rýžový nápoj sušený Topnatur (autorská fotografie).



Obrázek 18: Sójový nápoj sušený Topnatur (autorská fotografie).

### 4.1.3 Hovězí kaseinát sodný

K měření reologických vlastností byly využity vzorky hovězího kaseinátu sodného dodané společností Sigma-Aldrich (USA). Produkt je znázorněn na obr. 19. Vzorky měly následující specifikaci:

- CAS: 9005-46-3,
- šarže C 8654.

Kaseináty sodné byly charakterizovány specifickou aerací (AR, *aeration*). Aerace se vztahuje k míře provzdušnění prášku, tj. k objemu vzduchu, který prochází definovanou plochou vzorku pod určitým tlakem. Přístup nebo ztráta vzduchu může do značné míry ovlivnit tekutost prášku a tím i jeho funkční vlastnosti. [88] Aerace zkoumaných vzorků byla stanovena o hodnotě  $9,37 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{min}$ , což odpovídá běžné hodnotě pro tyto práškové materiály v rozmezí  $2 < \text{AR} < 20$ .



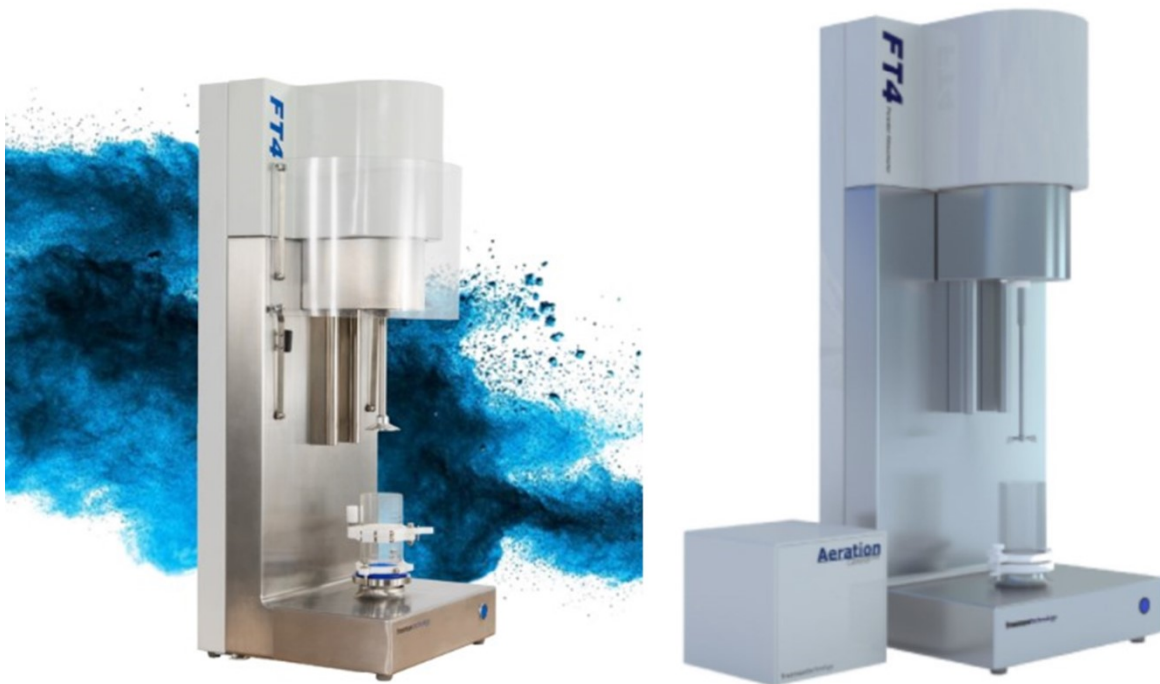
Obrázek 19: Kaseinát sodný z kravského mléka (Sigma-Aldrich, USA). [93]



## 4.2 Práškový reometr a princip měření

Práškový reometr FT4 Powder Rheometer® (Freeman technology, GB) byl využit ke stanovení tokových vlastností potravinářských prášků. Tento typ reometru je plně automatizován a je charakterizován vysokou citlivostí, opakovatelností a reprodukovatelností. Jeho praktické uplatnění spočívá v simulaci výrobních procesů a ve zlepšení kvality práškových produktů. Je aplikovatelný v oblasti potravinářství, farmacie, kosmetiky, charakterizaci práškových a stavebních materiálů i v dalších odvětvích. [89]

Možnosti měření zahrnují dynamické metody (např. stanovení stability, rychlosti toku, aerace), objemové metody (určení kompresibility, permeability vzduchu napříč ložem prášku) a smykové metody (test ve smykové cele a test stěnového tření). [90]



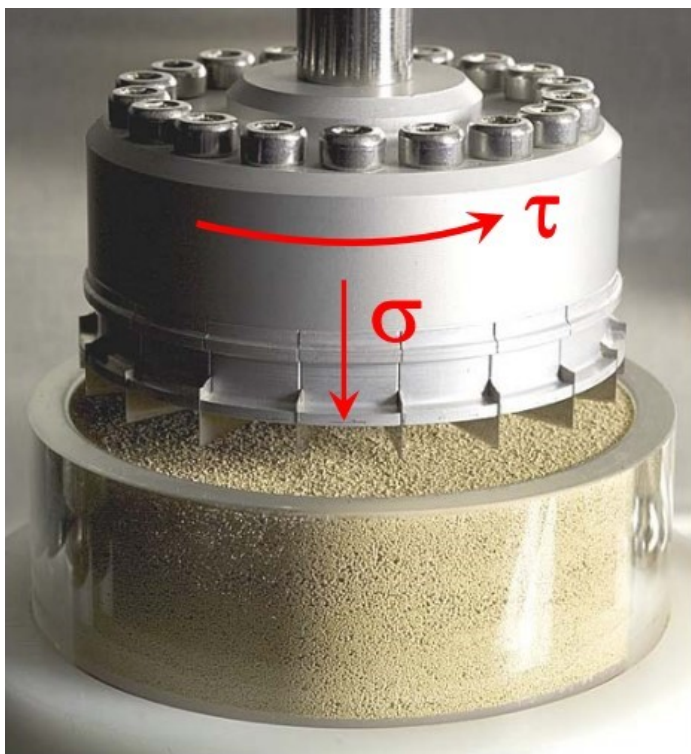
Obrázek 20: Práškový reometr typ FT4 Powder rheometer (Freeman technology, UK).

Reometr FT4 složený ze smykové cely je znázorněn na obr. 20. K měření byla využita 25mm rotační smyková cela; ilustrativní modul smykové cely je na obr. 21. Na tomto přístroji byly práškové vzorky podrobeny reologickým měřením při konsolidačním napětí 15 kPa. Vzorky kaseinátu byly vybrány pro měření při různých konsolidačních napětích: 15, 9, 6 a



3 kPa. Dále byla stanovena stabilita práškových vzorků, viz kap. 4.4. Všechna měření proběhla při teplotě  $(23 \pm 1) ^\circ\text{C}$  a relativní vlhkosti  $(21 \pm 2) \%$ .

Princip měření tokových vlastností prášků byl následující: hlava reometru vyvolávala smykové napětí  $\tau$  i normálové napětí  $\sigma$ . Smyková hlava se pohybovala směrem dolů, lopatky byly zasunuty do prášku a tím na vzorek působila vertikální normálová síla, která byla přepočítána na normálové napětí  $\sigma$ . Smyková hlava se pohybovala dolů až do dosažení požadovaného normálového napětí, které zůstávalo konstantní po celou dobu měření ve smyku. Následné otáčení smykové hlavy vyvolávalo smykové napětí  $\tau$ . Prášek kladl odpor vůči rotaci střižné hlavy, přičemž smykové napětí narůstalo až do doby, kdy se lůžko prášku rozpadlo a bylo vyvoláno maximální smykové napětí. [91]



Obrázek 21: Modul rotační smykové cely reometru.

### 4.3 Sestavení tokových křivek a Mohrových kružnic napětí

Výstupem měření byly tokové křivky, znázorňující závislost smykového napětí na normálovém napětí. Na základě tokových křivek byly sestaveny Mohrovy kružnice charakterizující rozložené napětí v konsolidovaném vzorku. Stanovené body ve smyku byly proloženy přímkou, tj. mezní tokovou křivkou, ze které vycházely Mohrovy kružnice, které vůči ní byly tečné. První Mohrova kružnice procházela počátkem a z jejich průsečíků s osou  $\sigma$  byly zjištěny meze kluzu  $\sigma_c$  pro jednotlivé vzorky. Z průsečíků s osou  $\sigma$  druhé Mohrovy kružnice bylo zjištěno hlavní konsolidační napětí  $\sigma_1$ . Na základě těchto údajů byla vypočítána hodnota indexu toku  $ff_c$ . Dalšími údaji, které byly z tokové křivky zjištěny, byla kohezivita a vnitřní úhel tření, který svírala přímka s osou normálového napětí.

### 4.4 Stanovení stability práškových vzorků

Při měření stability byly práškové vzorky podrobeny sérii identických měření. Index stability (SI, *stability index*) byl vypočítán na přístroji na základě následujícího vzorce:

$$SI = \frac{\text{Energy test 7}}{\text{Energy test 1}} \quad (5)$$

Hodnoty pro Energy test 1 a 7 byly odečteny z grafu závislosti energie spotřebované během testu (mJ) na čísle daného testu. [91]

Pro hodnoty  $SI \approx 1$  hovoříme o robustním stabilním materiálu. V případě  $SI > 1$  nebo  $SI < 1$  lze zkoumaný materiál charakterizovat jako méně stabilní, u něž může docházet ke změnám v průběhu toku. Příčiny této nestability mohou spočívat v segregaci nebo odvzdušnění prášku. Jsou-li částice malé a materiál je soudržný, důvody nestability mohou zahrnovat odvzdušnění, aglomeraci nebo spékání. Pro materiály s širokou distribucí velikosti částic je pravděpodobné, že jejich nestabilita je vyvolána spíše segregací než aglomerací. U práškových materiálů jsou odchylky hodnot SI v rámci jedné desetiny běžné a očekávané. [91]

## 5 VÝSLEDKY A DISKUZE

V následující diskuzi jsou vyjádřeny a porovnány hodnoty reologických parametrů stanovených pro práškové materiály vybraných vzorků rostlinného a živočišného původu. Pomocí grafického znázornění byly diskutovány rozdíly mezi jednotlivými vzorky potravin z hlediska jejich reologického chování. Konkrétně byly zkoumány hodnoty kohezivity, meze kluzu, hlavního napětí, indexu toku, vnitřního úhlu tření, objemové hmotnosti a menšího konsolidačního napětí. Tyto reologické parametry byly primárně závislé na složení zkoumaných práškových materiálů, tj. na obsahu jejich nutričních složek: tuků, proteinů, sacharidů, vlákniny aj. Tato závislost byla ověřena s využitím analýzy variability (jednofaktorové ANOVA metody) na hladině významnosti  $\alpha = 5 \%$ . Byly porovnány statistické rozdíly v reologických parametrech stanovených při aplikování téhož napětí (15 kPa), přičemž typ (složení) vzorku byl pojímán jako zkoumaný statistický faktor. Bylo zjištěno, že rozdíly v naměřených hodnotách reologických parametrů byly statisticky významné, jak pro jednotlivé statistické soubory dokazovaly hodnoty pravděpodobnosti  $P$  nižší než 0,05 a hodnoty Fisherovy distribuce  $F$  vyšší než kritické hodnoty dotyčné distribuce. Lze tedy konstatovat, že složení studovaných prášků (sušeného plnotučného mléka, rostlinných náhražek mléka a kaseinátu sodného) mělo statisticky významný vliv na jejich tokové chování.

