

# Potravinářské emulze a jejich charakterizace

Bc. Marie Chvatíková

---

Diplomová práce  
2023



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta technologická

---

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav technologie potravin

Akademický rok: 2022/2023

# ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Bc. Marie Chvatíková**  
Osobní číslo: **T22338**  
Studijní program: **N0721A210004 Technologie potravin**  
Forma studia: **Kombinovaná**  
Téma práce: **Potravinářské emulze a jejich charakterizace.**

## Zásady pro vypracování

I. Teoretická část  
Emulze jako koloidní disperzní systém.  
Vybrané druhy potravinářských emulzí.  
Stabilita emulzí.  
Biopolymery jako emulgátory.  
II. Praktická část  
Příprava a charakterizace vybraných vzorků.  
Postupy měření.  
Vyhodnocení a diskuze výsledků.  
Formulace závěrů.

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

Seznam doporučené literatury:

- [1] MCCLEMENTS, D. J. *Food emulsions: principles, practices, and techniques*. 2nd ed. Boca Raton: CRC Press, c2005, 609 s. CRC series in contemporary food science. ISBN 0849320232
- [2] NICOLETTI-TELIS, Vânia Regina, ed. *Biopolymer engineering in food processing*. Boca Raton, FL: CRC Press, c2012, xviii, 398 s. Contemporary food engineering. ISBN 9781439844946
- [3] BENKEBLIA, Noureddine. *Polysaccharides: natural fibers in food and nutrition*. Boca Raton: CRC Press, [2014], 1 online zdroj. ISBN 9781466571822
- [4] WATSON, Ronald R. a Victor R. PREEDY. *Bioactive foods in promoting health: probiotics and prebiotics*. Amsterdam: Academic Press/Elsevier, c2010, 1 online zdroj (xix, 617 p.). ISBN 9780123749383
- [5] NORN, Viggo. *Emulsifiers in food technology*. Second edition. Chichester: Wiley Blackwell, 2015. Dostupné z: doi:9781118921265

Vedoucí diplomové práce: **doc. Mgr. Barbora Lapčíková, Ph.D.**  
Ústav technologie potravin

Datum zadání diplomové práce: **31. prosince 2022**

Termín odevzdání diplomové práce: **12. května 2023**

L.S.

---

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

---

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

Ve Zlíně dne 20. února 2023

## PROHLÁŠENÍ AUTORA 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 diplomové práci pracoval samostatně a použitou literaturu jsem citoval. V případě publikace výsledků budu uveden jako spoluautor.
- že odevzdaná verze diplomové práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou obsahově totožné.

Ve Zlíně dne:

Jméno a příjmení studenta:

.....  
podpis studenta

## **ABSTRAKT**

Tato diplomová práce pojednává o emulzích používaných v potravinářství. Emulze je zde popsána jako koloidní disperzní systém. V jednotlivých podkapitolách jsou popsány základní pojmy emulzí, jejich klasifikace, charakteristika a biopolymery jako emulgátory. Praktická část byla zaměřena na vybrané druhy potravinářských emulzí – rostlinné smetany a jejich stabilizaci v koloidním disperzním prostředí. Z oscilačních měření vyplývá, že se zvyšující se frekvencí za konstantní deformace 0,1 % dochází ke zvýšení viskoelastických modulů  $G'$  a  $G''$  u všech připravených vzorků rostlinných smetan. Na základě oscilačních měření bylo zjištěno, že viskózní modul ( $G''$ ) převládá nad elastickým modulem ( $G'$ ) jen u dvou vzorků smetan bez emulgátoru, a to u OKS a OS, ale u ostatních typů smetan převládá viskoelastický charakter smetan ( $G' > G''$ ). Všechny vzorky smetan vykazují pseudoplastické chování toku, to znamená, že se zvyšující se smykovou rychlostí se viskozita snižuje a přídavek emulgátoru způsobuje pokles viskozity rostlinných smetan. Nejvyšší index stability (SI) byl zjištěn u vzorků smetan KS a MS bez emulgátoru. Také bylo zjištěno, že emulgátor snižuje hodnoty SI s výjimkou u vzorku OSE.

Klíčová slova: Emulze, koloidní disperzní systém, stabilita emulzí, reologie.

## **ABSTRACT**

This diploma thesis deals with emulsion used in the food industry. The emulsion is described as a colloidal dispersion system. The individual subchapters describe the basic concepts of emulsions, their classification, characteristics and biopolymers as emulsifiers. The practical part was focused on selected types of food emulsions – creams of plants and their stability in colloidal dispersion environment. Oscillation measurements showed an increase in the viscoelastic module  $G'$  and  $G''$  with increasing frequency at a constant strain of 0,1% for all prepared plant cream samples. Based on oscillation measurements, it was found that the viscous module ( $G''$ ) was prevailed over the elastic module ( $G'$ ) in only two samples OK and OS of cream without an emulsifier, but the viscoelastic character of the cream ( $G' > G''$ ) was prevailed in the other cream types. All cream samples showed a pseudoplastic flow behavior. If the shear rate was increased, the viscosity was decreased and after the addition of emulsifier was decreased in the viscosity of the vegetable creams. The highest stability index (SI) was found in the samples of cream KS and MS without emulsifier. The emulsifier was also found to decrease the SI values, except at sample OSE.

Keywords: Emulsion, colloidal dispersion system, stabilities of emulsions, rheology.

## **PODĚKOVÁNÍ**

*Chtěla bych touto cestou velmi poděkovat vedoucí mé diplomové práce, paní doc. Mgr. Barboře Lapčíkové, Ph.D., za odborné vedení, cenné rady a poskytnuté materiály.*

*Mé poděkování patří také Ing. Tomáši Valentovi, Ph.D. za odbornou asistenci v laboratoři.*

*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>ÚVOD</b> .....	<b>10</b>
<b>I TEORETICKÁ ČÁST</b> .....	<b>11</b>
<b>1 EMULZE JAKO KOLOIDNÍ DISPERZNÍ SYTÉM</b> .....	<b>12</b>
1.1 KLASIFIKACE DLE POLARITY DISPERZNÍHO PROSTŘEDÍ A DISPERZNÍHO PODÍLU .....	13
1.1.1 Emulze jednoduché .....	14
1.1.2 Emulze vícenásobné.....	14
1.1.3 Kritické emulze .....	15
1.2 STRUKTUROVANÉ EMULZE .....	16
1.2.1 Gely plněné emulzí .....	16
1.2.2 Hydrogely.....	16
1.2.3 Emulze na bázi oleogelu .....	17
1.2.4 Pickeringovy emulze .....	18
1.3 KLASIFIKACE DLE KONCENTRACE DISPERZNÍHO PROSTŘEDÍ.....	19
1.3.1 Zředěné emulze .....	19
1.3.2 Koncentrované emulze.....	20
1.3.3 Vysoce koncentrované (gelovité) emulze .....	20
1.4 KLASIFIKACE DLE VELIKOSTI ČÁSTIC .....	21
1.4.1 Makroemulze.....	21
1.4.2 Mikroemulze .....	21
1.4.3 Nanoemulze.....	21
<b>2 VYBRANÉ DRUHY POTRAVINÁŘSKÝCH EMULZÍ</b> .....	<b>23</b>
2.1 SMETANA KE ŠLEHÁNÍ.....	23
2.2 MLÉKO .....	23
2.3 MLÉČNÉ KRÉMY (SMETANY) .....	24
2.4 MÁSLA .....	24
2.5 MARGARÍNY A POMAZÁNKY.....	24
2.6 MAJONÉZA .....	25
2.7 KOKOSOVÉ MLÉKO A SMETANA.....	25
2.8 ZMRZLINA .....	25
2.9 ČOKOLÁDOVÉ POMAZÁNKY .....	26
2.10 CITRONOVÝ OLEJ .....	27
2.11 NÁPOJOVÉ EMULZE .....	27
<b>3 STABILITA EMULZÍ</b> .....	<b>28</b>
3.1 STABILITA POMOCÍ EMULGÁTORŮ .....	28
3.2 OXIDAČNÍ STABILITA .....	29
3.3 STABILIZACE POMOCÍ ANORGANICKÝCH SOLÍ .....	30

3.4	DESTABILIZACE EMULZE .....	30
<b>4</b>	<b>BIOPOLYMERY JAKO EMULGÁTORY .....</b>	<b>33</b>
4.1	POLYSACHARIDY .....	33
4.1.1	Xantanová guma (XG) .....	33
4.1.2	Arabská guma (AG) .....	33
4.1.3	Guarová guma (GG).....	34
4.1.4	Gellanová guma .....	34
4.1.5	Mono– a diglyceridy .....	34
4.1.6	Pektin.....	34
4.1.7	Karboxymethylcelulóza (CMC).....	35
4.1.8	Hydroxypropylmethylcelulóza (HPMC).....	36
4.1.9	Škrob .....	36
4.2	PROTEINY .....	36
4.2.1	Mléčné bílkoviny .....	36
4.2.2	Lecitin .....	37
4.2.3	Hrachový protein.....	37
4.2.4	Želatina.....	38
4.2.5	Vaječné proteiny .....	38
<b>II</b>	<b>PRAKTICKÁ ČÁST .....</b>	<b>39</b>
<b>5</b>	<b>CÍL PRÁCE .....</b>	<b>40</b>
<b>6</b>	<b>MATERIÁL A METODIKA .....</b>	<b>41</b>
6.1	POUŽITÉ PŘÍSTROJE .....	41
6.2	SUROVINY NA VÝROBU ROSTLINNÝCH SMETAN.....	41
6.3	PŘÍPRAVA ROSTLINNÝCH SMETAN.....	42
6.3.1	Příprava rýžové smetany .....	42
6.3.2	Příprava mandlových smetan .....	43
6.3.3	Příprava ovesných smetan.....	45
6.3.4	Příprava kokosových smetan.....	47
6.3.5	Příprava ovesno-kokosových smetan.....	48
6.4	REOLOGICKÁ CHARAKTERIZACE VYROBENÝCH SMETAN.....	50
6.4.1	Postup měření.....	51
6.5	MĚŘENÍ BAREVNOSTI .....	53
6.5.1	Postup měření.....	55
6.6	SENZORICKÁ ANALÝZA .....	56
6.6.1	Postup analýzy .....	58
6.7	STABILITA EMULZÍ .....	58
6.7.1	Postup stanovení.....	59
<b>7</b>	<b>VÝSLEDKY A DISKUZE.....</b>	<b>60</b>
7.1	CHARAKTERISTIKA PŘIPRAVENÝCH VZORKŮ SMETAN.....	60
7.2	VÝSLEDKY REOLOGICKÉ ANALÝZY .....	61



7.2.1	Viskoelastické vlastnosti připravených emulzí .....	61
7.2.2	Tokové křivky .....	76
7.3	VÝSLEDKY MĚŘENÍ BAREVNOSTI .....	85
7.4	VÝSLEDKY SENZORICKÉ ANALÝZY POTRAVIN .....	90
7.5	VÝSLEDKY STABILITY EMULZÍ .....	93
<b>ZÁVĚR .....</b>		<b>95</b>
<b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY .....</b>		<b>97</b>
<b>SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK .....</b>		<b>106</b>
<b>SEZNAM OBRÁZKŮ .....</b>		<b>107</b>
<b>SEZNAM TABULEK .....</b>		<b>110</b>

## ÚVOD

Teoretická část diplomové práce se zabývá rešerší o potravinářských emulzích. Emulze se v současné době využívají při výrobě v kosmetickém, farmaceutickém a potravinářském průmyslu. Emulze se definuje jako koloidní disperzní systém skládající se ze dvou i více nemísitelných či částečně mísitelných kapalin, nejčastěji voda a olej, kde je jedna kapalina rozptýlená v druhé v podobě malých kapiček. Emulze se dělí podle polaritý disperzního prostředí a dispergované (rozptýlené) látky na emulze typu olej ve vodě (O/V), voda v oleji (V/O) a vícenásobné emulze (V/O/V a O/V/O). Tyto systémy jsou však velmi termodynamicky nestabilní, a proto se k jejich stabilizaci používají různé biopolymery (proteiny a polysacharidy) jako emulgátory, aby se zabránilo jejich rozpadu. Nestabilita systému se projevuje jako koalescence, Oswaldovo zrání, sedimentace, flokulace, krémování.

Proteiny a polysacharidy se běžně používají jako emulgátory ke stabilizaci emulzí typu O/V. Proteiny se mohou adsorbovat na rozhraní mezi olejem a vodou a stabilizovat emulzi. Polysacharidy jsou hydrokoloidy s vysokou schopností zadržovat vodu a zahušťovat. Tyto složky vykazují hydrofilní vlastnosti a mají vysoké molekulové hmotnosti. Neabsorpční polysacharidy (bez mezifázových vlastností) mohou být použity v emulzích. V těchto případech je dosaženo stabilizace v důsledku zvýšení viskozity a obtížnosti difúze kapiček.