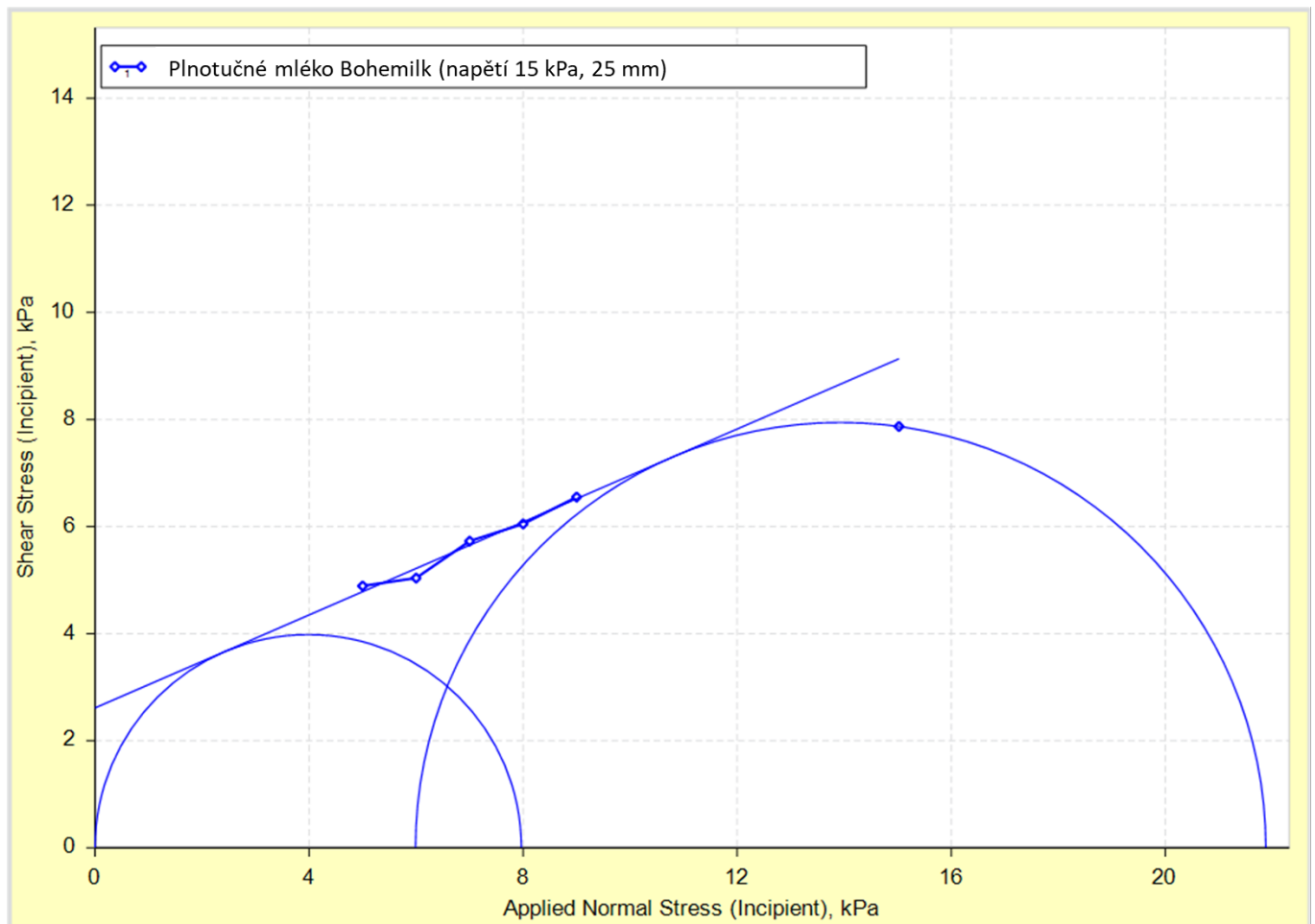
### 5.1 Index stability

Soudržnost struktury práškových vzorků byla ověřena za pomoci indexu stability. Všechny prášky vykazovaly vysokou stabilitu, což ilustrovaly jejich indexy stability stanovené kolem hodnoty 1,0. Tento poznatek indikuje, že se jednalo o stabilní práškové materiály, jejichž struktura byla odolná vůči změnám v průběhu toku. Z toho vyplývá, že zkoumané potravinářské prášky nevykazovaly na začátku a na konci testu významné změny ve velikosti a tvaru částic.

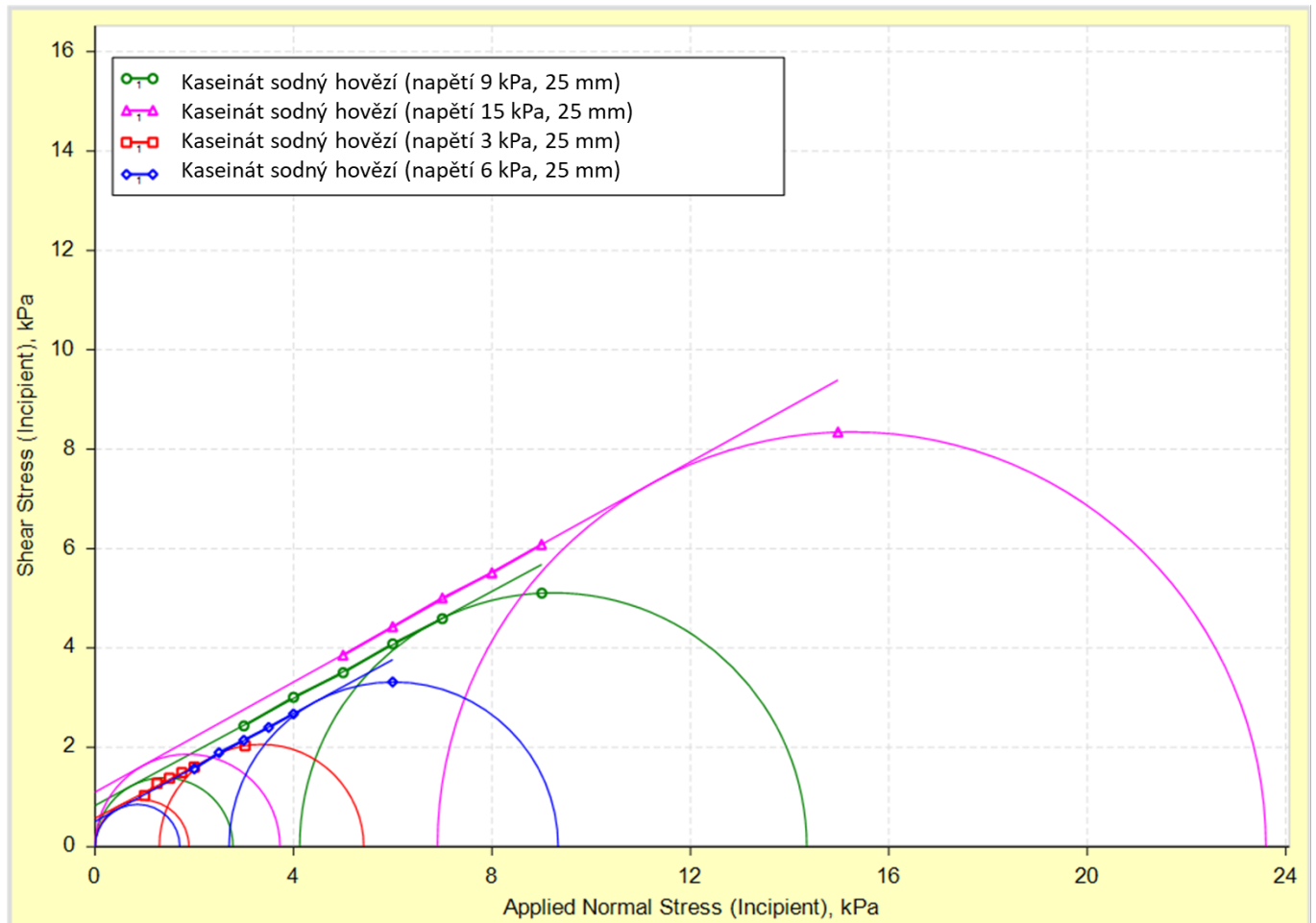
## 5.2 Tokové křivky a Mohrovy kružnice napětí

Na obr. 22 je patrná závislost smykového napětí na aplikovaném normálovém napětí 15 kPa pro vzorek plnotučného mléka Bohemilk, graficky vyjádřená pomocí Mohrovy kružnice napětí. Tatáž závislost je graficky znázorněna na obr. 23 pro vzorky hovězího kaseinátu sodného, měřeného při různých hodnotách napětí (3 kPa, 6 kPa, 9 kPa a 12 kPa). Vzorky rostlinných náhražek mléka (kokosový, sójový, pohankový a rýžový nápoj) měřené při napětí 15 kPa jsou zobrazeny na obr. 24.

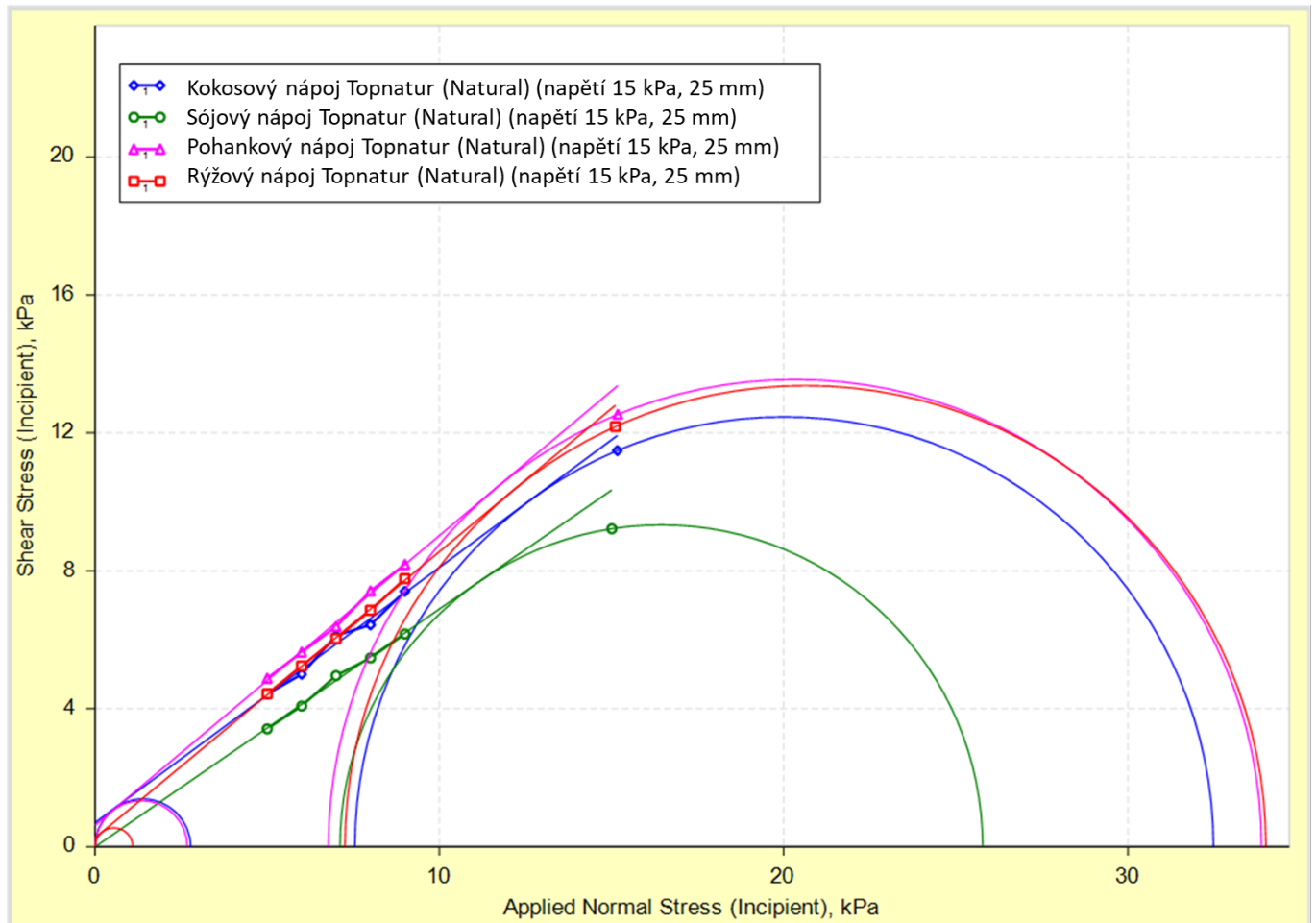
Rozdílnost naměřených Mohrových kružnic spočívá v posunu místa kluzu (*yield locus*) směrem k vyšším hodnotám normálového a smykového napětí u vzorků s vyšší soudržností (s více kohezní strukturou), což je dáno specifickým charakterem a složením zkoumaných matric. Jak uvádí Mariano (2024), zmíněný posun místa kluzu je umožněn vzrůstající konsolidací práškového materiálu, jež následně ovlivňuje stanovené reologické parametry. [94] Tato závislost byla pozorována i u vzorků v naší studii. Naměřené hodnoty tokových parametrů byly výslednicí různých faktorů, zahrnujících složení práškových vzorků, tvar a velikost částic, a také působení kohezivních sil a elektrostatických interakcí. [99]