V poslední době roste velký zájem o zdravé výrobky, které by mohli jíst lidé trpící různými alergiemi. Například alergiemi na kasein, sóju, lepek nebo intolerancí na laktózu.

A proto se v praktické části zaměřuji na přípravu různých rostlinných smetan (mandlová, kokosová, rýžová, ovesná a ovesno-kokosová) s použitím emulgátorů (E 471 a lecitinu) a bez přídavku emulgátoru. Vzorky smetan byly připraveny v mixéru Philips při 1500 RPM a v Thermomixu TM6 Vorwerk při 2000 RPM. U smetan byla změřena reologie, barevnost a stabilita smetan. U těchto měření bylo zjišťováno, jaký vliv má použití emulgátoru na danou smetanu. Nakonec byla provedena i senzorická analýza vybraných druhů vzorků.

## **I. TEORETICKÁ ČÁST**

## 1 EMULZE JAKO KOLOIDNÍ DISPERZNÍ SYTÉM

Emulze jsou široce používány v různých odvětví jako je kosmetický průmysl, farmacie a potravinářský průmysl (Zhu et al., 2019). V potravinářském průmyslu se principy emulzní vědy a technologie běžně používají k vytvoření široké škály emulgovaných potravinářských produktů, jako jsou nápoje, mléka, krémy, smetany, máslo atd. Povaha emulzí propůjčuje těmto potravinám odlišné funkční atributy, jako je žádoucí vzhled, textura a chuťové profily. Kromě toho jsou emulze široce používané pro enkapsulaci a dodávání bioaktivních látek, jako jsou vitamíny a nutriční látky (Tan a McClements, 2021).

Emulze jsou koloidní disperze, které se skládají z nejméně dvou nemísitelných nebo omezeně mísitelných kapalin, přičemž jedna z nich je dispergována ve druhé ve formě malých kapiček (Tan a McClements, 2021; Xi et al. 2020). V potravinářských systémech jsou to obvykle dvě kapalná fáze, a to voda a olej (Peipei, 2016). Každá emulze je tvořena disperzní a kontinuální fází.

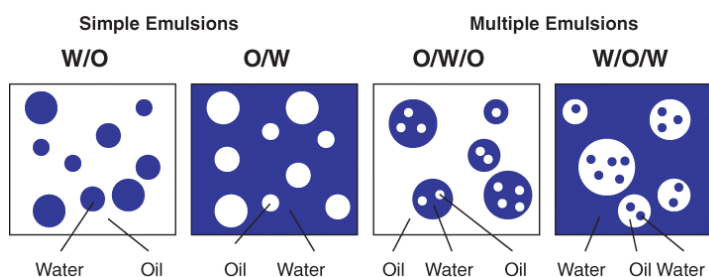
*Disperzní fáze:* Ovlivňuje vlastnosti emulzních systémů O/V. Množství oleje přítomného v emulzi má velký vliv na její fyzikálně-chemické a senzorycké vlastnosti. Velikost kapiček v emulzi hraje také zásadní roli při určování jejich fyzikálně-chemických vlastností. Průměrná velikost kapiček a distribuce velikosti částic emulzí může být řízena měnícími se podmínkami zpracování (např. typem homogenizátoru, tlakem atd.), anebo formulací systému (např. olej, emulgátor, soli, cukry atd.) (Chung a McClements, 2014; Phillips a Williams, 2009). Může být měřena různými technologiemi pro měření velikosti částic (jako je dynamický rozptyl světla, rozptyl statického světla nebo počítání elektrických pulzů) nebo může být stanovena různými mikroskopickými metodami (jako je optická nebo elektronová mikroskopie). Kapičky ve většině potravinářských emulzí mají elektrický náboj, který závisí na typu použitých emulgátorů a podmínkách roztoku (např. pH, iontová síla atd.). Elektrické charakteristiky olejových kapek jsou obvykle charakterizovány pomocí profilu zeta-potenciálu v závislosti na pH. Kapky v emulzi mohou interagovat mezi sebou a s dalšími složkami prostřednictvím různých molekulárních a koloidních interakcí, jako jsou Van der Waalsovy, elektrostatické, sterické, vodíkové vazby, anebo hydrofobní interakce. Tyto interakce jsou ovlivněny charakteristikami kapiček (např. velikostí atd.), vlastnostmi rozhraní (např. nábojem, tloušťkou, polaritou) a prostředím spojité fáze (např. indexem lomu, pH atd.) (McClements, 2015; Chung a McClements, 2014).

*Kontinuální fáze:* Na bázi emulze potravinářských produktů může obsahovat různé složky, jako jsou soli, cukry, kyseliny, zásady, puify, škrobové granule, hydrokoloidy, částice, vzduchové bubliny a aromatické sloučeniny. Mnoho z těchto složek ovlivňuje strukturu, fyzikálně-chemické vlastnosti a sensorické vlastnosti emulzí. Například hydrokoloidy, škrobové granule a vzduchové bubliny značně zvyšují viskozitu a ovlivňují další texturní atributy emulzí. Proto je důležité stanovit fyzikálně-chemické charakteristiky různých složek v produktu na bázi emulze, aby bylo možné lépe pochopit, jak přispívají k celkovým vlastnostem systému. Jako je složení, koncentrace, velikost, tvar, náboj, polarita, interakce, hustota, index lomu a fyzikální stav (Chung a McClements, 2014, McClements, 2015).

Emulze se vyrábí pomocí emulgace, tento proces spočívá ve fragmentaci jedné kapalné fáze uvnitř druhé za vzniku velkého množství malých kapiček. Emulze v průmyslových nebo výzkumných oblastech mohou být vyráběny použitím buď vysokoenergetických nebo nízkoenergetických technik, s použitím různých druhů mechanických zařízení jako jsou smykové mixéry, vysokotlaké ventilové nebo membránové homogenizátory, mikrofluidizéry a sonikátory. Volba metody závisí na oblasti aplikace a také na druhu použitého emulgátoru (Ravera et al., 2021; Bartovská a Šišková, 2005; Charcosset, 2009). Emulze jsou stabilizovány pomocí povrchově aktivních látek, emulgátorů a stabilizátorů s vhodnou hydrofilně-lipofilní rovnováhou (Zhu et al., 2019). Emulze jsou klasifikovány na základě povahy emulgátoru nebo struktury systému. Rozsah velikosti kapiček pro každý typ emulze je zcela libovolný (Adheeb et al., 2014). Klasifikace emulzí se dělí podle jejich polaritě a koncentrace disperzního podílu.

### 1.1 Klasifikace dle polaritě disperzního prostředí a disperzního podílu

Emulze lze rozdělit do dvou skupin na jednoduché (O/V a V/O) a vícenásobné neboli dvojité emulze (O/V/O a V/O/V) a jejich schématický náčrt můžeme pozorovat na obrázku 1 (Bouyer et al., 2012; Daniels et al., 2007).



Obr. 1 Schématický náčrt různých typů emulzí

### 1.1.1 Emulze jednoduché

**Emulze přímé (prvního druhu)** – Označované jako olej ve vodě (O/V), ve kterých je disperzním prostředím polárnější kapalina, ve kterých jsou kapičky oleje dispergovány ve vodné fázi, např. majonéza, mléko, smetana, polévka a omáčky (Tatar et al., 2023; Bartovská a Šišková, 2005; Chung a McClements, 2014).

**Emulze obrácené (druhého druhu)** – Označované jako voda v oleji (V/O), ve kterých je disperzním prostředím nepochární kapalina, kde jsou kapičky vody dispergovány v olejové fázi, např. máslo, margarín a pomazánky (Tatar et al., 2023; Bartovská a Šišková, 2005).

**Emulze prvního a druhého druhu lze od sebe rozeznat podle určitých vlastností:**

- Elektrická vodivost je dána vodivostí disperzního prostředí, kdy emulze O/V jsou více vodivější než emulze typu V/O.
- Rozpustnost polárních a nepochárních barviv za použití indikátoru MM, který se rozpustí ve vodě a dá emulzi O/V modré zbarvení. Pod mikroskopem se zjistilo, že kapénky zůstanou bezbarvé. V případě emulze V/O se kapénky zbarví.
- Schopnost mísit se s polárními nebo nepochárními rozpouštědly, kdy je emulze možno ředit kapalinou, která se mísí s jejím disperzním prostředím.
- Pozorování v ultrafialovém světle, kdy za použití fluorescenčního mikroskopu olejová fáze fluoreskuje.
- Smáčivost, kdy emulze smáčí ten povrch, který je smáčen jejím disperzním prostředím (Bartovská a Šišková, 2005).

### 1.1.2 Emulze vícenásobné

Vícenásobné emulze se jinak nazývají jako dvojité nebo komplexní. Dvojitě emulze jsou komplexní systémy a lze je popsat jako emulze v emulzích. Můžeme je rozdělit na V/O/V (voda v oleji ve vodě) a O/V/O (olej ve vodě v oleji). Nejběžnější formou dvojitých emulzí je V/O/V. Emulze O/V/O se moc nevyskytují. Dvojitě emulze mohou zapouzdřit jak hydrofilní, tak hydrofobní sloučeniny, protože se jedná o komplexní systém, kde kapičky dispergované fáze obsahují jeden nebo více typů menších dispergovaných kapiček. Nejnovějším trendem v potravinářství je příprava vícevrstevných emulzí (Kumar et al., 2022; Jiménez-Colmenero, 2013; Klojdová a Stathopoulos, 2022; Tian et al., 2022; Betul et al., 2023).

V systému V/O/V (voda v oleji ve vodě) jsou menší kapičky vody dispergovány v olejové fázi ( $V_1/O$ ), která je dispergována v kontinuální vodné fázi ( $V_2$ ), zkráceně  $V_1/O/V_2$ .

Proces výroby dvojitých emulzí se dělí především na dvě části: Nejprve se vytvoří vnitřní emulze a ve druhé fázi se rozšíří do vnější vodní fáze. Běžně se ve dvoustupňové emulgaci, pro přípravu dvojitých emulzí používá lipofilní emulgátor (pro stabilizaci vnitřních kapiček vody) a hydrofilní emulgátor (pro ochranu olejových kapiček před koalescencí). Jednoduchá emulze ve dvojitých emulzích je spojena stejnou olejovou fází, což umožňuje aktivním látkám, emulgátorům a molekulám vody pronikat mezi fázemi a interagovat na rozhraních. Dvojitě emulze jsou vystaveny mnoha jevům difúze a koalescence, a proto ovlivňují vlastnosti produktu jako je výkon zapouzdření a textura. V důsledku toho, když jsou dvojitě emulze skladovány nebo vystaveny podmínkám prostředí, jsou citlivé (Kumar et al. 2022).

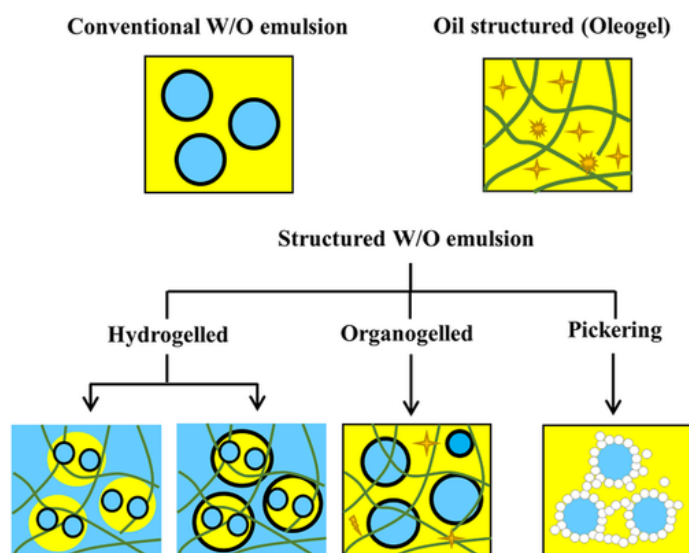
Potravinářské dvojitě emulze lze použít v různých aplikacích, kde je zapouzdření bioaktivních sloučenin jednou z nejběžnějších aplikací, což zahrnuje zapouzdření fyto-sloučenin, jako železo, peptidy atd. Kromě zapouzdření je možné vyvinout produkty se sníženým obsahem tuku a produkty s nízkým obsahem sacharózy s takovým systémem, což otevírá nové dveře pro vývoj inovativních potravin prostřednictvím dvojitých emulzí. V poslední době se také ve farmaceutickém průmyslu zavádí aplikace dvojitých emulzí pro řízené dodávání léčiv. Stabilita těchto vyvinutých emulzí však působí jako překážka jejich komerčního využití (Kumar et al., 2022; Eisinaite et al., 2016; Pu et al., 2019). Dvojitě emulze jsou tedy křehké a jejich výroba je těžká, což často vede k nízké účinnosti zapouzdření nebo k rychlému uvolnění zapouzdřené složky, a proto se i u nich provádí kontrola stability a nestability systému. (Sahin, et al., 2014).