Obrázek 22: Toková křivka s Mohrovými kružnicemi napětí pro vzorek práškového plnotučného mléka Bohemilk. Shear stress (incipient) = smykové napětí (počáteční); Applied Normal Stress (incipient) = aplikované normálové napětí (počáteční).



Obrázek 23: Tokové křivky s Mohrovými kružnicemi napětí pro vzorky hovězího kaseinátu sodného. Shear stress (incipient) = smykové napětí (počáteční); Applied Normal Stress (incipient) = aplikované normálové napětí (počáteční).



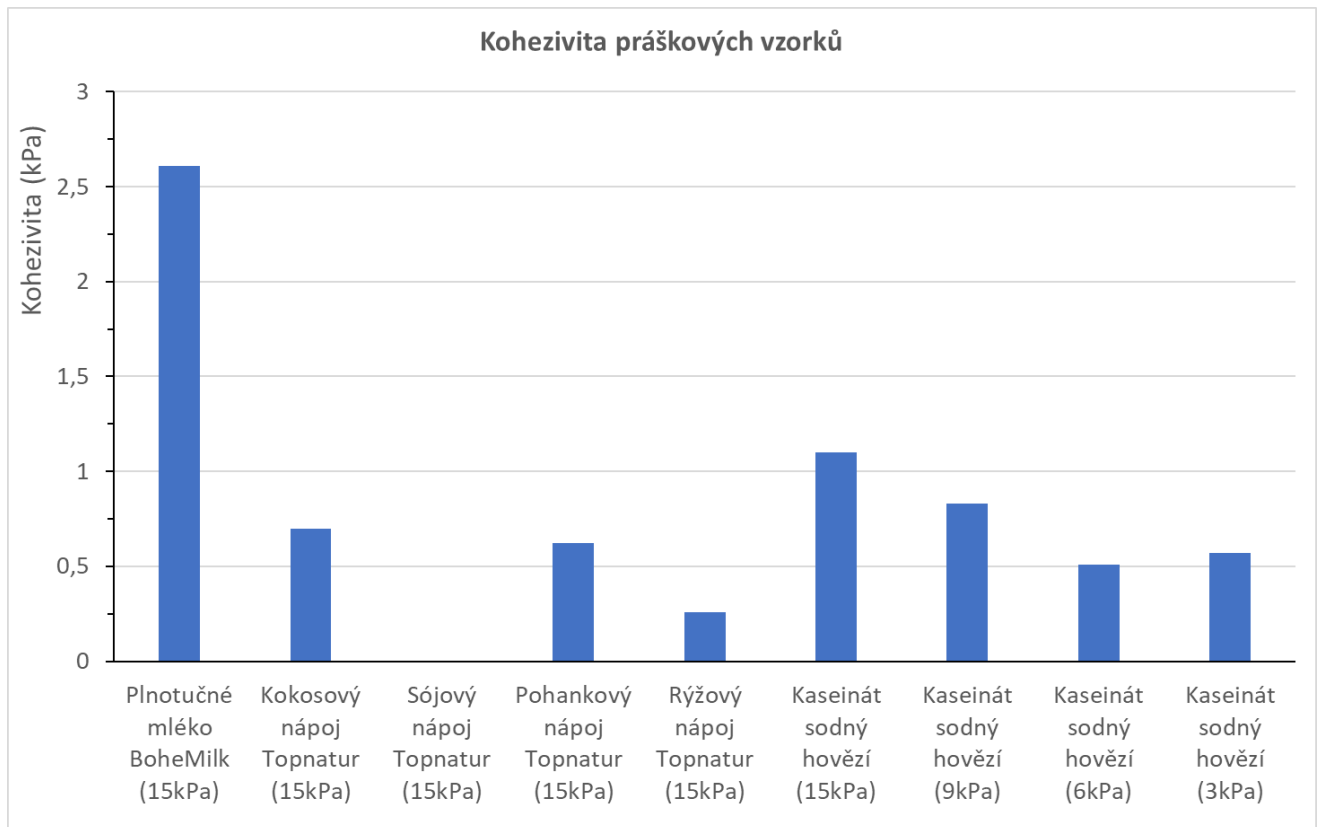
Obrázek 24: Tokové křivky s Mohrovými kružnicemi napětí pro vzorky rostlinných nápojů. Shear stress (incipient) = smykové napětí (počáteční); Applied Normal Stress (incipient) = aplikované normálové napětí (počáteční).

### 5.3 Kohezivita

Na obr. 25 je znázorněna kohezivita (soudržnost) měřených práškových vzorků. Jak je patrné ze sloupcového grafu, nejvyšší hodnota kohezivity (2,61 kPa) byla stanovena pro plnotučné mléko Bohemilk, což může být vztahováno k relativně vysokému obsahu tuku v tomto sušeném mléce (26 hm. %), který pravděpodobně působí jako ztužující složka v matici vzorku. Ve srovnání s tímto plnotučným mlékem byly pro rostlinné náhražky mléka zjištěny významně nižší hodnoty: pro sójový nápoj se hodnota kohezivity blížila 0 kPa, zatímco pro rýžový nápoj tato hodnota činila 0,26 kPa. Tyto nízké hodnoty pravděpodobně souvisí s nižším obsahem tuku v sójovém a rýžovém nápoji. Kokosový a pohankový nápoj vykazovaly podobné hodnoty kohezivity (0,70 a 0,62 kPa). V rámci kategorie hovězího kaseinátu sodného byly hodnoty kohezivity určeny v rozmezí 0,5 - 1,1 kPa, v závislosti na míře aplikovaného napětí. S klesající hodnotou napětí byl u kaseinátu sodného zaznamenán klesající trend soudržnosti, indikující nižší konsolidaci práškového materiálu.

Vysoká míra kohezivity prášku koreluje s vysokou pevností ve smyku (*shear strength*), která brání práškovému materiálu téci. Jak uvádí Parekh et al. (2023), kohezivita prášku souvisí do značné míry s jeho adhezivitou (lepivostí) a mírou tření [95]. Tyto poznatky lze vztáhnout k výsledkům naší studie, která dokazuje, že plnotučné mléko, charakterizované nejvyšší mírou kohezivity mezi zkoumanými vzorky, má současně nejnižší index toku a nejnižší vnitřní úhel tření, jak je popsáno v kapitolách 5.6 a 5.7. Oproti tomu rýžový a pohankový nápoj, vykazující vysokou tekutost a vnitřní úhel tření, mají relativně malou kohezivitu. V této souvislosti můžeme konstatovat, že van der Waalovy síly mezi částicemi, jež přispívají ke kohezivitě prášku [96], jsou nejsilnější u sušeného plnotučného mléka.

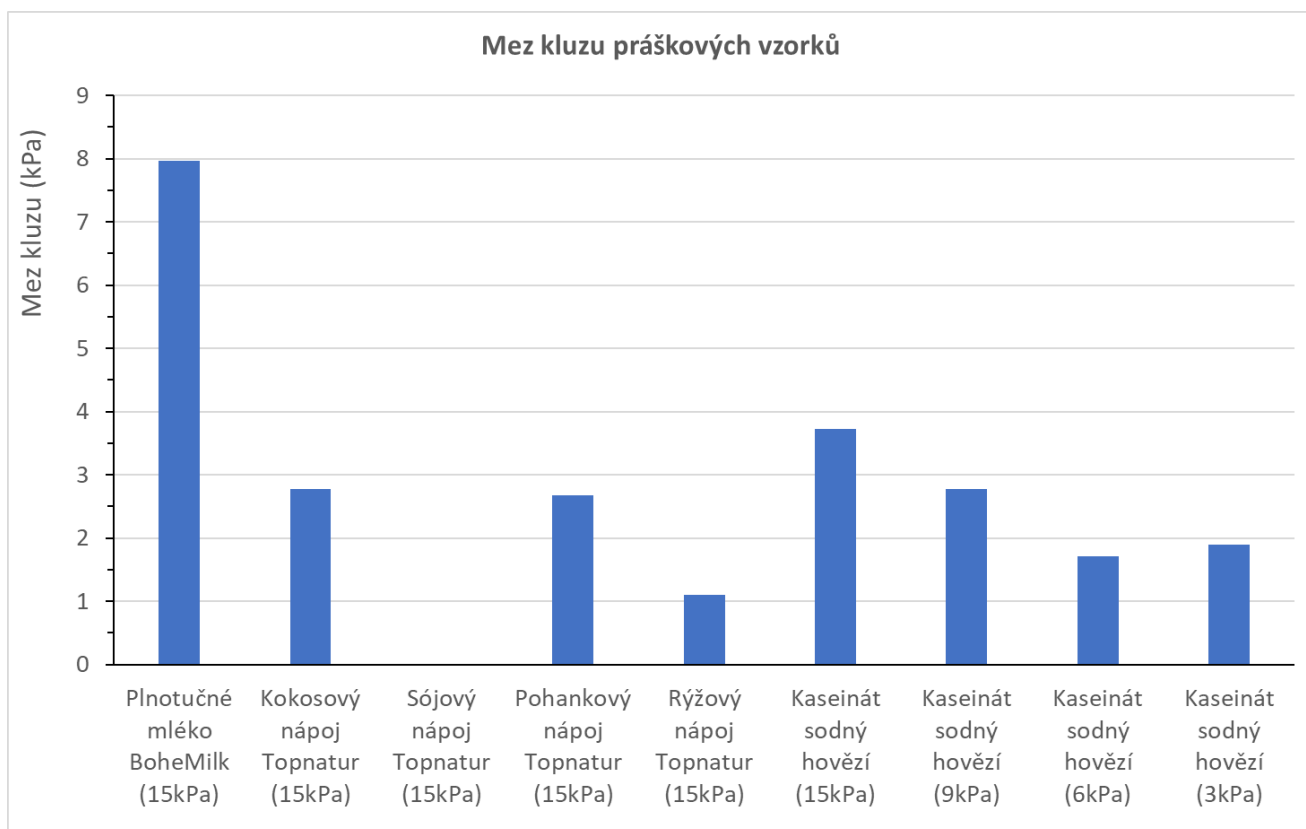




Obrázek 25: Závislost kohezivity (kPa) na typu práškových vzorků (v závorce je uvedena hodnota aplikovaného konsolidačního napětí).