### 1.1.3 Kritické emulze

Jsou zvláštním druhem emulzí. Soustavy se zde tvoří obvykle ze dvou omezeně mísitelných kapalin při teplotě blízké kritické teploty rozpouštědla, kdy je mezifázové napětí na rozhraní fází velmi malé ( $10^{-5}$  N/m) a k dispergování jedné kapaliny druhou stačí jen tepelný pohyb molekul. Tato emulze může existovat jen ve velmi úzkém teplotním intervalu a vyznačuje se nestálostí disperzního systému. Kapičky v soustavě se neustále tvoří a zanikají (Bartovská a Šišková, 2005).

## 1.2 Strukturované emulze

Strukturované emulze jsou propracovanější než konvenční emulze a mohou být buď V/O nebo O/V, například gelové emulze, vícevrstvé emulze, vícenásobné emulze, hydrogelové emulze, pickeringovy emulze a oleogely. Na obrázku 2 jsou příklady strukturovaných emulzí, které mohou mít kontinuální olejovou fázi (Silva et al., 2021).



Obr. 2 Konvenční emulze V/O, oleogely a strukturované emulze V/O pro použití jako náhražky tuků v potravinách. Černé kroužky představují emulgátor na povrchu vodní kapky; „stopy“ v dispergované fázi odkazují na jejich strukturování.

### 1.2.1 Gely plněné emulzí

Gely plněné emulzí jsou klasifikovány jako měkké pevné materiály a jsou to komplexní koloidy tvořené maticemi polymerních gelů, do kterých jsou zabudovány kapičky emulze. Lze je také definovat jako komplexní koloidní materiál tvořený kombinací emulzní disperze a gelové fáze. Kombinaci těchto dvou systémů lze rozdělit do dvou odlišných struktur: gely plněné emulzí a gely emulze. Jako gely plněné emulzí lze klasifikovat několik současných potravinářských výrobků, jako jsou jogurty, zmrzlina, sýry a zpracované masné výrobky (Geremias-Andrade et al., 2016).

### 1.2.2 Hydrogely

Hydrogelace je řízena zapuštěním emulgovaných kapiček do kontinuální hydrogelové matrice, ve které koexistují dvě struktury (emulze a gel). Emulgované kapičky (V/O nebo O/V) mohou být začleněny do kontinuální hydrogelové matrice, což vede k tvorbě hydrogelových emulzí. Stabilizace a strukturování jsou výsledkem emulgátoru, vodné a



olejové fáze emulzí V/O/V. V těchto případech je strukturování vodné fáze slibnější pro podporu produkce systémů s vyšší viskozitou a stabilitou (Silva et al. 2021).

Hydrogely se také definují jako trojrozměrné sítě schopné zadržovat velké množství vody ve svých strukturách. Jejich produkce může být dosažena mnoha způsoby, včetně kovalentního zasíťování, vytváření fyzikálních spojovacích zón a lokálních propletení řetězců. Hydrogely se mohou tvořit syntetickými a přírodními biologicky odbouratelnými materiály. V posledních letech se výroba hydrogelu fyzikálními interakcemi biodegradabilních polymerů stala předmětem zájmu kvůli rostoucím zdravotním problémům. Mezi těmito polymery jsou pro výrobu hydrogelu široce používány přírodní polysacharidy, proteiny a jejich různé kombinace. Potravinářské hydrogely se používají v mnoha zemědělských a potravinářských produktech pro různé účely, jako je řízené uvolňování zapouzdřené bioaktivní látky a úpravy viskozity – textury. Jelikož je v těchto systémech strukturována voda, vnitřní síť hydrogelu se skládá z hydrofilních materiálů. Proto lze hydrogely považovat za polotuhé materiály s viskoelastickými vlastnostmi. Reologická charakterizace těchto systémů je důležitá, protože mohou ovlivnit organoleptické vlastnosti potravin, do kterých jsou přidávány. Kromě toho mohou reologické vlastnosti hydrogelu také ovlivnit zpracování, skladování a přepravu potravin (Ozel a Oztop, 2023).

### 1.2.3 Emulze na bázi oleogelu

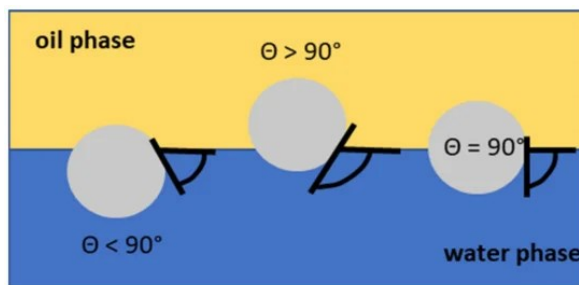
Oleogelované emulze se skládají z oleogelové matrice v emulgovaném systému. Kontinuální fáze je strukturována pevnými krystaly tuku a vodná fáze je zachycena v želatinované síti. Emulze mohou být strukturovány ve vodné fázi pomocí biopolymerů nebo v olejové fázi pomocí lipidových strukturálních činidel. Nízkomolekulární amfifilní struktury mohou být schopny současně stabilizovat a strukturovat emulze V/O. V tomto případě zůstává vodná fáze imobilizována v kontinuální gelové olejové fázi. Jeho příprava zahrnuje zpracování oleogelu (více strukturujícího oleje) a jeho homogenizaci s vodnou fází, čímž dochází ke stabilizaci. V závislosti na procentuálním podílu vody přidané do oleogelu lze vyvinout systémy s různými texturami a reologickými vlastnostmi. Tyto vlastnosti jsou ovlivněny charakteristikou a koncentrací přidávaných složek a způsoby přípravy emulze. Kromě toho některé gelátory vykazují mezifázové vlastnosti, jejichž výsledkem jsou stabilnější emulze než emulze konvenčních (Silva et al., 2021; Tirgarian et al., 2023).

Emulze na bázi oleogelu se odlišují kontinuálními a dispergovanými fázemi a strukturujícími – emulgačními složkami. Zásadní je, že tyto emulze by mohly být použity v potravinářském průmyslu pro přípravu např. masných výrobků a margarínů, stejně jako v kosmetickém průmyslu. Prezентují se různé procesy zpracování emulze, které souvisí s použitím gelující složky, vlivem obsahu vody na strukturování emulzí voda v oleogelu a strukturovací mechanismy. Emulze voda v oleogelu strukturně obsahuje oleogelovou matici v emulgovaném systému, ve kterém je vodná fáze zachycena v trojrozměrné síti krystalů tuku. Na rozdíl od typických emulzí V/O, emulze voda v oleogelu mají pozoruhodnou fyzikální stabilitu vůči environmentálním stresům, jako je vysoká teplota, sůl, zmrazování a rozmrazování atd. a to díky své jedinečné gelovité povaze. Emulze na bázi oleogelu vykazují velký potenciál pro náhradu trans tuků a snížení nasycených tuků v potravinářských produktech na bázi tuku. Tyto emulze se získávají pomocí mechanických sil, které podporují tvorbu malých kapiček, a také použitím sloučenin, které působí na rozhraních, čímž se snižuje mezifázové napětí. Tuto homogenizační sílu mohou zajistit vysokorychlostní mixéry, koloidní mlýny nebo vysokotlaké homogenizátory (Tirgarian et al., 2023; Silva et al., 2021).

#### 1.2.4 Pickeringovy emulze

Základní rozdíl mezi pickeringovými a „normálními“ emulzemi je v jejich stabilizačních látkách. Pickeringovy emulze jsou stabilizovány pevnými koloidními částicemi na rozhraní dvou nemísitelných kapalin, zatímco „normální“ emulze jsou stabilizovány emulgátory, jako povrchově aktivní látky, fosfolipidy, proteiny nebo polysacharidy (Tan a McClements, 2021; Li et al, 2020). Konečná stabilita emulzí je pak závislá na složení a vlastnostech částic (typ, tvar, velikost atd). Pickeringová stabilizace obvykle znamená vytvoření pevného filmu koloidními pevnými částicemi na rozhraní. Tyto emulze pak mají vysokou fyzikální stabilitu a mohou být dokonce použity jako nový kompozitní jedlý povlakový film s antifungálními vlastnostmi.

Kapky pickeringové emulze s emulgátorem jsou stabilizovány částicemi, které se vyznačují částečnou dvojitou smáčivostí jak olejovou, tak vodní fází. Vytvořená emulze je definována hodnotou hydrofilně – lipofilní rovnováhy emulgátoru. Tato vlastnost vede k akumulaci částic na rozhraní olej-voda. Výše uvedené částice mohou stabilizovat jak O/V, tak V/O. Typ emulze, která je výhodně stabilizována částicemi, lze odvodit z kontaktního úhlu částic na rozhraní olej – částice – voda (Tavernier et al., 2016).



Obr. 3: Chování Pickeringových částic na rozhraní voda-olej, určeného smáčivostí pevných částic

Na obr. 3 můžeme sledovat formulační typy Pickeringovy emulze, V/O nebo O/V je určen smáčivostí pevných částic. Smáčivost částic je definována třífázovým kontaktním úhlem. O/V se vytvoří, pokud je kontaktní úhel částic s vodní fází pod  $90^\circ$  (hydrofilní částice) a V/O se vytvoří, pokud je kontaktní úhel částic s vodní fází větší než  $90^\circ$  (hydrofobní částice). Pokud je kontaktní úhel částice s vodní a také olejovou fází roven  $90^\circ$  je částice ukotvena na rozhraní voda – olej.

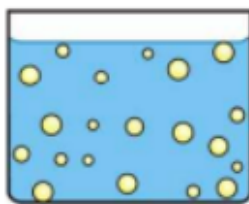
Částice používané ke stabilizaci potravinářských emulzí by měly být potravinářské kvality, a proto jsou možnosti omezeny na částice biologického původu, jako jsou tukové krystaly, deriváty celulózy, mléčné a rostlinné bílkoviny, protein-polysacharidové komplexy a flavonoidy. Pickeringovy emulze stabilizované potravinářskými částicemi mají široký rozsah použití. Mohou být použity k zapouzdření aktivních složek nebo ke zlepšení nutričního profilu, textury nebo struktury několika zpracovaných potravin (Klojdová a Stathopoulos, 2022; Tavernier et al. 2016; Sanchez-Salvador, 2019).

### 1.3 Klasifikace dle koncentrace disperzního prostředí

Emulze se podle koncentrace disperzního prostředí dělí na zředěné, koncentrované a gelovité.

#### 1.3.1 Zředěné emulze

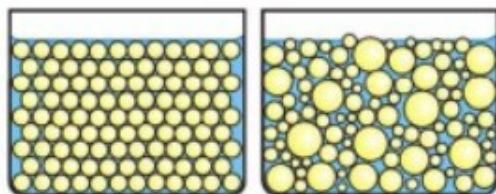
Ve zředěných emulzích kapičky vzájemně neinteragují, protože jsou od sebe dostatečně daleko, což můžeme pozorovat na obr. 4. Takové emulze vykazují relativně nízkou viskozitu, ve které dominuje vliv spojité fáze. Dispergovaná fáze zaujímá max. 2 % celkového objemu, průměr dispergovaných částic je řádově  $10^{-7}$  m, je tedy velmi blízký rozměru koloidních částic (Bartovská a Šišková, 2005; Erramreddy et al., 2017).



Obr. 4: Zředěné emulze

### 1.3.2 Koncentrované emulze

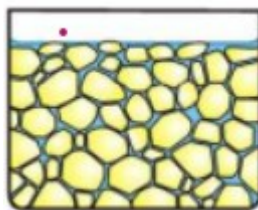
Jsou emulzemi s nedeformovanými sférickými kapkami. Koncentrace v monodisperzních systémech (obr. 5 vlevo) mohou dosáhnout podílu až 74 objemových %, což odpovídá nejtěsnějšímu geometrickému uspořádání kulovitých částic. Polydisperzní emulze (obr. 5 vpravo) lze připravit i koncentrovanější. Jak se emulze stává koncentrovanější, interakce mezi kapičkami prostřednictvím srážek, hydrodynamické interakce se zdatelně zvýší což brání v jejich pohybu v kontinuální fázi, což má za následek zvýšení viskozity emulze (Erramreddy al., 2017; Bartovská a Šišková, 2005).



Obr. 5: Monodisperzní a polydisperzní emulze

### 1.3.3 Vysoce koncentrované (gelovité) emulze

Disperzní podíl mezi dispergovanými částicemi je uložen tak těsně, že se vzájemně deformují. Nabývají tvaru mnohostěnů oddělených od sebe tenkými filmy koloidních rozměrů (vrstvičkami disperzního prostředí a emulgátoru), které můžeme pozorovat na obrázku 6 (Bartovská a Šišková, 2005).



Obr. 6: Vysoce koncentrované emulze

## 1.4 Klasifikace dle velikosti částic

Podle velikosti částic se emulze dělí na makroemulze, mikroemulze a nanoemulze. Rozsah a velikost kapiček pro každý druh emulze je zcela jiná a je definován z hlediska fyzikálních a termodynamických vlastností emulze.

### 1.4.1 Makroemulze

Makroemulze jsou emulzní systémy s velikostí kapiček v rozmezí 100 nm – 100 μm. Tyto velikosti umožňují rozptyl světla a dodávají těmto systémům jejich bílou barvu. Nejběžnější formou makroemulze v potravinářském průmyslu jsou mléka, nápoje, majonézy, dipy, omáčky a dezerty. Makroemulze jsou náchylné k fyzikální nestabilitě, např. gravitační separaci, flokulaci a koalescenci (Boyer et al. 2012; Adheeb et al., 2014).

### 1.4.2 Mikroemulze

Mikroemulze se obecně používá k označení termodynamicky stabilních izotropních kapalin vytvořených smícháním oleje, vody a povrchově aktivních látek dohromady. Tyto směsi mohou tvořit řadu různých systémů v závislosti na jejich složení a podmínkách prostředí (zejména teploty). Mikroemulze obecně obsahují jak povrchově aktivní látku, tak pomocnou povrchově aktivní látku, která indukuje spontánní tvorbu tohoto systému. Mikroemulze jsou často pro oko průhledné, mají nízkou viskozitu a jsou termodynamicky stabilní. Tato stabilita je dána jejich velmi nízkým mezi povrchovým napětím (entalpií), typicky  $10^{-1}$ - $10^{-2}$  mN/m a na dostatečně nízkou velikost kapiček (entropií). Velikost kapiček se skutečně pohybuje od 0,1 do 100 nm. Tyto velikosti umožňují rozptyl světla a dodávají těmto systémům jejich bílou barvu (McClements, 2012; Bouyer et al., 2012).

### 1.4.3 Nanoemulze

Nanoemulze se obecně skládají z oleje, povrchově aktivní látky a vody. Jedná se o termodynamicky nestabilní systémy. Nanoemulze jsou podobné běžným emulzím s tím rozdílem, že mají menší průměry kapiček v rozmezí od přibližně 20 do 100 nm (některé publikace uvádí i více). Malá velikost kapiček znamená, že mají několik potenciálních výhod oproti makroemulzím pro specifické aplikace, včetně lepší stability vůči gravitační separaci a agregaci kapiček, větší optické čirosti a vyšší biologické dostupnosti enkapsulovaných bioaktivních sloučenin. Velikost kapiček lze řídit změnou jejich složení a výrobních metod. Typicky se velikost kapiček zmenšuje, jak se zvyšuje koncentrace emulgátoru, poměr viskozity oleje k vodě má tendenci k jednotce a zvyšuje se intenzita a doba homogenizace.

Kapíčky v nanoemulzích typu olej ve vodě (O/V) lze považovat za sestávající z hydrofobního jádra obsahujícího olej a amfifilního obalu obsahujícího emulgátor. Poměr slupky k jádru nanoemulzí je větší než u makroemulzí, což ovlivňuje jejich vlastnosti a funkční atributy, jako je jejich stabilita, optické vlastnosti a reologie. Nanoemulze byly běžně zkoumány pro jejich schopnost zapouzdřit, chránit a dodávat hydrofobní bioaktivní sloučeniny v potravinách a nápojích (Tan a McClements, 2021; Betul et al. 2023).

## 2 VYBRANÉ DRUHY POTRAVINÁŘSKÝCH EMULZÍ

### 2.1 Smetana ke šlehání

Smetana ke šlehání obvykle obsahuje 30–40 % mléčného tuku. Jedná se o komplexní emulzi oleje ve vodě (O/V), která se po procesu šlehání při nízkých teplotách přemění na provzdušněnou pěnu. Na rozdíl od nativní mléčné smetany, která se získává přímo z čerstvého mléka, se rekombinovaná mléčná smetana (RDC) získává spojením mléčných složek (mléčný tuk a bílkoviny) s emulgátory. Kromě toho je RDC snadno modifikovatelný pro usnadnění aplikace na různé potravinářské produkty (Li, Y. et al., 2020; Li, M. et al., 2020; McClements, 2015).

Smetana ke šlehání je tedy emulze typu O/V, která se po provzdušnění může změnit na třífázový systém, v němž jsou obsažené vzduchové bubliny udržovány v síti tukových kuliček. Mechanismus šlehání lze stručně shrnout takto: velké vzduchové bubliny se zašlehávají do smetany a bílkoviny se rychle adsorbují na rozhraní vzduch – voda. Vzduchové bubliny se rozpadají na menší bubliny a tukové kuličky vytlačují část bílkovin z rozhraní bublin. Dochází k částečné koalescenci tukových kuliček v důsledku mechanického poškození kuliček, které je zesíleno velkými krystaly lipidů (vyčnívající krystaly mohou prorazit film mezi dvěma blízkými se kuličkami), což vede ke ztuhnutí krému. Vzduchové bubliny jsou nakonec obklopeny a stabilizovány sítí koalescenčních tukových kuliček, což zabraňuje kolapsu šlehačky (Liu et al., 2022). Někdy se do šlehačky na šlehání přidávají biopolymery (různé gummy nebo želatina), aby se zlepšila jejich stabilita při šlehání zvýšením viskozity vodné fáze, čímž se zpomalí pohyb vzduchových bublin (McClements, 2015). Šlehačka je velmi oblíbený mléčný výrobek, který lze konzumovat přímo nebo použít jako přísadu do dezertů, pečiva, dortů, zmrzlin atd. (Li et al., 2020).

### 2.2 Mléko

Mléko je ve svém původu emulze typu olej ve vodě s přibližně 87 % vody a 13 % sušiny. Jedná se o komplexní systém s tukovými kuličkami distribuovanými ve vodní fázi, známým jako mléčné sérum, ve kterém jsou také dispergovány nebo rozpuštěny proteiny a laktóza. Složení syrového mléka se značně liší mezi různými plemeny, ale rozdíly lze nalézt i v rámci plemen. Sušina v kravském mléce se orientačně skládá z: 31 % tuk, 27 % bílkoviny, 36 % laktóza a 6 % popel 6.

### 2.3 Mléčné krémy (smetany)

Mléčné krémy (smetany) jsou emulze typu olej ve vodě (O/V) s dispergovanou lipidovou fází částečně složenou z pevného tuku. Tyto emulze mají charakteristickou vlastnost zvětšovat svou tloušťku po našlehání nebo protřepání. K těmto reologickým změnám dochází jako důsledek částečného koalescenčního procesu, při kterém tukové kuličky tvoří rigidní trojrozměrnou síť. Tento jev vyžaduje přítomnost podílu pevného tuku v dispergované lipidové fázi, protože tukové kuličky se spojují, když pevný krystalický tukový krystal z jedné globule proniká do tekuté olejové části jiné globule. Stupeň částečné koalescence je tedy vysoce závislý na obsahu pevného tuku. Jiní autoři byli schopni toto chování napodobit vývojem modelových krémovitých emulzí připravených s mléčnou bílkovinou a rostlinným tukem. Pro formulaci smetanových emulzí s podobným reologickým chováním jako mléčné smetany se používá sójové mléko (Marquez a Wagner, 2012).

### 2.4 Máslo

Máslo je emulze vody v oleji obsahující 80 % mléčného tuku, 18 % vody a 2 % mléčné sušiny, která je vytvořena ze smetany provedením řízené inverzní fáze. Smetana používaná k výrobě másla se odděluje od plnotučného mléka a poté se pasteruje. Smetana se poté ochladí na teplotu vhodnou pro stloukání, kdy se krystalky tukových kuliček spojí a vzniknou shluky agregovaných tukových kuliček. Shluky se postupně zvětšují a vzájemně se shlukují až na konec dojde k inverzní fázi. Na konci stloukání se systém skládá z kapiček vody, vzduchových bublinek a některých nerozpuštěných tukových kuliček v síti krystalů tuku (McClements, 2015).

### 2.5 Margaríny a pomazánky

**Margarín:** Je emulze V/O s obsahem tuku 60–80 %. Tato emulze se plně stabilizuje po přidavku emulgátoru mono- a diglyceridů masných kyselin. Mezi výhody použití monoglyceridů patří jemné rozložení kapiček vody v tukové fázi, hladká roztíratelná konzistence, stabilní krystalická struktura a příjemný pocit rozplývání se v ústech pro spotřebitele (Norm, 2015).

**Nízkotučné pomazánky:** Jsou emulze typu V/O s obsahem tuku 35–45 %. Použití stejného emulgátoru jako u margarínu má stejné výhody. Podmínky emulgace jsou ale obtížnější,



protože množství vody, která se musí stabilizovat je 3x až 4x větší než u běžných pomazánek.

**Velmi nízkotučné pomazánky:** Jsou emulze O/V s obsahem tuku kolem 3 %. Tyto emulze se připravují pomocí gelové technologie (Norn, 2015).

## 2.6 Majonéza

Je emulze typu V/O, která obsahuje vysoké % oleje (asi 70 %). Kvůli velkému procentu tuku je hlavní problém koalescence než krémování. Různé zdroje proteinů se používají kvůli jejich účinnosti snižování koalescence. Výrobní postup majonézy je velmi kritický, protože vysoké procento oleje upřednostňuje emulzi V/O spíše než emulzi O/V. Lecitin obsažený v přidaném vaječném žloutku je obvykle jediným přidaným emulgátorem. Rostlinný olej však může obsahovat emulgátory přidané k inhibici krystalizace, např. mono-stearát (Adheeb et al. 2014).

## 2.7 Kokosové mléko a smetana

Kokosové mléko je bílá emulze oleje ve vodě. Na základě CODEX STAN240-2003 je kokosové mléko definováno jako zředěná emulze původně odvozená ze zralých kokosových jader, zatímco kokosová smetana je neředěná emulze extrahovaná ze stejného zralého jádra kokosu. Kokosové produkty, včetně kokosového mléka, kokosové vody a kokosové smetany, jsou produkty podléhající zkáze kvůli vysokému obsahu tuku a vody. Jedná se o fyzikálně nestabilní systém, který má tendenci podléhat separaci fází, a proto se kokosové produkty často tepelně upravují, aby se prodloužila jejich životnost (Maghazechi et al., 2021).

## 2.8 Zmrzlina

Zmrzlina je strukturálně složitý koloidní potravinový systém sestávající se ze vzduchových bublinek (50–80  $\mu\text{m}$ ), ledových krystalů (30–50  $\mu\text{m}$ ) a tukových kuliček (1  $\mu\text{m}$ ) rozptýlených v tekuté vodné fázi, která obsahuje mrazem koncentrované cukry, minerální látky a bílkoviny. Jinými slovy lze zmrzlinu popsat jako pěnu, emulze i disperzi, která má dvě různá důležitá rozhraní, kterými jsou vzduch – voda a tuk – voda. Vzduch je důležitou složkou zmrzliny, ovlivňuje její fyzikální a sensorické vlastnosti a také stabilitu zmrzliny při skladování. Vzduch je distribuován jako vzduchové buňky o průměru 20–50  $\mu\text{m}$ . Zmrzlina má normálně asi 100 % přebytek, což znamená, že vzduch tvoří 50 % objemu zmrzliny.

Lehké překročení hodnoty má za následek hustší a tužší zmrzlinu, zatímco vyšší překročení poskytuje lehčí texturu, ale slabší strukturu. To může být kompenzováno přidáním emulgátorů. Pokud se zmrzlina nevyrobí nebo neskládá správně, může zmrzlina obsahovat i krystaly laktózy, která ji dodává nežádoucí zrnitou texturu. Právní předpisy specifikují druhy a množství složek, které mohou být ve zmrzlině (mléčný tuk, mléčná sušina, vzduch, stabilizátory a emulgátory). Vzhled, textury a trvanlivost závisí na přesné povaze ingrediencí, způsobu zpracování a skladovací teplotě (McClements, 2015; Norn, 2015). Emulgátory ve zmrzlině zlepšují disperzi tuku, usnadňují interakce tuk – bílkovina, kontrolují shlukování tuku, usnadňují zabudovávání vzduchu do systému, dodávají hladší strukturu díky menším ledovým krystalkům a vzduchovým bublinám, zvyšují odolnost proti srážení a zkracují dobu šlehání (Adheeb et al., 2014).