## 5.4 Mez kluzu

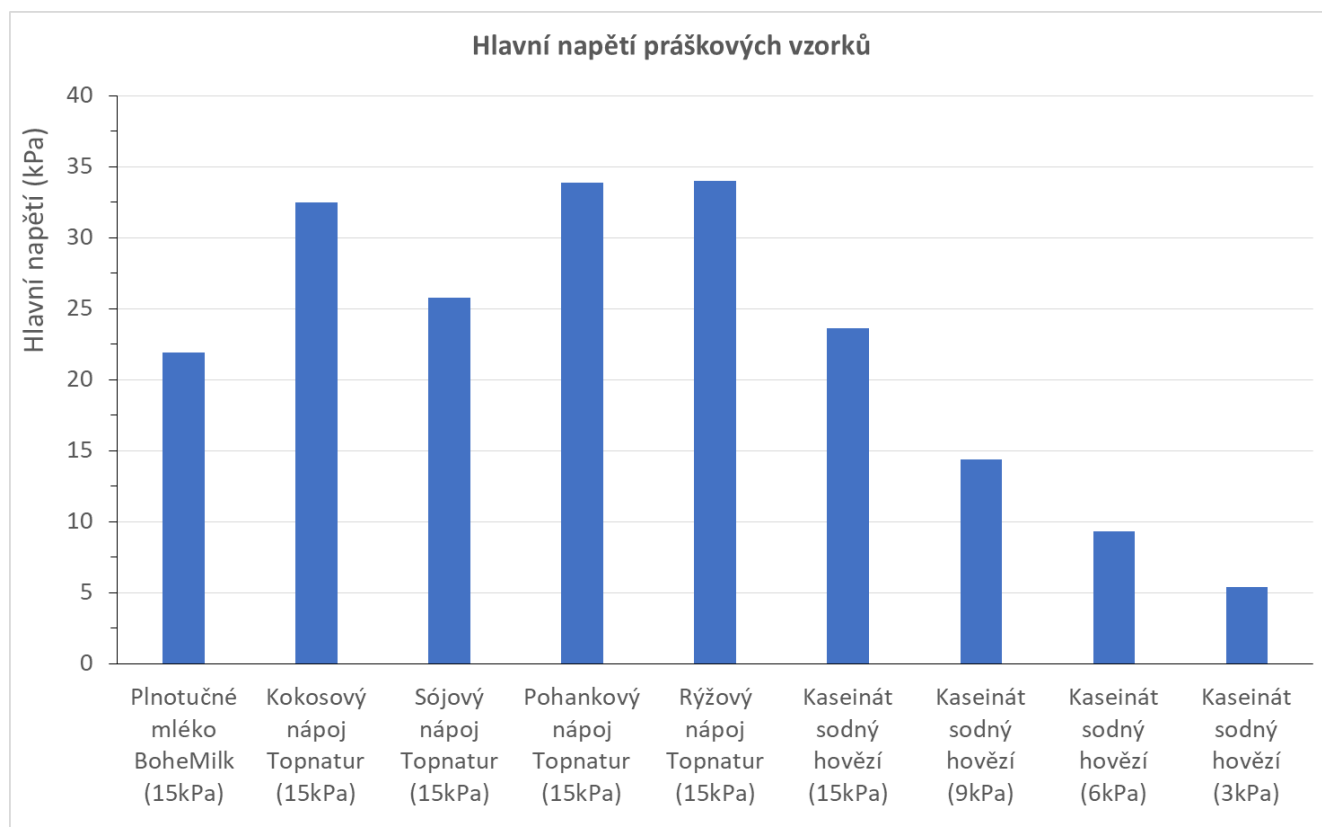
Na obr. 26 je zobrazena mez kluzu měřených vzorků. Získané hodnoty do značné míry korelují s hodnotami kohezivity daných vzorků. Nejvyšší hodnota meze kluzu (7,97 kPa) byla opět zjištěna pro plnotučné mléko Bohemilk. Pro kategorii rostlinných náhražek mléka a hovězího kaseinátu sodného byly naměřeny relativně srovnatelné hodnoty v rozmezí cca 1 - 3 kPa. Výjimkou byl sójový instantní nápoj, u něž nebyla detekována hodnota meze kluzu. Stejně jako v případě kohezivity vykazoval kokosový a pohankový nápoj podobné hodnoty meze kluzu (2,77 a 2,68 kPa).



Obrázek 26: Závislost meze kluzu (kPa) na typu práškových vzorků (v závorce je uvedena hodnota aplikovaného konsolidačního napětí).

## 5.5 Hlavní napětí

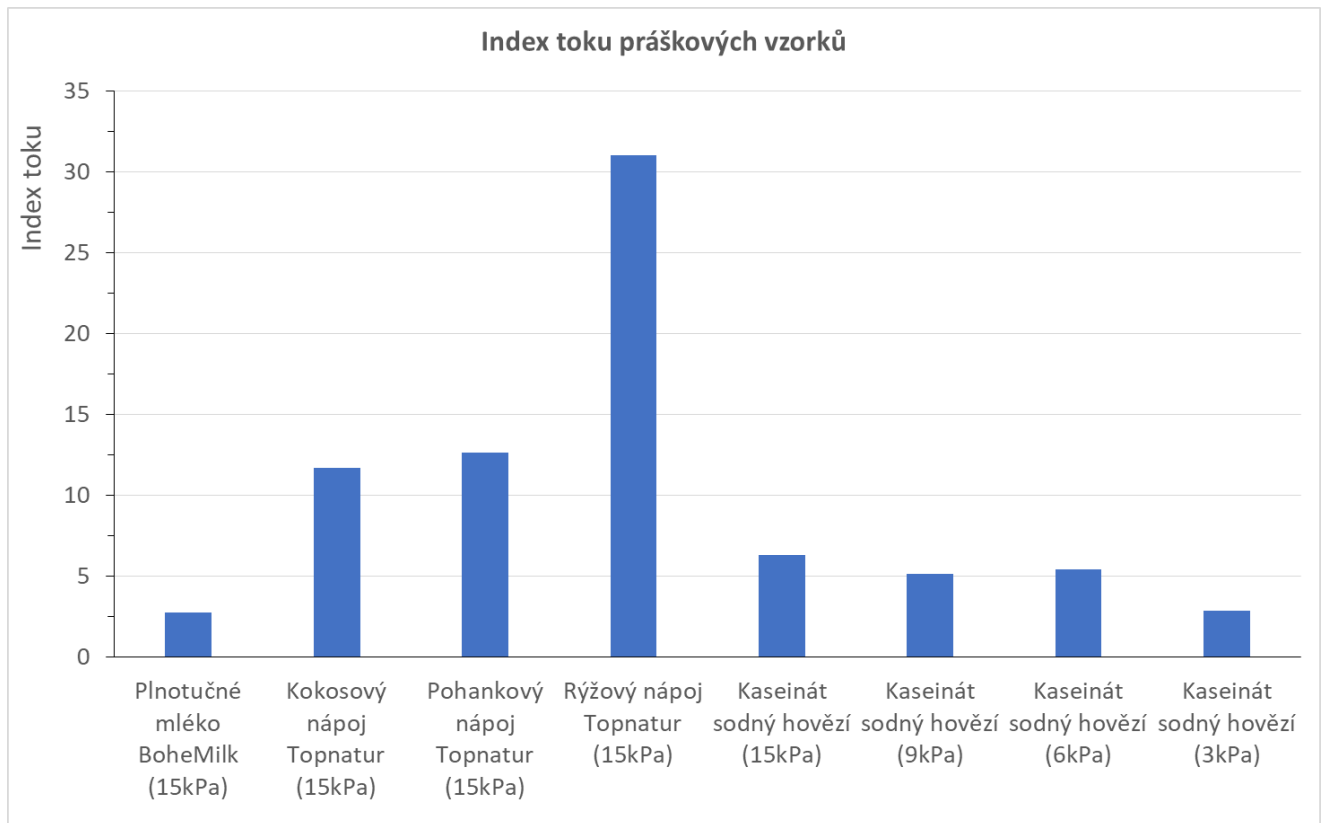
Jak je patrné z obr. 27, hodnoty hlavního napětí zkoumaných vzorků sušeného mléka a rostlinných náhražek byly porovnatelné. V případě plnotučného mléka byla stanovena nižší hodnota (21,88 kPa) ve srovnání s instantními rostlinnými náhražkami, jejichž hodnota byla určena v rozmezí cca 25,8 - 34,0 kPa. Pro kaseináty sodné byla zjištěna rovnoměrně klesající hodnota hlavního napětí se snižující se hodnotou aplikovaného napětí.



Obrázek 27: Závislost hlavního napětí (kPa) na typu práškových vzorků (v závorce je uvedena hodnota aplikovaného konsolidačního napětí).

## 5.6 Index toku

V případě indexu toku byly naměřeny relativně velké rozdíly mezi jednotlivými vzorky (obr. 28). Specifické chování práškových materiálů bylo dáno vzájemným poměrem jejich nutričních složek. Nejnižší hodnoty indexu byly stanoveny pro plnotučné mléko (2,75) při aplikovaném napětí 15 kPa a kaseinát sodný měřený při 3 kPa (2,86). Tyto nízké hodnoty indexu toku značí při daném konsolidačním napětí nižší tekutost vzorků, jež náleží do kategorie soudržných materiálů ( $2 < ff_c < 4$ ). Pro sójový nápoj nebyla zjištěna relevantní hodnota indexu toku, což by mohlo souviset s relativně nízkým obsahem tuku (9,8 hm. %) a vysokým obsahem bílkovin (30 hm. %) ve srovnání s ostatními instantními rostlinnými náhražkami. To značí, že vzorek sójového prášku vykazoval za daných podmínek neomezenou tekutost. Jako volně tekoucí materiály byly určeny i ostatní rostlinné náhražky mléka ( $10 < ff_c$ ). V rámci těchto náhražek byla relativně menší hodnota indexu toku (11,71), související s vyšší mezí kluzu a vyšším hlavním napětím, stanovená pro kokosový nápoj; tato skutečnost je pravděpodobně dána vyšším obsahem tuku (32 hm. %) v kokosovém prášku. V protikladu k tomu byla naměřena značná hodnota indexu toku (31,03) pro rýžový nápoj s relativně nižším obsahem tuku (21 hm. %), což usnadňovalo vysokou tekutost daného prášku.

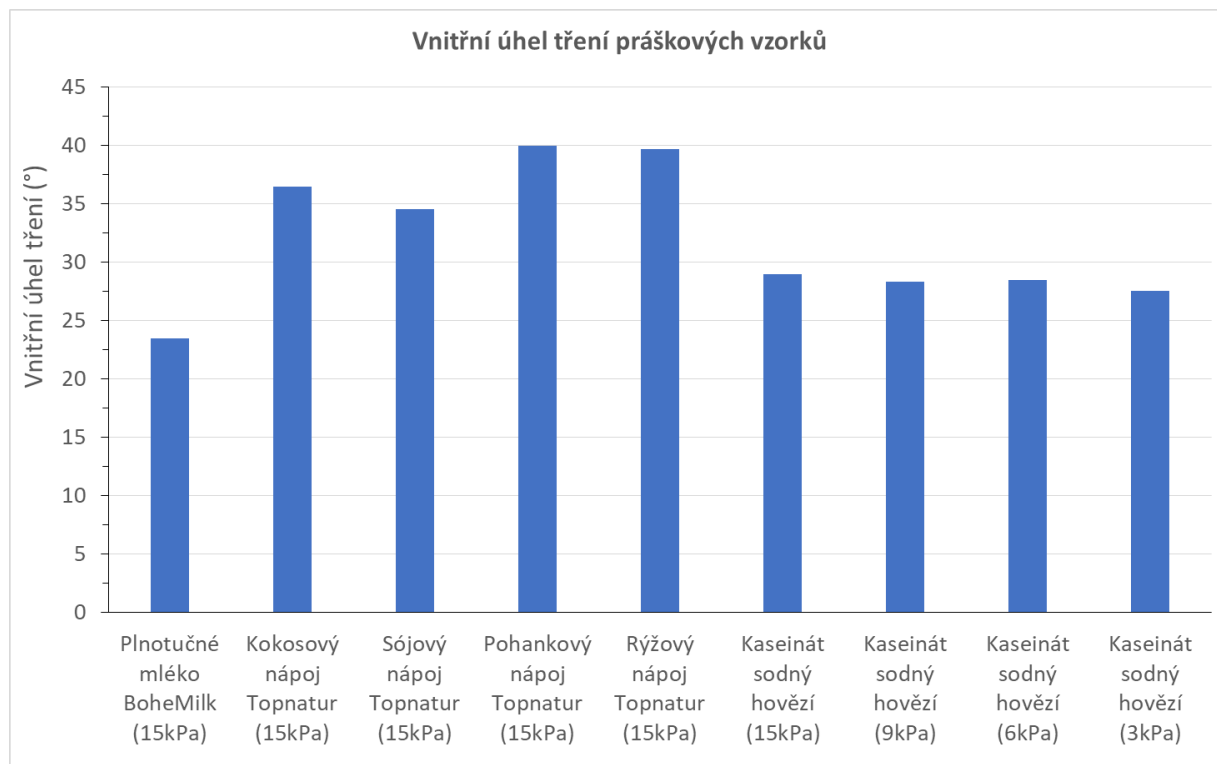


Obrázek 28: Závislost indexu toku na typu práškových vzorků (v závorce je uvedena hodnota aplikovaného konsolidačního napětí). Sójový nápoj Topnatur není zanesen do grafu z důvodu nestanovení relevantní hodnoty indexu toku.

## 5.7 Vnitřní úhel tření

U zkoumaných práškových vzorků instantních rostlinných „mlék“ byly určeny relativně podobné hodnoty vnitřního úhlu tření. Jak je zřejmé z obr. 29, nejvyšší hodnoty úhlu tření (cca 40 °) byly naměřeny pro sójový a pohankový nápoj; to by mohlo být dáno jejich relativně podobným nutričním složením (viz tabulka 6). Pro plnotučné mléko byla stanovena nejnižší hodnota vnitřního úhlu tření (23,47 °) ze všech zkoumaných vzorků.

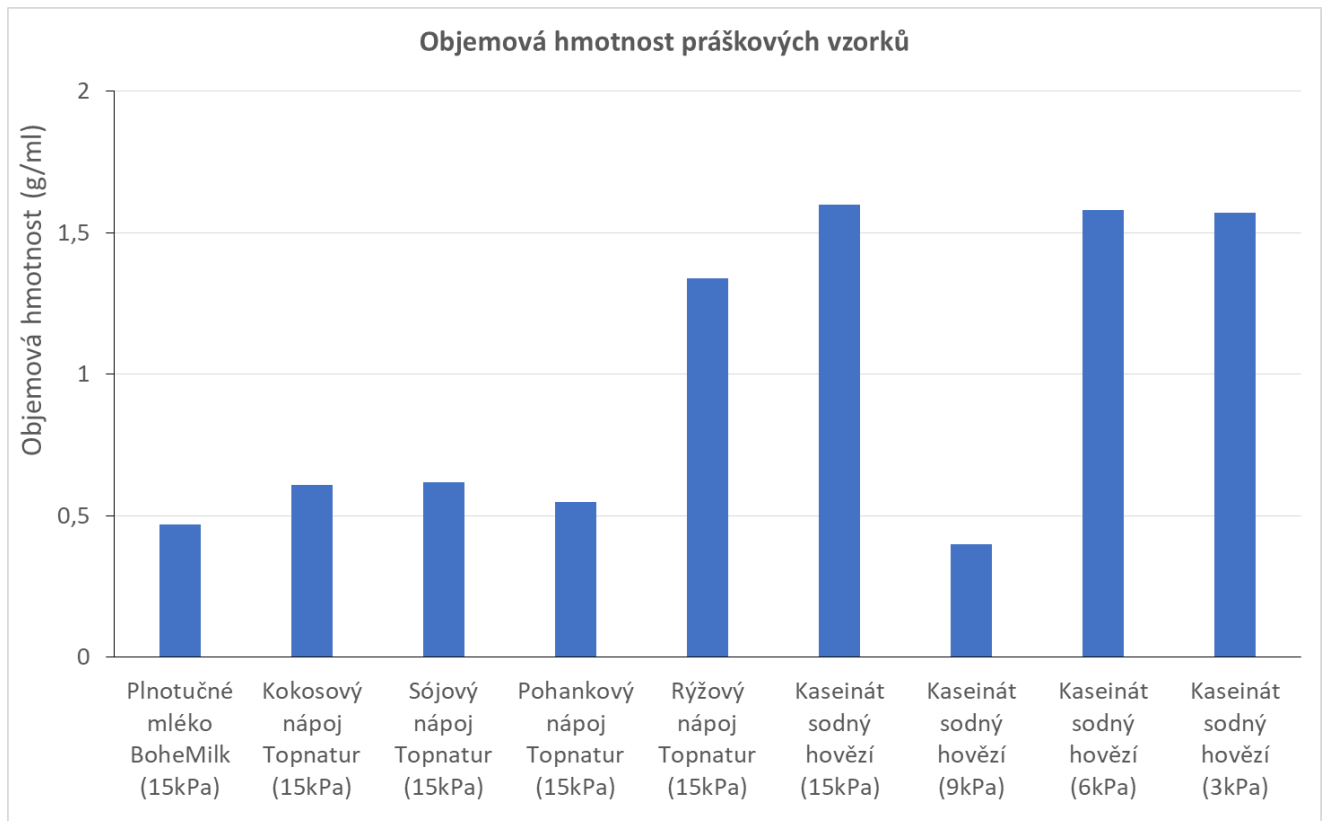
Získané hodnoty indikují rozdíl ve schopnosti práškových vzorků odolávat smykovému napětí a souvisí s kohezivitou prášků. Vnitřní úhel tření je dán mírou kohezivních sil, které bylo nutné přetrhnout v sypké hmotě vzorků. [97] Nižší hodnoty kinematického tření (*kinematic angle of internal friction*) zvyšují adhezivitu práškového vzorku, a tím snižují jeho tekutost (*flowability*) [95], což potvrzují výsledky naší studie. Rozmezí stanovených hodnot bylo porovnatelné s hodnotami úhlu tření uváděnými pro další typy práškových materiálů, např. APA (*active pharmaceutical ingredients*) v práškových tabletách, studovaných autory Saddik & Dave (2021). [97]



Obrázek 29: Závislost vnitřního úhlu tření (°) na typu práškových vzorků (v závorce je uvedena hodnota aplikovaného konsolidačního napětí).

## 5.8 Objemová hmotnost

Na obr. 30 je znázorněna objemová hmotnost zkoumaných práškových vzorků. Nejvyšší objemová hmotnost v rámci rostlinných náhražek byla stanovena u rýžového nápoje (1,34 g/ml). U sušeného plnotučného mléka byla jeho objemová hmotnost (0,47 g/ml) porovnatelná s objemovou hmotností pohankového nápoje (0,55 g/ml). U kaseinátů sodných byla nejvyšší hodnota (1,60 g/ml) zjištěna u vzorku při aplikovaném napětí 15 kPa. Stanovené hodnoty objemové hmotnosti jsou porovnatelné s hodnotami kondicionované objemové hmotnosti prezentovanými ve studii od Thomas (2024) pro sušené plnotučné mléko a kokosové „mléko“. Zvláště hodnoty objemové hmotnosti plnotučného mléka (0.47 g/ml) jsou blízké výsledkům v uvedené studii (0.45 g/ml). Specifické hodnoty objemové hmotnosti mléčného prášku jsou dány zejména přítomností tuku a cukru, jež zvyšují kohezní síly mezi částicemi, které jsou podstatně silnější než hmotnost částic (*particle weight*). Uspořádání částic působením gravitace je limitováno těmito kohezními silami, a projevuje se skutečností, že prášky s malou objemovou hmotností a velkou kompresibilitou jsou nejvíce soudržné. [98] To souhlasí se zjištěními pro sušené plnotučné mléko v naší studii, které při nízké objemové hmotnosti vykazuje značnou kohezivitu (kapitola 5.3), a také s výsledky pro rýžový nápoj, který v protikladu k sušenému mléku má při relativně vysoké objemové hmotnosti poměrně nízkou soudržnost.

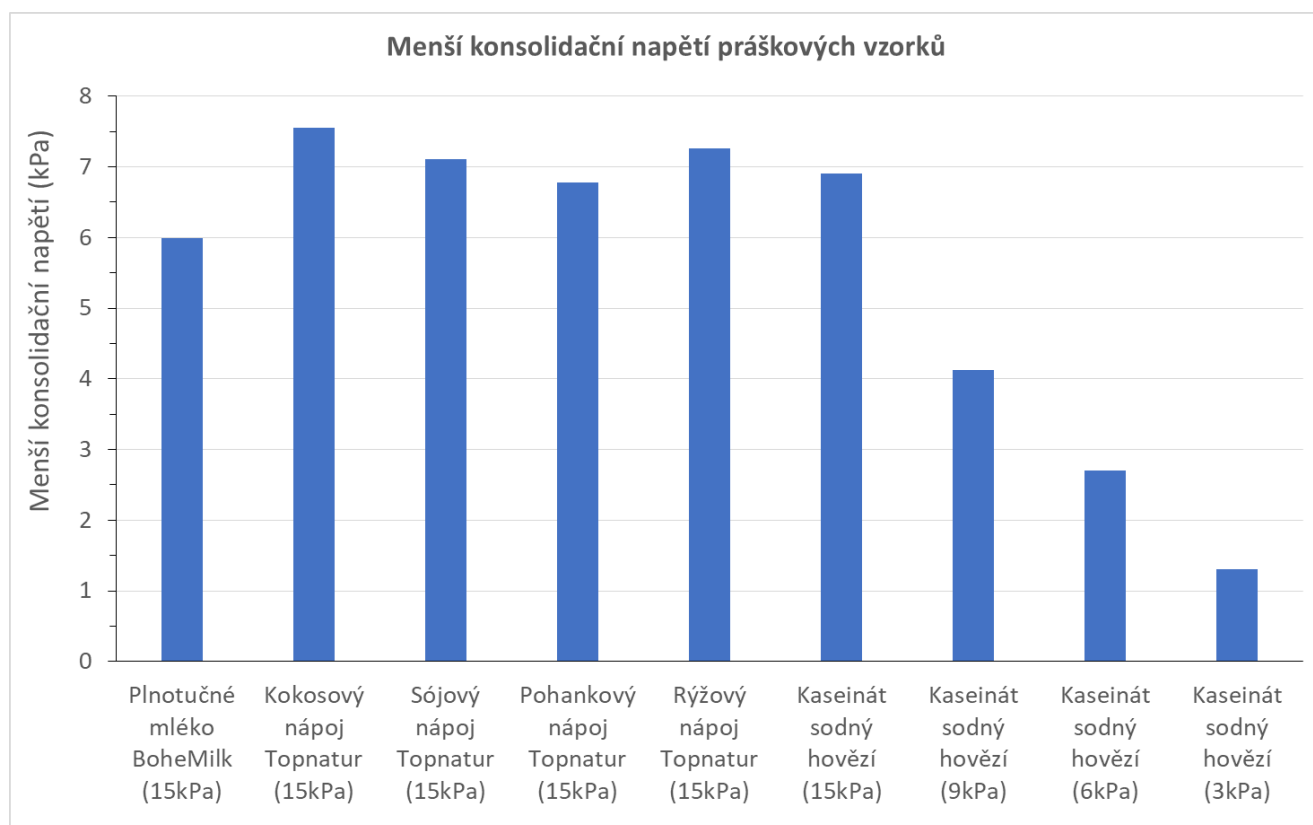


Obrázek 30: Závislost objemové hmotnosti (g/ml) na typu práškových vzorků (v závorce je uvedena hodnota aplikovaného konsolidačního napětí).