## 2.9 Čokoládové pomazánky

Čokoládové pomazánky se skládají z dispergované fáze (obsahující cukr, kakaový prášek, mléko, ořišky a ochucovadla) ve spojitě pevné tukové fázi. Tyto pomazánky jsou široce konzumovány ke snídani, nebo se používají přímo jako lahodný cukrářský produkt, náplň do jiných potravin jako jsou sušenky. Tuková fáze čokoládových pomazánek se většinou skládá z nasycených tuků, jako je kakaové máslo, palmový olej a kokosový olej (Tolve et al. 2021; Tirgarian et al., 2023).

Nasycené tuky přispívají k vlastnostem jako je krémová textura, lesklý vzhled, bohatá chuť a rozpouštění se v ústech. V posledních letech bylo provedeno mnoho výzkumů na přeměnu kapalných rostlinných olejů na měkké pevné materiály, známé jako oleogely, pomocí strukturujících činidel (jako jsou monoglyceridy, přírodní vosky, ethylcelulóza atd.). Tímto způsobem lze strukturovat velké množství rostlinného oleje za použití relativně malého hmotnostního podílu strukturního činidla (někdy jen 0,5 % hm.) (Silva et al., 2021; Tirgarian et al., 2023).

Nicméně použití oleogelu v čokoládách může být problematické. Například vysoké teploty tání některých oleogelů (60–80 °C) by mohly vést k tepelné odolnosti v čokoládách a zabránit žádoucímu „rozpuštění se v ústech“. V této souvislosti by mohly být potenciálním řešením výše uvedeného problému emulze voda v oleogelu. Tyto struktury obsahují oleogelovou matici v emulgovaném systému, ve kterém je vodná fáze zachycena v trojrozměrné síti krystalů tuků (Tirgarian et al., 2023; Silva et al. 2021).

## 2.10 Citronový olej

Pro omezení degradace nebo ztráty aroma během zpracování a skladování je běžnou praxí zapouzdření esenciálních olejů před začleněním do potravin nebo nápojů. Citronový olej, široce používaný v potravinářském průmyslu k ochucení mnoha produktů, od pečiva a nealkoholických nápojů po mléčné a cukrářské výrobky, se snadno rozkládá oxidací, teplem anebo světlem. Z těchto důvodů se vyrábí emulze a kapsle citronového oleje jako prostředky k ochraně a usnadnění manipulace s tímto těkavým olejem (Kaade et al. 2019).

## 2.11 Nápojové emulze

Obecně se nápojové emulze dají definovat, jako jakékoliv emulze O/V, které lze pít. Lze sem zařadit různé mléčné, nemléčné a nesycené nápoje, jako je káva, čaj, Coca-Cola, ovocné a nealkoholické nápoje atd. Tyto emulze se mohou rozdělit na dvě kategorie: Emulze s příchutí nápojů, které se používají k poskytnutí kombinace chuti, zákalů a barvy k hotovým produktům. Druhým typem jsou zakalené nápojové emulze, které se používají k zakalení výrobků (McClements, 2015).

### 3 STABILITA EMULZÍ

Emulze je termodynamicky nestabilní dvoufázový systém tvořený alespoň dvěma nemísitelnými nebo omezeně mísitelnými kapalinami (hydrofobní nebo hydrofilní látka), z nichž jedna je ve formě kapek rozptýlená v druhé. V takovémto disperzním systému bývají přítomny i látky (např. emulgační činidla atd), které brání rozpadu daného systému. Dispergovaná kapalina bývá označována jako vnitřní nebo diskontinuální fáze, zatímco disperzní médium nese označení kontinuální fáze.

#### 3.1 Stabilita pomocí emulgátorů

Ke stabilizaci emulzí snížením mezifázového napětí mezi dvěma fázemi se používají emulgátory, včetně přírodních polymerů (polysacharidy a proteiny) a povrchově aktivních látek. Potravinové emulze jsou zachycovány v kineticky stabilním stavu, protože stav s nejnižší volnou energií je ten, kdy dochází k rozmixování olejové a vodné fáze (Zhu et al. 2019; Euston, 2013).

Používá se několik typů emulgátorů, buď samostatně nebo v kombinacích, v závislosti na požadované funkčnosti. Obecně se emulgátory vzhledem k jejich povaze s hydrofilní a hydrofobní skupinou v molekule v konkurenci s proteiny nacházejí na rozhraní mezi kapičkami oleje a sérovou fází nebo v případě pěn na rozhraní vzduchového séra, čímž se snižuje mezifázové napětí mezi fázemi. Proteiny a emulgátory také interagují a mění membránu tukových kuliček a její stabilitu emulze a odolnost vůči mechanickým interakcím. Účinek závisí na hydrofilních a lipofilních skupinách a také na iontových vlastnostech (Norn, 2015).

Jednou z nejběžněji používaných metod pro zlepšení stability emulzí typu olej ve vodě (O/V) je začlenění emulgátorů do potravinového vzorce. Emulgátory se používají v emulzních produktech ke snížení mezifázového napětí olej ve vodě a k vytvoření ochranné vrstvy kolem lipidových kapiček. Některé z těchto emulgátorů však nemusí být schopny zajistit dlouhodobou stabilitu emulze nebo mohou mít relativně špatnou toleranci vůči zátěži prostředí, jako je zahřívání, mrazení, chlazení, dehydratace a změny pH.

Polysacharidy se používají např. jako stabilizátory pro emulze na bázi V/O (např. panenský kokosový olej). Polysacharidy brání koalescenci olejových kapiček zvýšením viskozity emulze a vytvořením gelové sítě ve vodné fázi během emulgačního procesu, čímž se vytvoří stabilní emulze. Navíc přidání polysacharidů do kontinuální fáze může poskytnout

specifické reologické vlastnosti a vytvořit sterickou stabilizaci, která dále zvyšuje stabilitu emulze (Khor et al., 2018).

Stabilita je důležitým ukazatelem pro měření komerční hodnoty potravinářských produktů na bázi O/V. Emulze V/O jsou však termodynamicky nestabilní systémy v důsledku velké plochy dispergované fáze. Vysoká mobilita vodních kapiček podpoří destabilizaci systému a separaci fází (sedimentace, krémování a koalescence). Podmínky přípravy a prostředí jako teplota, iontová síla a přítomnost kyslíku dále mohou způsobit oxidaci lipidů a nestabilitu systému emulze. Stabilita dále závisí na typu a koncentraci použitého emulgátoru, na složení jednotlivých emulzí. Kromě olejů, vody, emulgátorů, stabilizátorů, hydrokoloidů mohou být přítomny i další přísady a živiny (jako jsou soli, cukry vitamíny, aminokyseliny atd.) do olejové nebo vodné fáze emulzního systému. Přidání emulgátorů s mezifázovými anebo zahušťovacími vlastnostmi umožňuje tvorbu a stabilizaci emulze. Farmaceutické emulze jsou většinou stabilizovány syntetickými povrchově aktivními látkami (Zhu et al., 2019; Boyer et al. 2012; Ren et al., 2022). Použití hydrokoloidů je nejstarší způsob, jak zvýšit stabilitu reologie kontinuální fáze. Hydrokoloidy lze použít jako zahušťovadla v kečupu, emulgátor v nealkoholických nápojích nebo náhradu tuku ve zmrzlině a salátových dresincích (Betul et al., 2023).

### 3.2 Oxidační stabilita

Oxidační stabilita je velmi důležitá kvůli trvanlivosti výrobků na bázi emulze V/O. Antioxidantů se používají, aby se zabránilo oxidaci olejové fáze. Fenolické látky jako kyselina vanilová, kávová a syringová mají vliv na oxidační stabilitu emulzí V/O. Bylo zjištěno, že všechny fenolické sloučeniny snižují mezifázové napětí na rozhraní vzduch-voda, což přispívá k tvorbě nanoemulzí typu V/O. Mezi těmito třemi fenolovými sloučeninami vykazovala kyselina kávová nejvyšší oxidační stabilitu a byla nejúčinnější při usnadňování tvorby V/O emulzí. Kyselina askorbová je dobře známá antioxidační složka, když se přidá do vodné fáze může chránit olej před oxidačním poškozením. Přírodních hydrofilních antioxidantů jako chelátory kovů a jejich směsi mají vliv na oxidační stabilitu olejových emulzí typu voda v řasách. Bylo zjištěno, že přítomnost extraktu zeleného čaje a kyseliny askorbové může účinně inhibovat oxidaci emulzí (Zhu et al., 2019).

Chelátory kovů, jako je kyselina ethylendiamintetraoctová (EDTA), nemají významný ochranný účinek na oxidaci řasového oleje, ale významně přispívají k antioxidaci emulzí voda v řasách. Tyto informace poskytují užitečné informace o konstrukci emulzí V/O s lepší

oxidační stabilitou. Současné praktické využití emulzí V/O v potravinářských výrobcích je ve srovnání s emulgemi O/V poměrně omezené, ale tento emulzní systém má značný potenciál pro potravinářské aplikace. Existují tři hlavní důvody, proč se uvažuje o použití emulzí V/O v potravinářství: snížení obsahu tuku, zapouzdření hydrofilních bioaktivních látek a kontrola uvolňování zapouzdřených látek (Zhu et al., 2019).

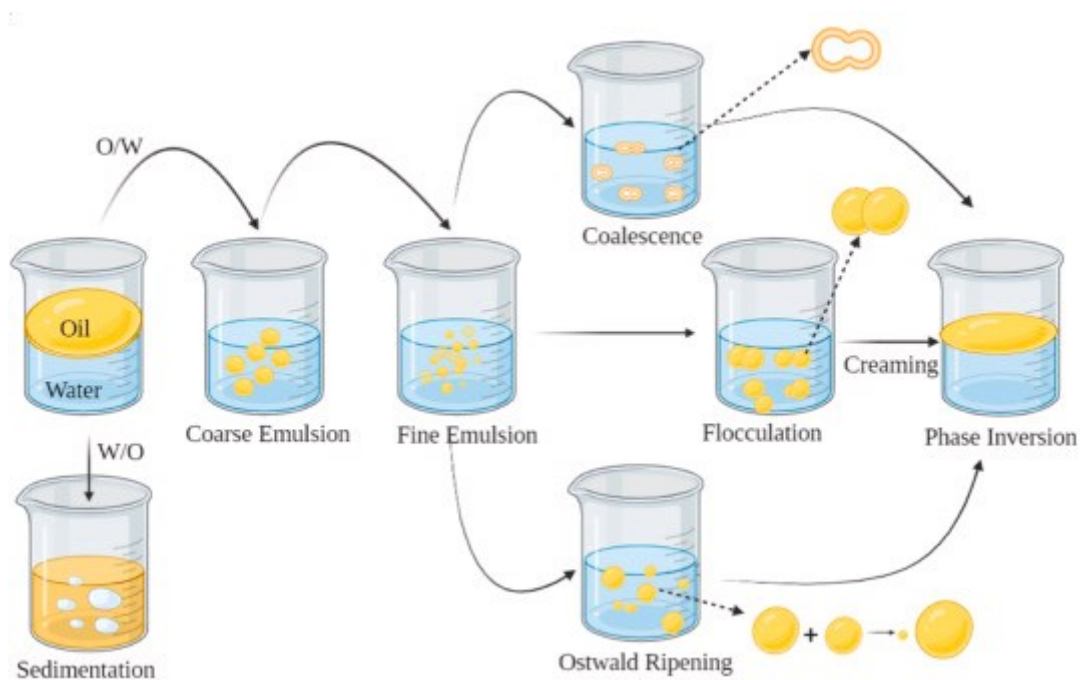
### 3.3 Stabilizace pomocí anorganických solí

Anorganická sůl ovlivňuje mnoho faktorů v emulzi V/O, např. objemový podíl dispergované fáze, koncentrace povrchově aktivních látek a přítomnost aditiv. Bylo zjištěno, že stabilitu V/O emulzí lze zlepšit přidáním vhodné koncentrace anorganické soli ( $\text{CaCl}_2$ ,  $\text{NaCl}$ ,  $\text{MgCl}_2$  a  $\text{MgSO}_4$ ) do vodné fáze. Vědci zkoumali složení, strukturu a fyzikální vlastnosti emulzí V/O s přidavkem anorganické soli. Existuje podstatný důkaz, že začlenění látek nerozpustných v oleji do dispergované fáze může zmírnit problém Ostwaldova zrání. Bylo také teoreticky vysvětleno, že přítomnost špatně rozpustných složek způsobuje rozdíl ve složení mezi velkými a malými částicemi, což by mohlo vyvážit hnací sílu Ostwaldova zrání. U polydisperzního emulzního systému V/O je celkový tlak (včetně Laplaceova tlaku a osmotického tlaku) v malých kapičkách vyšší než ve velkých kapičkách, což pohání vodu pronikat z malých kapiček na velké, zatímco přidavek elektrolytů v dispergované fázi povede k rozdílu v osmotickém a Laplaceově tlaku u kapiček emulze. Koncentrace elektrolytu ve velkých kapičkách má tendenci klesat, zatímco celkový tlak se bude zvyšovat. U menších kapiček je situace opačná. V důsledku toho se zpomalí difúze vody z menších kapiček na větší, což bude mít za následek ukončení Ostwaldova procesu zrání. Koncentrace elektrolytů významně ovlivňuje stabilitu emulzí V/O. Při nižší koncentraci  $\text{NaCl}$  ( $<0,012 \text{ M}$ ) došlo k Ostwaldovu zrání, což vedlo k vymizení dílčích malých kapiček, ale ke zvýšení průměrů kapiček emulze. Pokud je přítomen v dostatečně vysoké koncentraci v dispergované fázi, mohl by  $\text{NaCl}$  potlačit difúzi molekul vody mezi kapičkami emulze a tím zvýšit stabilitu proti koalescenci a sedimentaci. Anorganické soli mají schopnost snižovat mezipovrchové napětí na rozhraní olej-voda a zvyšovat viskoelasticitu mezifázového filmu stabilizovaného povrchově aktivními látkami (Zhu et al., 2019).

### 3.4 Destabilizace emulze

Emulze jsou termodynamicky nestabilní systémy, a proto mají sklon k destabilizaci fyzikálními a chemickými faktory. Stabilita různých emulzí může být ovlivněna procentem emulgátoru použitého při přípravě. Existují, ale i další různé jevy připisované nestabilitě

emulzí jako je koalescence, sedimentace, krémovitost, vločkování atd. Schematické znázornění mechanismu nestability je znázorněno na obr. 7 (Kumar et al., 2022).



Obr. 7: Schématické znázornění mechanismu nestability systému

**Ostwaldovo zrání** je běžný jev v potravinářských emulzích, které obsahují aroma nebo esenciální oleje. Je způsobeno rozdílem v rozpustnosti mezi rozptýlenými kapičkami emulze. Menší kapičky s větším poloměrem jsou rozpustnější než větší kapičky s menším poloměrem. Při tomto jevu dochází k difúzi drobných kapiček do větších, k čemuž dochází, když se dispergovaná fáze příliš zvětší a způsobí náhlý pokles viskozity emulze (Zhu et al., 2019; Kumar et al., 2022, McClements a Gumus, 2016).

**Sedimentace (gravitační separace)** vede k makroskopické separaci v důsledku rozdílu hustoty mezi oběma fázemi, jak je znázorněno na obr. 7. Bylo zjištěno, že zvýšení poměru dispergované fáze zvyšuje viskozitu v důsledku snížení sedimentace. Tento jev je dobře definován Stokesovým zákonem, který interpretuje, že velikost kapiček a viskozita spojité fáze přímo ovlivňují gravitační separaci. Úroveň sedimentačního indexu je přímo spojena s velikostí kapek. Malá velikost kapiček snižuje hustotu systému, a proto je kritická pro vytvoření fyzikálně stabilní emulze a zabránění koalescenci nebo flokulaci kapiček (Kumar et al., 2022; Liu et al., 2022).

**Flokulace (vločkování)**, která spočívá ve vytváření shluků kapiček (vloček), je řízena interakcí adsorbovaných vrstev na povrchu kapiček emulze. (Ravera et al., 2021; Kumar et al., 2022).

**Krémování** popisuje pohyb kapiček směrem nahoru v důsledku jejich nízké hustoty ve srovnání s hustotou okolní kapaliny (Liu et al., 2022). Během Krémování může mezifázová membrána mezi kapkami prasknout a nevratně krémovat. Snížení velikosti kapiček, zvýšení viskozity kontinuální fáze a vyrovnání hustoty jsou tři hlavní způsoby, jak snížit tvorbu krémování v emulzích. Důležitým faktorem při krémování je hustota oleje, která se zvyšuje s nárůstem gradientu hustoty v obou fázích (Kumar et al., 2022).

**Koalescence** je proces, při kterém se dvě nebo více částic spojují v celek o větším průměru, ale menšímu celkovému povrchu, a tedy menší povrchové energii. (Kumar et al., 2022). Koalescence může být urychlena mechanickým mícháním nebo odstředivou silou v důsledku zvýšené frekvence srážek kapiček emulze. Například centrifugace je snadná a praktická metoda stanovení účinku formulace na koalescenční stabilitu emulzí tím, že se kapičky přinutí, aby do sebe narážely pod odstředivou silou (Liu et al., 2022).

**Fázová inverze** je jev, kdy se emulze V/O přemění na emulzi O/V a naopak (Brtovská a Šišková, 2005).

Jednotlivé procesy probíhají současně, nelze tedy přesně říct, který začal dřív a který později. Důsledkem těchto procesů je **fázová separace**, což je rozdělení jednotlivých fází emulze, které se projevuje vytvořením vrstvy čistého oleje na povrchu emulze (Velíšek, 2002).



## 4 BIOPOLYMERY JAKO EMULGÁTORY

Jako emulgátory se používají biopolymery, mezi které se řadí proteiny a polysacharidy. Existují i proteino-polysacharidové komplexy. Kombinace proteinu a polysacharidů se běžně používají jako emulgátory ke stabilizaci emulzí typu O/V. Slizy jsou slibnými emulgačními biopolymery a zahušťovadly pro potravinářský a nepotravinářský průmysl kvůli svým vlastnostem koloidní struktury (Qiu et al., 2015).

### 4.1 Polysacharidy

Pro komerční využití se v potravinářském průmyslu používají četné potravinářské emulgátory, zejména polysacharidy, jako je guarová guma (GG), xantanová guma (XG), pektin, škrob atd., díky jejich nízké toxicitě, vysoké biokompabilitě a biologické rozložitelnosti. Polysacharidy mohou být také použity jako zahušťovadla nebo stabilizátory, vytvářejí síťové struktury pro zvýšení viskozity kontinuální fáze, modifikaci reologických vlastností a zlepšení stability emulzí (Ren et al., 2022).

#### 4.1.1 Xantanová guma (XG)

Je aniontový extracelulární polysacharid s vysokou molekulovou hmotností (přes  $10^4$  kDa) vylučovaný mikroorganismem *Xanthomonas campestris*. Primární struktura XG je lineární  $\beta$ -D (1  $\rightarrow$  4) – glukózová jednotka s postranním řetězcem na každé druhé glukóze v poloze C3, obsahující zbytek glukuronové kyseliny navázaný vazbou (1  $\rightarrow$  4) na terminální manózovou jednotku a vazbou (1  $\rightarrow$  2) na druhou manózu, která se připojuje k páteři (Ren et al., 2022; Boyer et al., 2012). XG vykazuje vysoce pseudoplastický tok a zůstává stabilní v širokém rozmezí pH a teplot, stejně jako enzymatická degradace. Kromě toho xantanová guma představuje synergickou interakci s galaktomannany, což má za následek zvýšenou viskozitu při nízkých koncentracích (Quinzio, 2018).

#### 4.1.2 Arabská guma (AG)

Je nejznámější ze všech polysacharidových emulgátorů v potravinářském průmyslu. Je široce používán v nealkoholických nápojích pro své emulgační vlastnosti. Je získávána ze stromu *Acacia senegal*. Arabská guma je heterogenní polysacharid obsahující proteinové i polysacharidové podjednotky. Skládá se ze tří frakcí v závislosti na relativním obsahu proteinu k polysacharidu: arabinogalaktan (AG) (80–90 % hm. z celkové gumy), glykoprotein (GP) (2–4 % hm. z celkové gumy) a arabinogalaktanový protein (AGP) (10–

20 % hm. z celkové gummy). Frakce AGP je považována za odpovědnou emulgační vlastnost arabské gummy. Asociace polysacharidových bloků podél peptidového řetězce propůjčuje makromolekule amfifilní charakter, který podporuje její adsorpci na rozhraní vzduch – voda a olej – voda (Boyer et al., 2012).

#### 4.1.3 Guarová guma (GG)

Je neutrální polysacharid, který se získává z guarové rostliny *Cyamopsis tetragonoloba*. Struktura GG je přímý řetězec jednotek  $\beta$ -D – manosapyranosyl s  $\beta$  (1  $\rightarrow$  4) glykosidickými vazbami a 1,6 -  $\alpha$ -D – galaktopyranosolovými postranními řetězci (Ren et al., 2022). Guarová guma je neutrální galaktomannan s vysokou viskozitou při nízkých koncentracích, který by mohl tvořit vodíkové vazby s molekulami vody a být použit jako zahušťovadlo a stabilizátor v emulzích (Quinzio et al., 2018).

#### 4.1.4 Gellanová guma

Je aniontový polysacharid, který může v kyselém prostředí vytvářet gel. Zjistilo se, že přídavek GDL do vodného roztoku gellanové gummy může vytvořit tuhé, tvrdé a méně deformovatelné gely ve vodné fázi, což přispívá ke zlepšení stability V/O emulzí. Přítomnost polysacharidu může změnit mezifázové vlastnosti emulzního systému (Zhu et al., 2019).

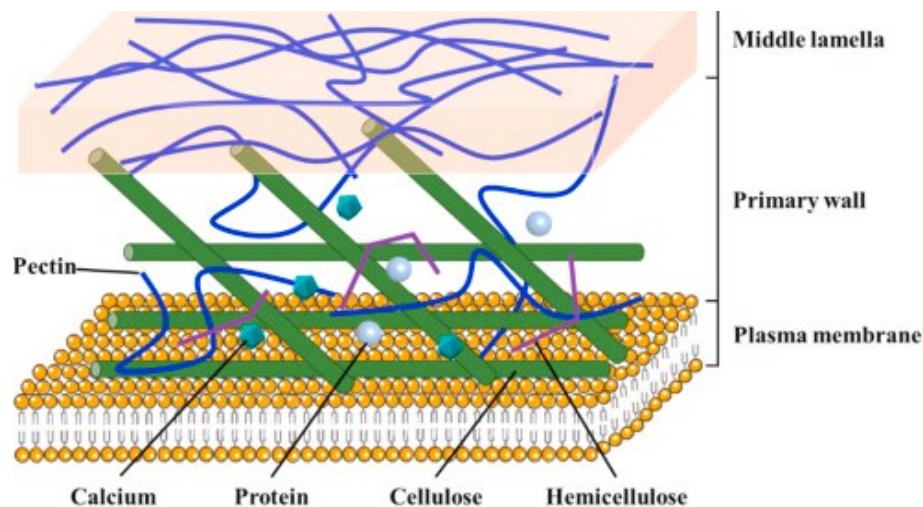
#### 4.1.5 Mono– a diglyceridy

Mono– a diglyceridy se označují zkratkou E 471 a vyrábí interesterifikací (glycerolýzou) triglyceridů s glycerolem za vysoké teploty (200–250 °C). Používají se jako emulgátory u výrobcům dodávají konzistentní texturu, zabraňují oddělování oleje a vody. Hlavní použití E 471 v potravinářském průmyslu je ve výrobcích na bázi tuků, jako jsou margaríny, pomazánky, pekařské výrobky atd. U mléčných výrobců se používá u přípravy zmrzliny, kde zlepšuje vlastnosti smetany při šlehání (Norn, 2015; Liu et al., 2022).

#### 4.1.6 Pektin

Je přírodní aniontový komplexní heterogenní polysacharid přítomný v ovoci. Ovoce je tedy hlavním zdrojem pektinu, přičemž více než 90 % komerčních pektinů pochází z ovocných vedlejších produktů (citrusových slupek, jablečných výlisků a řízků cukrové řepy), které vykazují různé fyzikálně-chemické vlastnosti a zdravotní funkce. Ovocné pektiny existují v primárních buněčných stěnách a střední lamelle rostlin a jsou obvykle zasíťovány celulórou

a hemicelulózou což můžeme pozorovat na obr. 8. Jejich extrakce zahrnuje procesy hydrolýzy, izolace a solubilizace.



Obr. 8: Přítomná forma pektinu v buněčné struktuře ovoce

Pektin byl široce používán jako želírující prostředek, činidlo, zahušťovadlo a stabilizátor. Je však náchylný k degradaci enzymy nebo zahříváním, citlivý na změny pH, povahy a množství kationtů přítomných v roztoku (Cui et al., 2021; Ren et al., 2022). Pektin se používá hlavně pro své gelující, emulgační a disperzní stabilizační vlastnosti. Pektin je schopen produkovat jemné a stabilní emulze stejným způsobem jako AG, ale v mnohem nižších dávkách (Boyer et al., 2012).