## 5.9 Menší konsolidační napětí

Mezi hodnotami menšího konsolidačního napětí nebyly u vzorků rostlinných náhražek zjištěny významné rozdíly (obr. 31). Kokosový nápoj vykazoval relativně vyšší hodnotu menšího konsolidačního napětí (7,55 kPa) v kontextu s nutričním složením sušeného kokosového prášku. Vyšší obsah tuku (32 hm. %) a velmi nízký obsah bílkovin (< 0,5 hm. %) u tohoto prášku mohou vést k nárůstu menšího konsolidačního napětí vzhledem k možnému ztužení struktury vzorku. V případě kaseinátů sodných byl pozorován relativně rovnoměrný pokles menšího konsolidačního napětí se snižujícím se aplikovaným napětím.



Obrázek 31: Závislost menšího konsolidačního napětí (kPa) na typu práškových vzorků (v závorce je uvedena hodnota aplikovaného konsolidačního napětí).

## ZÁVĚR

Předložená diplomová práce se zabývá tématem práškové reologie vybraných potravinářských prášků. Zaměřili jsme se na sušené plnotučné mléko, instantní rostlinné náhražky mléka a precipitované kaseináty sodné. Z hlediska potravinářského využití mohou mít instantní rostlinné náhražky mléka příznivé vlastnosti. Jejich složení může být modifikováno tím způsobem, aby bylo dosaženo nízkého nebo naopak vysokého obsahu specifických nutričních složek. Například sójový nápoj může mít vysoký obsah sójových proteinů a nižší obsah tuku a sacharidů, což může být přínosné z dietetického hlediska. Jiné typy nápojů, například kokosový nebo rýžový, mohou obsahovat relativně malé množství proteinů; toho lze využít při stravování lidí trpících určitou formou intolerance na bílkoviny, např. kaseiny. Velmi příznivá může být také fortifikace vyšším obsahem vlákniny (např. 10 a více hm. %) u rostlinných náhražek mléka. Kaseináty sodné mají kvalitní aminokyselinové složení, jejich praktická využitelnost je však limitována dlouhou dobou trávení v gastrointestinálním traktu.

V rámci praktické části diplomové práce bylo charakterizováno reologické chování práškových potravinářských vzorků s využitím rotačního reometru. Hlavním faktorem, ovlivňujícím reologický profil vzorků, se jeví být jejich nutriční složení. Pro dané práškové matrice byly zjišťovány následující reologické parametry: kohezivita, mez kluzu, hlavní napětí, index toku, vnitřní úhel tření, objemová hmotnost a menší konsolidačního napětí.

Jak bylo patrné z Mohrových kružnic napětí, pro rostlinné náhražky mléka byly stanoveny vyšší hodnoty hlavního smykového napětí, než v případě instantního plnotučného mléka a sušených kaseinátů sodných. V případě sójového nápoje se jeho specifické složení (vyšší obsah bílkovin 30 hm. %, nižší obsah tuku 9,8 hm. %) projevilo v nulových hodnotách kohezivity a meze kluzu, značící značnou tekutost prášku. Ve srovnání se sójovým nápojem byla pro rýžový nápoj zjištěna vyšší hodnota hlavního napětí a objemové hmotnosti, které je možné dát do souvislosti s relativně nízkým obsahem proteinů v rýžovém nápoji (1,7 hm. %). Pro plnotučné sušené mléko byla jeho vysoká kohezivita (soudržnost) a vysoká mez kluzu patrně dána vyšším obsahem mléčného tuku (26 hm.%) ztužujícím strukturu vzorku, ve srovnání s rostlinným tukem v instantních rostlinných náhražkách. U kaseinátů sodných byla jejich kohezivita vyšší než u rostlinných náhražek, avšak nižší než u sušeného plnotučného mléka. Kaseináty sodné byly také

charakterizovány nižší hodnotou indexu toku, vyjadřující nižší tekutost ve srovnání s rostlinnými náhražkami mléka.

Závěrem lze uvést, že reologický profil zkoumaných práškových potravinářských vzorků je primárně ovlivněn jejich nutričním složením. Lze předpokládat, že modifikace složení tohoto typu potravinářských matric se významně projeví ve změně jejich tokového chování a případně jejich zpětné redispergace při rozpouštění. To může mít příznivé důsledky vzhledem k praktickému využití potravinářských prášků; na základě optimalizovaného složení je možné dosáhnout vysoké míry tekutosti a rozpustnosti komerčních produktů.

**SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY**

- [1] SCHULZE, D., Schwedes, J., and Carson, J. W.: Powders and bulk solids: behavior, characterization, storage and flow. New York: Springer, c2008. ISBN 978-3-540-73767-4.
- [2] McGlinchey, D.: Characterisation of bulk solids, Blackwell, 2005.
- [3] BYLUND, Gösta. Dairy processing handbook [online]. Sweden: Tetra Pak Processing Systems AB S-221 86 Lund, 1995 [cit. 2024-03-06]
- [4] CARIĆ, Marijana. Concentrated and dried dairy products. New York: VCH, c1994. Food science and technology (VCH Publishers). ISBN 9783527895311
- [5] FOLTISOVÁ, Mgr. Miroslava. Sušené a mražené mléčné výrobky. Slide player [online]. 2013 [cit. 2024-02-06]. Dostupné z: <https://slideplayer.cz/slide/2981084/>.
- [6] Vyhláška č. 397/2016 Sb., o požadavcích na mléko a mléčné výrobky, mražené krémy a jedlé tuky a oleje. Sbírka zákonů České republiky.
- [7] ŠUSTOVÁ, Květoslava a Vladimír SÝKORA. Mlékárenské technologie. 1. vyd. Brno: Mendelova univerzita v Brně, 2013, 223 s. ISBN 978-80-7375-704-5.
- [8] GRIEGER, Celestín a Josef HOLEC. Hygiena mlieka a mliečnych výrobkov. Bratislava: Príroda, 1990. ISBN 80-07-00253-7.
- [9] O'Sullivan, J. J., Norwood, E., O'Mahony, J. A., Kelly, L. A. (2019). Atomisation technologies used in spray drying in the dairy industry: A review. *Journal of Food Engineering*, 243, 57–69.
- [10] Moejes, S. N., van Boxtel, A. J. B. (2017). Energy saving potential of emerging technologies in milk powder production. *Trends in Food Science & Technology*, 60, 31-42.
- [11] Bylund, G. (2015). Dairy processing handbook. Second edition. Lund: Tetra Pak Processing Systems AB, 486 s.
- [12] Skanderby, M., Westergaard, V., Partridge, A., Muir, D. D. (2009). Dried milk products. In: Tamime, A. Y. (Ed.), *Dairy powders and concentrated products*. Chichester.: Wiley-Blackwell, 180–234
- [13] Schuck, P. (2002). Spray drying of dairy products: State of the art. *Lait*, 82, 375–382.

- [14] Gharsallaoui, A., Roudaut, G., Chambin, O., Voilley, A., Saurel, R. (2007). Applications of spray-drying in microencapsulation of food ingredients: An overview. *Food Research International*, 40, 1107–1121.
- [15] Gabites, J. R., Abrahamson, J., Winchester, J. A. (2008). Design of baghouses for fines collection in milk powder plants. *Powder Technology*, 187, 46-52.
- [16] BUŇKA, František. *Mlékárenská technologie I*. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 2013. ISBN 978-80-7454-254-1
- [17] Mujumdar, A. S., Huang, L., Dong Chen, X. (2010). An overview of the recent advances in spray-drying. *Dairy Science & Technology*: 90, 211-224
- [18] Brennan, J. G. (2006). *Food processing handbook*. Weinheim: Wiley-VCH, 528 s.
- [19] Belitz, H., Grosch, W., Schieberle, P. (2009). *Food chemistry*. Fourth edition. Berlin: Springer, 1070 s.
- [20] Kilara, A. (2011). Processing principles of dairy ingredients. In: Chandan, R. C., Kilara, A. (Eds), *Dairy ingredients for food processing*. Ames, Iowa: Wiley-Blackwell, 103–122
- [21] Sharma, A., Jana, A. H., Chavan, R. S. (2012). Functionality of milk powders and milkbased powders for end use applications– a review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 11, 518-528.
- [22] DOSTÁLOVÁ, Jana a Pavel KADLEC. *Potravinářské zbožíznalství: technologie potravin*. Vyd. 1. Ostrava: Key Publishing, 2014. ISBN 978-80-7418-208-2.
- [23] DOSTÁLOVÁ, Jana. Rostlinné nápoje (rostlinná „mléka“). Jejich výživové hodnocení a srovnání s kravským mlékem. [online]. 2018, 20. Dostupné z: <http://www.fzv.cz/wpcontent/uploads/2017/08/J.Dostalova.pdf>
- [24] Vyhláška č. 248/2018 Sb., o požadavcích na nápoje, kvasný ocet a droždí. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2018-248>
- [25] VANHALINNA, Vivii, Emanuele ZANNINI a Outi Elina MÄKINEN. Foods for Special Dietary Needs: Non-dairy Plant-based Milk Substitutes and Fermented Dairy-type Products. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* [online]. 2015, 09(9532300), 339-349 [cit. 2024-02-08]. Dostupné z: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/10408398.2012.761950?src=recsys>