#### 4.1.7 Karboxymethylcelulóza (CMC)

Je ve vodě rozpustný polysacharidový derivát celulózy, který poskytuje dobrou jednotnost velikosti kapiček v emulzích typu O/V. Vysoká kapacita karboxymethylových funkčních skupin umožňuje vázat vodu a poskytovat vynikající stabilitu emulzí bez separace fází (Quinzio, 2018). CMC lze také použít jako primární stabilizátor ve zmrzlině pro kontrolu velikosti a růstu ledových krystalů během uvolňování a skladování, pro poskytnutí hladké textury při konzumaci a pro poskytnutí odolnosti proti tepelnému šoku. Zahušťovací účinky CMC lze využít v produktech, jako jsou salátové dresinky a rajčatové omáčky. Vlastnosti CMC, díky kterým je vhodný pro tyto aplikace, zahrnují jeho rychlou rozpustnost v horké i studené vodě, dobrou vaznost vody a dobrou toleranci vůči nízkým hodnotám pH (Murray, 2009).

#### 4.1.8 Hydroxypropylmethylcelulóza (HPMC)

Je součástí zajímavé skupiny povrchově aktivních derivátů celulózy, které mají silnou tendenci akumulovat se na rozhraní olej-voda, což způsobuje snížení povrchového napětí. Vlastnosti emulze stabilizující deriváty celulózy by mohly být spojeny s jejich strukturními vlastnostmi. Povrchová aktivita těchto makromolekul je skutečně způsobena jejich hydrofobními a hydrofilními oblastmi rozmístěnými podél celulózové kostry, což umožňuje jejich adsorpci na rozhraní kapalin a snížení mezifázového napětí (Boyer et al., 2012).

#### 4.1.9 Škrob

Škrob je hojně se vyskytující biopolymer, který se vyskytuje v hlízách a obilovinách jako semikrystalická granule. Skládá se ze dvou glukozových polymerů: amylozy a amylopektinu. Granule nativního škrobu se používají jako stabilizátory pickeringových emulzí (Tavernier et al., 2016).

### 4.2 Proteiny

Proteiny jsou atraktivní emulgátory v potravinářském průmyslu pro své dobré emulgační vlastnosti. V potravinářských produktech se používají různé proteiny, jako je syrovátkový proteinový izolát (WPI),  $\beta$ -laktoglobulin, kasein, sójový proteinový izolát (SPI) a hrachový protein. Tyto proteiny se často používají v kombinaci s jinými emulgátory ke stabilizaci emulzí O/V, V/O nebo V/O/V. Bylo prokázáno, že použití směsi hydrofobních povrchově aktivních látek a proteinů jako emulgátorů nebo stabilizátorů přispívá ke zlepšení stability jak emulzí V/O, tak V/O/V (Zhu et al. 2019).

#### 4.2.1 Mléčné bílkoviny

Jsou proteinové složky izolované z kravského mléka, které se používají jako emulgátory v potravinářském průmyslu při přípravě emulzí, jako jsou nápoje, mražené krémy, zmrzliny, salátové dresinky, omáčky atd. Mléčné bílkoviny jsou rozděleny do dvou kategorií: kaseinové a globulární bílkoviny. Globulární proteiny jsou schopné se rychle adsorbovat na rozhraní olej-voda a v jejich blízkosti vytvářet silné viskoelastické vrstvy. V komerčních přísadách mohou být také kaseiny přítomné v řadě dalších druhů molekulárních shluků v závislosti na způsobu, jakým byly proteiny izolovány, například kaseinát sodný, kaseinát vápenatý atd. Emulze stabilizované kaseinátem mají tendenci být stabilnější vůči zahřívání, než emulze stabilizované syrovátkovým proteinem, pravděpodobně proto, že relativně

flexibilní molekuly kaseinu neprocházejí znatelnými tepelně indukovanými konformačními změnami jako globulární proteiny (McClements, 2015).

#### 4.2.2 Lecitin

Lecitiny jsou přirozeně se vyskytující povrchově aktivní látky, které lze extrahovat z různých zdrojů, např. sójové boby, řepka, vejce atd. Lecitiny obsahují komplexní směs různých fosfolipidů a tuků (McClements, 2015).

*Sójový lecitin* je nejpoužívanější povrchově aktivní látka (PAL). Jedná se o komerčně dostupnou směs fosfolipidů (až 75 %) s triglyceridy a menším množstvím dalších látek. Lecitiny lze vyrobit i z jiných rostlinných látek, než je sója, např. slunečnicová jádra a řepka. Objevily se obavy z použití sójového lecitinu jako PAL, protože obsahuje řadu proteinů vázajících IgE, což z něj činí skrytý zdroj alergenů. Kromě toho je i vnímám jako GMO složka. Vývoj emulgačních metod, které pomáhají snižovat koncentraci sójového lecitinu nabral v posledních letech na síle. Příprava stabilních emulzí vyžaduje vysoký vstup mechanické energie k porušení rozhraní kapalin (Nyuydze a Martínez-Monteagudo I., 2021).

#### 4.2.3 Hrachový protein

Hrachové proteiny (PP) se zdají být slibnými kandidáty pro působení jako stabilizátory pro Pickeringovy emulze typu O/V (Tavernier et al., 2016). Z PP se vytváří nové strukturované emulze díky jejich dobrému emulgačnímu chování a jednoduchým výrobním metodám. Hrachový proteinový izolát (PPI) se odděluje od hrachových zrn (*Pisum sativum L.*) a prokazuje ekvivalentní význam průmyslových aplikací a akademického výzkumu jako sójový proteinový izolát (SPI) s cennými aminokyselinami a dobrou stravitelností. Emulgační a gelující vlastnosti PPI jsou pozoruhodné. Studie však ukázaly, že jeho mikrokapsle sušené rozprašováním mají slabší funkční výkon ve srovnání s SPI. Nedávno se objevily zprávy o různém použití PP jako funkční složky. Například složení, fyzikálně-chemické vlastnosti PP a jeho aplikace ve funkčních potravinách. Hrachové proteiny jsou schopny snižovat mezi povrchové napětí oleje a vody a přispívat ke stabilizaci emulzí, tím že vytvoří tuhé membrány na rozhraní (Hadidi et al., 2022; Boyer et al., 2012).

#### 4.2.4 Želatina

Je protein s relativně vysokou molekulovou hmotností pocházející ze zvířecího kolagenu (vepřového, kravského nebo rybího). Želatina se používá jako biopolymer, želírující látka nebo emulgátor v emulzích O/V. Díky tomuto velkému množství použití se jedná o nejuniverzálnější biopolymer (Williams a Philips, 2014; Bouyer et al, 2012; Haug and Draget, 2009).

#### 4.2.5 Vaječné proteiny

Vaječný žloutek, tak vaječný bílek obsahují směs bílkovin a nebílkovinných komponentů, které jsou povrchově aktivní. V potravinářském průmyslu se vaječný bílek častěji používá pro stabilizaci pěn, zatímco vaječný žloutek se běžněji používá pro stabilizaci emulzí. Vaječný bílek lze použít ke stabilizaci emulzí olej ve vodě. Vaječný žloutek se široce používá jako emulgátor při výrobě majonéz, salátových dresinků, omáček a těst na koláče (McClements, 2015).

## **II. PRAKTICKÁ ČÁST**

## 5 CÍL PRÁCE

### **Cílem teoretické části diplomové práce bylo:**

- Zpracovat literární rešerši na téma potravinářské emulze a jejich charakterizace.
- Charakterizovat emulzi jako koloidní disperzní systém.
- Popsat vybrané druhy potravinářských emulzí.
- Popsat stabilitu emulzí.
- A popsát biopolymery jako emulgátory.

### **Cílem praktické části diplomové práce bylo:**

- Připravit rostlinné smetany (rýžová, mandlová, ovesná, kokosová, ovesno-kokosová).
- Tyto emulze připravit za použití emulgátorů a bez emulgátorů a guar gumy jako hydrokoloidu.

### **Charakterizace finálních výrobků:**

- Reologická analýza na reometru Kinexus.
- Měření barevnosti na přístroji HunterLab.
- Senzorická analýza.
- Stabilita emulzí.
- Vyhodnotit získané výsledky a zformulovat závěry.



## 6 MATERIÁL A METODIKA

K provedení experimentu bylo vyrobeno 9 rostlinných smetan. Jednalo se o smetany: rýžová, mandlová, ovesná, kokosová a ovesno-kokosová.

### 6.1 Použité přístroje

- Běžné laboratorní sklo a pomůcky
- Předvážky KERN CB 12K1N, max 12 kg, d=1 g
- Analytické váhy Sartorius, d=0,0001 g
- HunterLab, UltraScan VIS
- Reometr, Kinexus Malvern
- Centrifuga, Hettich zentrifugen, EBA 21, otáčky - 6000 RPM
- Mixér Philips Viva Collection blender 600 W HR 2170, Netherlands, otáčky - 1500 RPM
- Thermomix TM6, Vorwerk, stupeň mixování 5 (otáčky 2000 RPM).

### 6.2 Suroviny na výrobu rostlinných smetan

K výrobě rostlinných smetan byly použity následující suroviny:

- Mandle jádra neloupané, značka ARO, země původu: Spojené Státy Americké, dodavatel: K-SERVIS PRAHA a.s., Česká republika
- Vločky ovesné bio, značka PROBIO, výrobce: PRO-BIO, obchodní společnost s.r.o., Česká republika
- Rýže kulatozrná loupaná, značka Gold plus classic, distributor: Gold-Plus, s.r.o.
- Kokos strouhaný, značka ARO, dodavatel: K-SERVIS PRAHA a.s., Česká republika
- Mouka hladká rýžová, výrobce: ADVENI MEDICAL, s.r.o.
- Olej slunečnicový, značka ARO, výrobce: MCC Trading International GmbH, Germany, distributor Česká republika
- Guar guma (typ výrobku G4129-250G), Sigma-Aldrich, Co. (USA)
- Lecitin Natural sójový granulovaný, výrobce Mogador, Česká republika

- Sůl jedlá vakuová s jodem, výrobce: KS Czech Republic a.s., Česká republika
- Emulgátor E 471 (Mono– a diglyceridy mastných kyselin), výrobce: Jaroslav Kostera, J. K. Food s.r.o., 747 43 Větrkovice 50, Česká republika
- Pitná voda

### 6.3 Příprava rostlinných smetan

Rýžová smetana byla připravena v Thermomixu TM6 Vorwerk, kde se nejprve rýže uvařila a následně mixovala při 2000 RPM s ingrediencemi uvedenými v tabulce č. 1. Ostatní smetany (mandlové sm., ovesné sm. kokosové sm. a kokosovo-ovesné sm.) byly připraveny v mixéru Philips při 1500 RPM za použití ingrediencí uvedených v tabulkách č. 2 - 5. Uvedené množství přídatných látek v připravených vzorcích rostlinných smetan se řídí Směrnicí Evropského parlamentu a Rady 95/2/ES ze dne 20. února 1995, O potravinářských přídatných látkách jiných než barviva a náhradní sladidla se v části 2 Potravinářské přídatné látky povolené v pokračovací výživě zdravých kojenců uvádí jako nejvyšší povolené množství, které se může přidat do výrobku u lecitinu (1 g / l), u E 471 (4 g / l) a u guar gumy (1 g / l), (Směrnice 95/2/ES).

#### 6.3.1 Příprava rýžové smetany

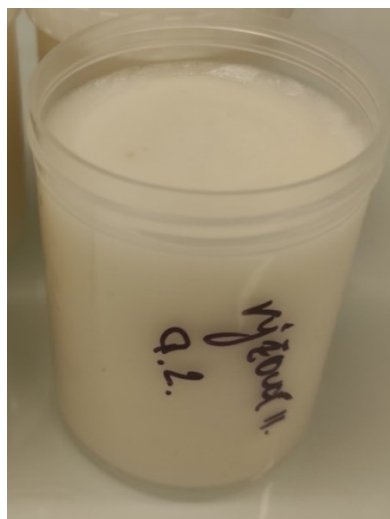
Rýžová smetana 9.2. byla připravena v Thermomixu TM6 Vorwerk, kde se nejprve rýže, která byla přes noc namočená ve vodě a poté scezena uvařila (100 °C / 15 minut) a následně mixovala při 2000 RPM s ingrediencemi uvedenými v tabulce č. 1 po dobu 5 minut do hladké konzistence. Hotová smetana byla nalita do plastových kelímků o objemech cca 150–200 ml a po ochladnutí vložena do chladničky a skladována při 5 °C pro další měření.



Obr. 9: Thermomix TM6, Vorwerk v procesu mixování

Tab. 1: Složení rýžové smetany

Suroviny / Vzorek	Rýžová smetana 9.2.
Rýže	100 g
Pitná voda	700 ml
Slunečnicový olej	100 ml
Lecitin	0,4 g
Guar guma	0,7 g
Sůl	2 g



Obr. 10: Rýžová smetana 9.2.

### 6.3.2 Příprava mandlových smetan

#### Mandlová smetana 9.2.:

Mandlová smetana byla připravena v mixéru Philips při 1500 RPM za použití ingrediencí uvedených v tab. 2. Mandle se nechaly přes noc namáčet ve vodě a poté byly propláchnuty a scezeny. Takto připravené mandle se mixovaly v mixéru Philips při 1500 RPM po dobu 10 minut. Vzniklá směs se přecedila přes plátýnko a získaná kapalina (mandlové mléko) byla použita k přípravě mandlové smetany.