- [26] JOOYANDEH, Hossein. Soy Products as Healthy and Functional Foods. Middle-East Journal of Scientific Research [online]. 2011, 2011(7), 71-80 [cit. 2023-04-29]. ISSN 1990-9233. Dostupné z: <http://www.idosi.org/mejsr/mejsr7%281%2911/12.pdf>
- [27] WILEY, A. S. Re-imagining Milk: Cultural and Biological Perspectives, Routledge, 2010, ISBN 978-0415806572
- [28] EUSTON, S. R. Dairy Substitutes. Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology (2007), 1, 328-329
- [29] EKWALL, S. W., EKWALL, V. K. Pediatric and Adult Nutrition in Chronic Diseases, Developmental Disabilities, and Hereditary Metabolic Disorders, Third edition, Oxford University Press, 2007, ISBN: 9780199398911, 343-345
- [30] EXPERIENCE LIFE. The New Moo-Milk Alternatives. LifeTime Fitness [online] 2017 [cit. 2024-04-17]. Dostupné z: <https://experiencelife.com/article/the-new-moo-milkalternatives/>
- [31] Sójové nápoje vs. kravské mléko. Stob club [online]. Praha: STOB CZ , 2012 [cit. 2024- 03-28]. Dostupné z: <https://www.stobklub.cz/clanek/sojove-napoje-vs-kravske-mleko/>
- [32] CHENEY , Dina. The New Milks: 100 - Plus Dairy-Free Recipes for Making and Cooking with Soy, Nut, Seed, Grain, and Coconut Milks, Pub. Atria Books, 2016, ISBN N 1501103946.
- [33] FRITZSCHE, Doris. Intolerance laktózy. 1. Bratislava: Noxi, 2015, 125 s. ISBN N 978-80- 8111-258-4.
- [34] CABALLERO, B., FINGLAS, P., TOLDRA, F. Soy (Soya) Milk. Encyclopedia of Food Sciences and Nutrition, Second Edition, Academic Press, 2003, [cit. 2019-03-05]. ISBN 9780122270550
- [35] HOUBA, Miroslav. Pěstování luskovin: Sója – Glycine. Agromanual.cz [online]. České Budějovice: Asociace pěstitelů a zpracovatelů luskovin, 2019 [cit. 2023-02-21]. Dostupné z: <https://www.agromanual.cz/cz/clanky/technologie/pestovani-luskovin-2-sojaglycine>

- [36] SOUCI S.W., FACHMANN W., KRAUT H. : Food Composition and Nutrition Tables. MedPharm & Taylor & Francis CRC Press Book, Stuttgart, 2008; ISBN 978-3-8047-5038-8
- [37] FAO. Soymilk and Related Products. FAO Food and Agriculture Organization of the United Nations [online] 2017 [cit. 2024-04-19]. Dostupné z: <http://www.fao.org/docrep/t0532e/t0532e09.htm>
- [38] BERK, Zeki. Technology of production of edible flours and protein products from soybeans [online]. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 1992 [cit. 2023-03-14]. ISBN 92-5-103118-5. Dostupné z: <http://www.fao.org/3/t0532e/t0532e00.htm#con>
- [39] Rostlinné náhražky mléka. dTest [online]. 2017. Praha: dTest, 2017 [cit. 2021-10-24]. Dostupné z: <https://www.dtest.cz/clanek-5698/rostlinne-nahrazky-mleka>
- [40] BULKOVÁ, Věra. Rostlinné potraviny. Brno: Národní centrum ošetřovatelství a nelékařských zdravotnických oborů, 2011. ISBN 978-80-7013-532-7.
- [41] HRABĚ, Jan; BUŇKA, František a HOZA, Ignác. *Technologie výroby potravin rostlinného původu: pro kombinované studium*. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 2007. ISBN 9788073185206.
- [42] INTERNATIONAL FOOD INFORMATION SERVICE, . Dictionary of Food Science and Technology [online]. 2. vydání. International Food Information Service, 2009 [cit. 2023-05-06]. ISBN 978-1-61583-120-3. Dostupné z: <https://app.knovel.com/hotlink/toc/id:kpDFSTE001/dictionary-foodscience/dictionary-food-science>
- [43] DRAXE. Coconut Milk Nutrition. Dr.Axe Food is Medicine [online] 2017 [cit. 2024-05-04]. Dostupné z: <https://draxe.com/coconut-milk-nutrition/>
- [44] USDA National Nutrient Database for Standard Reference, Release 28 [online]. U.S. Department of Agriculture, 2017 [cit. 2023-05-07]. ISBN 978-1-61583-902-5. Dostupné z: <https://app.knovel.com/hotlink/toc/id:kpUSDANND1/usda-nationalnutrient/usda-national-nutrient>
- [45] SEOW, Chee a Choon GWEE. Coconut milk: chemistry and technology. International Journal of Food Science & Technology [online]. 2003, 32(3), 189-201 [cit. 2023-05-07]. DOI: <https://doi.org/10.1046/j.1365-2621.1997.00400.x>.

- [46] DOLMAN, CLARENC D. Desiccated coconut milk emulsion extracts and processes of producing the same, IPC: US2941888 A UTB ve Zlíně, Fakulta technologická 67
- [47] BELEWU, M. A. and K. Y. BLEWU. Comparative Physico – Chemical Evaluation of Tiger-nut, Soybean and Coconut Milk Sources. *Internacional Journal of Agriculture and Biology* (2009), 9 (5), 785-787
- [48] ADAMS, Ashley. *Vaříme bez mléka*. 1.vydání. Praha: Synergie Publishing SE, 2015. ISBN 978-80-7370-383-7
- [49] FOOD STANDARDS AGENCY. Arsenic in rice [online]. 2018. [cit. 2024-03-05]. Dostupné z: <https://www.food.gov.uk/safety-hygiene/arsenic-in-rice>
- [50] HORÁČKOVÁ, Š. et al. Porovnání rostlinných nápojů a kravského mléka z výživového a senzorického hlediska. *Mlékařské listy* [online]. 28(5), 6 [cit. 2024-04-11]. Dostupné z: [http://www.mlekarskelisty.cz/upload/soubory/pdf/2017/veda\\_164\\_s.4-9.pdf](http://www.mlekarskelisty.cz/upload/soubory/pdf/2017/veda_164_s.4-9.pdf)
- [51] MITCHELL, Cheryl R. and Pat R. MITCHELL. Nutritional Rice Milk Production, IPC: US4744992 A
- [52] HRABĚ , Jan a Ignác HONZA . *Gastronomie II*. 2. Brno: Vysoká škola obchodní a hotelová, 2016. ISBN 978-80-87300-83-1.
- [53] NAŘÍZENÍ EVROPSKÉHO PARLAMENTU A RADY (ES) č. 853/2004 ze dne 29. dubna 2004. [online]. Dostupné z: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/PDF/?uri=CELEX:02004R0853-20171121&qid=1525504675579&from=CS>
- [54] JOINT FAO/WHO FOOD STANDARDS PROGRAMME a CODEX ALIMENTARIUS COMMISSION. *Milk and milk products*. 2. ed. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations [u.a.], 2000. ISBN 925-5-104497-X.
- [55] NAŘÍZENÍ EVROPSKÉHO PARLAMENTU A RADY (ES) č. 1308/2013 ze dne 17. prosince 2013. [online]. Dostupné z: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/?uri=CELEX%3A32013R1308>.
- [56] LOUDA, František. *Základy chovu mléčných plemen skotu: František Louda ...* [et al.]. Praha: Institut výchovy a vzdělávání Ministerstva zemědělství České



- republiky, 1994. Živočišná výroba (Institut výchovy a vzdělávání Ministerstva zemědělství ČR). ISBN 80- 7105-070-9.
- [57] HRABĚ, J. Technologie výroby potravin živočišného původu. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 2007. 186 s. ISBN 978-80-7318-521-3.
- [58] HAUG, A., Arne T HØSTMARK, Odd M HARSTAD. Bovine milk in human nutrition - A review. *Lipids in Health and Disease* [online]. Biomed Central, 2007, 6(1), 25-25 [cit. 2017- 04-15]. DOI: 10.1186/1476-511X-6-25. ISSN 1476511X.
- [59] Zhang, L., Meng, Q., Zhao, G., (2023): Comparison of milling methods on the properties of common buckwheat flour and the quality of wantuan, a traditional Chinese buckwheat food. *Food Chemistry: X* 19, 100845
- [60] Chandan, R. C., & Kilara, A. (Eds.). (2011). *Dairy ingredients for food processing*. Blackwell Publishing Ltd. ISBN 9780813817460
- [61] Reologie [online]. Ústav fyziky a materiálového inženýrství Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně [cit. 2017-09-15]. Dostupné z: [http://ufmi.ft.utb.cz/texty/kzm/KZM\\_03.pdf](http://ufmi.ft.utb.cz/texty/kzm/KZM_03.pdf)
- [62] ROSENTHAL, Andrew J. Food texture. Measurement and Perception. Maryland: Aspen Publishers, 1999. ISBN 0-8342-1238-2.
- [63] WEIN, O. Úvod do reologie. Brno, Malé centrum, 1996, 84 s. ISBN 80-238-0928-8
- [64] HAVRÁNEK, A. Reologie a její aplikace na biolátky [online]. [cit. 2017-04-11]
- [65] Holzmüller, W., Gmach, O., Griebel, A., & Kulozik, U. (2016). Casein precipitation by acid and rennet coagulation of buttermilk: Impact of pH and temperature on the isolation of milk fat globule membrane proteins. *International Dairy Journal*, 63, 115–123. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2016.08.006>
- [66] Husnaeni, Maruddin, F., Malaka, R., & Prahesti, K. I. (2019). Study on the use of various concentration of acetic acid and different precipitation duration on casein characteristics. *IOP Conference Series. Earth and Environmental Science*, 343(1), 012035. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/343/1/012035>
- [67] Cappelli, A., Oliva, N., & Cini, E. (2020). Stone milling versus roller milling: A systematic review of the effects on wheat flour quality, dough rheology, and bread characteristics. *Trends in Food Science & Technology*, 97, 147–155. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.01.008>

- [68] Poudel, R., & Rose, D. J. (2018). Changes in enzymatic activities and functionality of whole wheat flour due to steaming of wheat kernels. *Food Chemistry*, 263, 315–320. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.05.022>
- [69] Chen, Y.-X., Guo, X.-N., Xing, J.-J., & Zhu, K.-X. (2020). Effects of tempering with steam on the water distribution of wheat grains and quality properties of wheat flour. *Food Chemistry*, 323, Article 126842. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.126842>
- [70] KUNOVÁ, V. Velký test rostlinných nápojů. Rozumnehubnuti [online] 2016 [cit. 2023- 04-25]. Dostupné z: <http://www.rozumnehubnuti.cz/?p=2033>
- [71] Lázníčková, A., Ďoubal, S., Gasparič, J., et al.: Fyzikální chemie pro posluchače farmacie – II.díl, Praha: Karolinum, 2000, 29, ISBN: 80-7184-447-0
- [72] ADEBOWALE A. A..Food rheology Dr. A. A. Adebowale. Foodelphi. [online]. [cit. 2019-03-01]. Dostupné z: <http://www.foodelphi.com/food-rheology-dr-aa-adebowale/>
- [73] The Difference Between Elastic Materials and Viscoelastic Materials [online]. [cit. 2019-01-28]. Dostupné z: <https://www.sorbothane.com/the-difference-between-elasticmaterials-and-viscoelastic-materials.aspx>
- [74] Basics of rheology [online]. [cit. 2024-01-28]. Dostupné z: <https://wiki.antonpaar.com/en/basics-of-rheology/>
- [75] Newtonial fluid. [online]. [cit. 2024-01-16]. Dostupné z: <http://www.britannica.com/EBchecked/topic/413267/Newtonian-fluid>
- [76] RAO, M. A. Rheology of Fluid and Semisolid Foods, Boston, Springer, 2007, pages 471. ISBN 9780387709307
- [77] FIGURA, Ludger, Arturh A., TEXTEIRA. Food Physics: Physical Properties - Measurement and Applications. XV. Springer , 2007, 550 p. ISBN 978-3-540-34194-9
- [78] MEZGER, T. G. The Rheology handbook: For users for rotational oscillatory rheometers. 5 th revised Edition. Hanover: Vincentz Network, 2020. ISBN 978-3-86630-532-8. Dostupné z: <https://books.google.cz/books?hl=cs&lr=&id=Xxv5DwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA>

16&ots=hA\_TN8IwU0&sig=a0\_5ClfQSlDU3EHjCevtbbPR1wQ&redir\_esc=y#v=onepage&q&f=fals

- [79] STEFFE, J. F. Rheological methods in food process engineering. 2nd ed. East Lansing, MI: Freeman Press, 1996. ISBN 0963203614.hbjb
- [80] JOYNER (MELITO), Helen S. Explaining food texture through rheology. Current Opinion in Food Science [online]. 2018, 21, 7-14 [cit. 2023-04-07]. ISSN 22147993. <http://doi:10.1016/j.cofs.2018.04.003>
- [81] SKOČILAS, Jan et al. Rheological Properties of Collagen Matter Predicted Using an Extrusion Rheometer: Rheological Properties of Collagen Matter. Journal of Texture Studies. 2016, vol. 47, no. 6, s. 514-522. ISSN 0022-4901. <http://doi.wiley.com/10.1111/jtxs.12194>
- [82] CHHABRA, R. P. a J. F. RICHARDSON. Non-Newtonian flow and applied rheology: engineering applications. 2nd ed. Oxford: Butterworth-Heinemann, 2008. ISBN 978-0-7506-8532-0.
- [83] MORRISON, Faith A. Understanding rheology. New York: Oxford University Press, 2001. Topics in chemical engineering (Oxford University Press). ISBN 01-951-4166-0.
- [84] Holubová, Renata. Základy reologie a reometrie kapalin. 1. vyd. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci, 2014, 50 s. ISBN 978-80-244-4178-8.
- [85] SARASWATHI, R.; HAMEED, R. Sahul. Farinograph as a Rheological Tool to Predict the Quality Characteristics for Blend of Wheat with Pulse Flour. 2018. International Journal of Advances in Agricultural Science and Technology, Vol.5 Issue.8, p. 146-153.
- [86] Fokus Industry SK (2024). Anamet s.r.o. Prášková reologie. Dostupné z: <https://fokusindustry.cz/Analytick%C3%A9+syst%C3%A9my/pr%C3%A1kov%C3%A1+reologie>
- [87] Schulze, D. (2013). *Shear Testing of Powders for Process Optimization*, Germany, vol.21, 99-106
- [88] American Laboratory. (2019). Guide to Powder Characterization: An Overview of Techniques and Industrial Applications. American Laboratory.

- [89] FT 4 Powder Rheometer. In: Pragolab.cz [online]. [cit. 2024-01-30]. Dostupné z: <https://www.pragolab.cz/analyza-pevnych-latek/praskova-reologie/ft4-powder-rheometer>
- [90] VOLFOVÁ, Petra. Stanovení reologických vlastností, „nejen“ v průmyslové praxi. In: Wwww.pragolab.cz [online]. [cit. 2023-04-30]. Dostupné z: [https://www.pragolab.cz/files/udalosti/2020-03/PVo\\_Praskova\\_reologie.pdf](https://www.pragolab.cz/files/udalosti/2020-03/PVo_Praskova_reologie.pdf).
- [91] Shear Cell instructions, W 7018. 2010. Freeman Technology
- [92] ZUBEK, Piotr a Tomáš SVĚRÁK, 2012. *Sypné vlastnosti jemných práškovitých materiálů*. Brno: Vysoké učení technické, Fakulta chemická
- [93] Casein sodium salt from bovine milk. Sigma-Aldrich, USA [2024-04-11].  
Dostupné z:  
[https://www.sigmaaldrich.com/CZ/en/product/sigma/c8654?utm\\_source=google&utm\\_medium=cpc&utm\\_campaign=8809292871&utm\\_content=88350920066&gclid=EAJaIQobChMIwcDKkPCWhQMV86doCR2I4QviEAAYASAAEgLHvvD\\_BwE](https://www.sigmaaldrich.com/CZ/en/product/sigma/c8654?utm_source=google&utm_medium=cpc&utm_campaign=8809292871&utm_content=88350920066&gclid=EAJaIQobChMIwcDKkPCWhQMV86doCR2I4QviEAAYASAAEgLHvvD_BwE)
- [94] Mariano, M. (2024). General aspects of powder rheology applied to pharmaceutical formulations. *Drug Discovery Today*, 29 (5), 103976.  
<https://doi.org/10.1016/j.drudis.2024.103976>
- [95] Parekh, B. V., Saddik, J. S., Patel, D. B., & Dave, R. H. (2023). Evaluating the effect of glidants on tablet sticking propensity of ketoprofen using powder rheology. *International Journal of Pharmaceutics*, 635(122710), 122710.  
<https://doi.org/10.1016/j.ijpharm.2023.122710>
- [96] Cocco, R., Shaffer, F., Hays, R., Reddy Karri, S. B., & Knowlton, T. (2010). Particle clusters in and above fluidized beds. *Powder Technology*, 203(1), 3–11.  
<https://doi.org/10.1016/j.powtec.2010.03.023>.
- [97] Saddik, J. S., & Dave, R. H. (2021). Evaluation of powder rheology as a potential tool to predict tablet sticking. *Powder Technology*, 386, 298–306.  
<https://doi.org/10.1016/j.powtec.2021.03.062>.
- [98] Thomas, A. L. (2024). A mechanistic framework for the characterisation of cohesive, frictional and interlocking effects on powder flow behaviour. *Particuology*. <https://doi.org/10.1016/j.partic.2024.01.003>.

- [99] Lai S, Cui Q, Sun Y, Liu R, Niu Y. (2024). Effects of Particle Size Distribution on the Physicochemical, Functional, and Structural Properties of Alfalfa Leaf Powder. *Agriculture*, 14(4), 634. <https://doi.org/10.3390/agriculture14040634>

**SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK**

AR Aerace (*Aeration*)

CAS *Chemical Abstracts Service*

SI Index stability (*Stability index*)

UHT vysokoteplotní úprava (*Ultra high temperature processing*)

LDL lipoprotein o nízké hustotě (*low density lipoprotein*)

HDL lipoprotein o vysoké hustotě (*high density lipoprotein*)

APA aktivní farmaceutické složky (*active pharmaceutical ingredients*)

ANOVA analýza variability (*analysis of variability*)

## SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1: <i>Diagram výroby sójového nápoje Illionisovou metodou.</i> [41] .....	18
Obrázek 2: <i>Tetrapackově balené sójové nápoje.</i> [39] .....	19
Obrázek 3: <i>Sušené sójové nápoje (autorská fotografie)</i> .....	19
Obrázek 4: <i>Diagram výroby kokosového nápoje.</i> [41] .....	21
Obrázek 5: <i>Tetrapackově balené kokosové nápoje (autorská fotografie).</i> .....	21
Obrázek 6: <i>Výrobní proces rostlinného pohankového nápoje.</i> [25] .....	23
Obrázek 7: <i>Diagram výroby rýžového nápoje moderním způsobem.</i> [41] .....	25
Obrázek 8: <i>Tetrapackově balené rýžové nápoje.</i> [39] .....	25
Obrázek 9: <i>Sušené rýžové nápoje (autorská fotografie).</i> .....	26
Obrázek 10: <i>Reogram časově nezávislých neneutonských látek.</i> .....	33
Obrázek 11: <i>Jednoosá zkouška tlakem</i> [87] .....	35
Obrázek 12: <i>Typy práškových materiálů definované indexem toku <math>ff_c</math> v grafu závislosti meze kluzu <math>\sigma_c</math> na konsolidačním napětí <math>\sigma_1</math>.</i> [92] .....	37
Obrázek 13: <i>Měření mezní křivky s využitím Mohrových kružnic. A, B, C - průměry Mohrových kružnic; <math>\sigma_c</math> - neomezená mez kluzu; <math>\sigma_{1,2}</math> - konsolidační napětí.</i> [92] .....	39
Obrázek 14: <i>Sušené plnotučné mléko Bohemilk (autorská fotografie)</i> .....	43
Obrázek 15: <i>Pohankový nápoj sušený Topnatur (autorská fotografie)</i> .....	44
Obrázek 16: <i>Kokosový nápoj sušený Topnatur (autorská fotografie)</i> .....	45
Obrázek 17: <i>Rýžový nápoj sušený Topnatur (autorská fotografie)</i> .....	45
Obrázek 18: <i>Sójový nápoj sušený Topnatur (autorská fotografie)</i> .....	46
Obrázek 19: <i>Kaseinát sodný z kravského mléka (Sigma-Aldrich, USA).</i> [93] .....	47
Obrázek 20: <i>Práškový reometr typ FT4 Powder rheometer (Freeman technology, GB).</i> ..	48
Obrázek 21: <i>Modul rotační smykové cely reometru.</i> .....	49
Obrázek 22: <i>Toková křivka s Mohrovými kružnicemi napětí pro vzorek práškového plnotučného mléka Bohemilk. Shear stress (incipient) = smykové napětí (počáteční); Applied Normal Stress (incipient) = aplikované normálové napětí (počáteční).</i> .....	53
Obrázek 23: <i>Tokové křivky s Mohrovými kružnicemi napětí pro vzorky hovězího kaseinátu sodného. Shear stress (incipient) = smykové napětí (počáteční); Applied Normal Stress (incipient) = aplikované normálové napětí (počáteční).</i> .....	54
Obrázek 24: <i>Tokové křivky s Mohrovými kružnicemi napětí pro vzorky rostlinných nápojů. Shear stress (incipient) = smykové napětí (počáteční); Applied Normal Stress (incipient) = aplikované normálové napětí (počáteční).</i> .....	55
Obrázek 25: <i>Závislost kohezivity (kPa) na typu práškových vzorků (v závorce je uvedena hodnota aplikovaného konsolidačního napětí).</i> .....	57
Obrázek 26: <i>Závislost meze kluzu (kPa) na typu práškových vzorků (v závorce je uvedena hodnota aplikovaného konsolidačního napětí).</i> .....	58

- Obrázek 27: *Závislost hlavního napětí (kPa) na typu práškových vzorků* (v závorce je uvedena hodnota aplikovaného konsolidačního napětí)..... 59
- Obrázek 28: *Závislost indexu toku na typu práškových vzorků* (v závorce je uvedena hodnota aplikovaného konsolidačního napětí). Sójový nápoj Topnatur není zanesen do grafu z důvodu nestanovení relevantní hodnoty indexu toku. .... 61
- Obrázek 29: *Závislost vnitřního úhlu tření (°) na typu práškových vzorků* (v závorce je uvedena hodnota aplikovaného konsolidačního napětí)..... 62
- Obrázek 30: *Závislost objemové hmotnosti (g/ml) na typu práškových vzorků* (v závorce je uvedena hodnota aplikovaného konsolidačního napětí)..... 64
- Obrázek 31: *Závislost menšího konsolidačního napětí (kPa) na typu práškových vzorků* (v závorce je uvedena hodnota aplikovaného konsolidačního napětí). .... 65



**SEZNAM TABULEK**

Tabulka 1: <i>Obsah tuku v sušených mléčných výrobcích. Upraveno dle Vyhlášky č. 397/2016 Sb. [6]</i> .....	12
Tabulka 2: <i>Příklad obsahu nutričních složek rostlinných nápojů a kravského mléka na 100 g tekutého nápoje. [33]</i> .....	17
Tabulka 3: <i>Průměrné složení sušiny kravského mléka. Upraveno dle [16][56]</i> .....	27
Tabulka 4: <i>Rozdělení neneutonských kapalin a jejich popis. [84]</i> .....	30
Tabulka 5: <i>Nutriční hodnoty sušeného plnotučného mléka.</i> .....	43
Tabulka 6: <i>Nutriční hodnoty instantních prášků rostlinných náhražek mléka.</i> .....	44

## SEZNAM PŘÍLOH

Příloha P I: Název přílohy