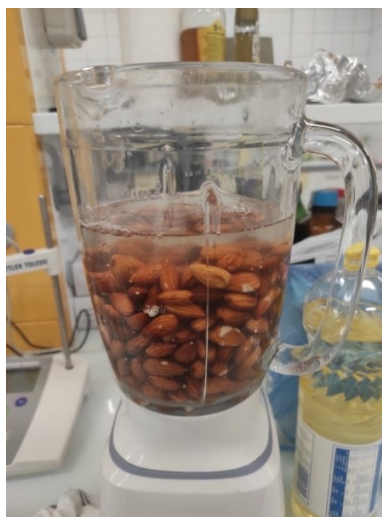


*Obr. 11: Cezení mandlového mléka přes plátýnko*

K mandlovému mléku byly přidány slunečnicový olej, sůl a směs byla mixována do hladka. Do směsi byla postupně zamíchána na nejnižší otáčky guar guma a rýžová mouka do hladké konzistence. Vzniklá mandlová smetana byla nalita do kelímků o objemu cca 200 ml a po ochladnutí byla vložena do chladničky a skladována při 5 °C pro další měření.

### **Mandlová smetana 17.2.**

Mandlová smetana byla připravena v mixéru Philips při 1500 RPM za použití ingrediencí uvedených v tab. 2. Mandle se nechaly přes noc namáčet ve vodě a poté byly propláchnuty a scezeny. Takto připravené mandle se mixovaly v mixéru Philips při 1500 RPM po dobu 20 minut.



*Obr. 12: Mandle s vodou v mixéru Philips*

Vzniklá směs se přecedila přes plátýnko a získané mandlové mléko bylo použito k přípravě mandlové smetany. K mandlovému mléku byly přidány slunečnicový olej, sůl a směs byla mixována do hladka. Do směsi byly postupně zamíchány guar guma, rýžová mouka a

emulgátor E 471 do hladké konzistence. Vzniklá mandlová smetana byla nalita do kelímků o objemu cca 150–200 ml. Po ochladnutí byla vložena do chladničky a skladována při 5 °C pro další měření.



*Obr. 13: Mandlová sm. 17.2.*

Tab. 2 Složení mandlových smetan

Suroviny / Vzorek	Mandlová smetana 9.2.	Mandlová smetana 17.2.
<b>Mandle</b>	300 g	300 g
<b>Pitná voda</b>	750 ml	750 ml
<b>Slunečnicový olej</b>	75 ml	75 ml
<b>Rýžová mouka</b>	75 g	75 g
<b>Guar guma</b>	0,7 g	1,5 g
<b>Sůl</b>	0,8 g	1,2 g
<b>E 471</b>	-	3 g

### 6.3.3 Příprava ovesných smetan

#### Ovesná smetana 8.2.:

Ovesná smetana byla připravena v mixéru Philips při 1500 RPM za použití ingrediencí uvedených v tab. 3. Ovesné vločky se nechaly přes noc namáčet ve vodě a poté byly scezeny. Takto připravené ovesné vločky se mixovaly v mixéru Philips při 1500 RPM po dobu 10 minut. K ovesnému mléku byly přidány následující suroviny: slunečnicový olej, sůl a směs byla mixována do hladka. Do směsi byla postupně zamíchána na nejnižší otáčky guar guma

do hladké konzistence. Vzniklá mandlová smetana byla nalita do kelímků o objemu 150–200 ml. Po ochladnutí byla vložena do chladničky a skladována při 5 °C pro další stanovení.



*Obr. 14: Ovesná smetana*

### **Ovesná smetana 17.2.:**

Ovesná smetana byla připravena v mixéru Philips při 1500 RPM za použití ingrediencí uvedených v tab. 3. Ovesné vločky se nechaly přes noc namáčet ve vodě a poté byly scezeny. Takto připravené ovesné vločky se mixovaly v mixéru Philips při 1500 RPM po dobu 10 minut. K ovesnému mléku byly přidány suroviny (slunečnicový olej a sůl) a směs byla mixována do hladka. Do směsi byla postupně zamíchána na nejnižší otáčky guar guma, rýžová mouka a emulgátor E 471 do hladké konzistence. Vzniklá ovesná smetana byla nalita do kelímků o objemu cca 200 ml. Po ochladnutí byla vložena do chladničky a skladována při 5 °C pro další měření.

Tab. 3: Složení ovesných smetan

Suroviny / Vzorek	Ovesná smetana 8.2.	Ovesná smetana 17.2.
<b>Ovesné vločky</b>	100 g	100 g
<b>Pitná voda</b>	250 ml	250 ml
<b>Slunečnicový olej</b>	80 ml	80 ml
<b>Guar guma</b>	0,5 g	0,5 g
<b>Sůl</b>	1 g	1 g
<b>Rýžová mouka</b>	-	25 g
<b>E 471</b>	-	1 g

### 6.3.4 Příprava kokosových smetan

#### Kokosová smetana 9.2.:

Kokosová smetana byla připravena v mixéru Philips při 1500 RPM za použití ingrediencí uvedených v tab. 4. Strouhaný kokos se nechal přes noc namáčet ve vodě a poté byl scezen. Takto připravený kokos se mixoval v mixéru Philips při 1500 RPM po dobu 10 minut. Ke kokosovému mléku byly přidány suroviny (slunečnicový olej, sůl) a směs byla mixována do hladka. Do směsi byly postupně zamíchány na nejnižší otáčky guar guma a rýžová mouka do hladké konzistence. Vzniklá kokosová smetana byla nalita do kelímků o objemu cca 200 ml. Po ochladnutí byla vložena do chladničky a skladována při 5pro další měření.



*Obr. 15: Kokosová smetana*

#### Kokosová smetana 17.2.:

Kokosová smetana byla připravena v mixéru Philips při 1500 RPM za použití ingrediencí uvedených v tab. 4. Strouhaný kokos se nechal přes noc namáčet ve vodě a poté byl scezen



*Obr. 16: Scezený kokos*

Takto připravený kokos se mixoval v mixéru Philips po dobu 20 minut. Ke kokosovému mléku byly přidány suroviny (olej a sůl) a směs se mixovala do hladké konzistence. Do směsi se postupně zamíchaly rýžová mouka, guar guma a emulgátor E 471. Vzniklá kokosová smetana byla nalita do kelímků o objemu 150–200 ml. Po ochladnutí byla vložena do chladničky a skladována při 5 °C pro další měření.

Tab. 4: Složení kokosových smetan

Suroviny / Vzorek	Kokosová smetana 9.2.	Kokosová smetana 17.2.
<b>Kokos</b>	200 g	100 g
<b>Pitná voda</b>	500 ml	250 ml
<b>Slunečnicový olej</b>	50 ml	25 ml
<b>Sůl</b>	1 g	1 g
<b>Rýžová mouka</b>	100 g	50 g
<b>Guar guma</b>	0,5 g	0,5 g
<b>E 471</b>	-	0,75 g

### 6.3.5 Příprava ovesno-kokosových smetan

#### Ovesno-kokosová smetana 8.2.:

Ovesno-kokosová smetana byla připravena v mixéru Philips při 1500 RPM za použití ingrediencí uvedených v tab. 5. Strouhaný kokos a ovesné vločky se nechaly přes noc namáčet ve vodě a poté byly scezeny. Takto připravené ingredience se mixovaly v mixéru Philips při 1500 RPM po dobu 10 minut. K ovesno-kokosovému mléku byly přidány další ingredience (slunečnicový olej, sůl) a směs byla mixována do hladka. Do směsi byla postupně zamíchána na nejvyšší otáčky guar guma a rýžová mouka do hladké konzistence. Vzniklá ovesno-kokosová smetana byla nalita do kelímků o objemu cca 150–200 ml. Po ochladnutí byla vložena do chladničky a skladována při 5 °C pro další měření.





Obr. 17: Ovesno-kokosová sm. 8.2.

### Ovesno-kokosová smetana 17.2.:

Ovesno-kokosová smetana byla připravena v mixéru Philips při 1500 RPM za použití ingrediencí uvedených v tab. 5. Strouhaný kokos a ovesné vločky se nechaly přes noc namáčet ve vodě a poté byly scezeny. Takto připravené ingredience se mixovaly v mixéru Philips při 1500 RPM po dobu 20 minut. K ovesno-kokosovému mléku byly přidány suroviny (slunečnicový olej a sůl) a směs byla mixována do hladka. Do směsi byla postupně zamíchána na nejnižší otáčky guar guma, rýžová mouka a emulgátor E 471 do hladké konzistence. Vzniklá ovesno-kokosová smetana byla nalita do kelímků o objemu cca 200 ml. Po ochladnutí byla vložena do chladničky a skladována při 5 °C pro další měření.

Tab. 5: Složení ovesno-kokosových smetan

Suroviny / Vzorek	Ovesno-kokosová smetana 8.2.	Ovesno-kokosová smetana 17.2.
<b>Kokos</b>	50 g	50 g
<b>Ovesné vločky</b>	50 g	50 g
<b>Pitná voda</b>	250 ml	250 ml
<b>Slunečnicový olej</b>	25 ml	25 ml
<b>Sůl</b>	1 g	1 g
<b>Guar guma</b>	0,5 g	0,5 g
<b>Rýžová mouka</b>	25 g	25 g
<b>E 471</b>	-	0,75 g

Tab. 6: Označení smetan

Vzorek smetany	Označení
Rýžová sm. 9.2. s emulgátorem	RSL
Mandlová sm. 9.2.	MS
Mandlová sm. 17.2. s emulgátorem	MSE
Kokosová sm. 9.2.	KS
Kokosová sm. 17.2. s emulgátorem	KSE
Ovesná sm. 8.2.	OS
Ovesná sm. 17.2. s emulgátorem	OSE
Ovesno-kokosová sm. 8.2.	OKS
Ovesno-kokosová sm. 17.2. s emulgátorem	OKSE

#### 6.4 Reologická charakterizace vyrobených smetan

Reologie je věda o studiu deformace a toku (proudu) jakéhokoli druhu materiálu včetně kapaliny, pevné látky a plynu. Deformace vzniká působením síly na materiál a tím způsobí, že se materiál deformuje anebo teče (Tatar et al., 2022).

Reologická charakterizace je důležitá, protože na jedné straně určuje viskozita smykové napětí při konstantní rychlosti. A na straně druhé může být použita pro zkoumání struktury a stability emulzí, nebo charakterizaci vlastností produktů. Pro popis reologických vlastností se nejčastěji rozlišují elastické a viskózní vlastnosti (Schuch a Gaukel, 2015).

Viskoelasticita se popisuje elastickým ( $G'$ ) a viskózním ( $G''$ ) modulem pružnosti. Elastický modul pružnosti vyjadřuje míru elasticity a popisuje se jako míra energie uložená či získaná za jeden cyklus. Viskózní model pružnosti vyjadřuje míru viskozity a popisuje se jako míra energie rozptýlená či získaná ve formě tepla za jeden cyklus sinusové deformace. Jejich poměrem se vypočítá tangens úhlu fázového posunu ( $\tan \delta$ ) podle vzorce níže (Thomareis a Dimitreli, 2022):

$$\tan \delta = \frac{G''}{G'} \quad (1)$$

Smyková viskozita  $\eta$  pro ideální viskózní kapaliny měřené při konstantní teplotě se definuje jako poměr mezi aplikovaným smykovým napětím  $\tau$  (shear stress) a výslednou smykovou rychlostí  $\dot{\gamma}$  (shear rate):

$$\eta = \frac{\tau}{\dot{\gamma}} \quad (2)$$

Jednotkou smykové viskozity  $\eta$  je Pa.s. Definice smykové viskozity je ve většině případů jen viskozita.

Smykové napětí  $\tau$  se definuje jako smyková síla  $F$  (N) na smykovou plochu  $A$  (m<sup>2</sup>), jednotkou je (Pa). Někteří autoři používají pro napětí i značku  $\sigma$ , tato značka se používá spíše pro napětí v tahu.

Smyková rychlost  $\dot{\gamma}$  se definuje jako rychlost  $v$  (m/s) mezi deskami reometru ve vzdálenosti  $h$  (m). Jednotkou smykové rychlosti je s<sup>-1</sup> (Mezger, 2020).

K hodnocení tokového chování se používají modely Ostwald-de Waele (Power-law) a Herschel Bulkley. Vztah Ostwald-de Waele popisuje vliv koncentrace hydrokoloidů na zdánlivou viskozitu podle vztahu:

$$\tau = k * \dot{\gamma}^n \quad (3)$$

kde  $k$  je koeficient konzistence (Pa.s),  $n$  je index chování toku (bezrozměrný),  $\tau$  je smykové napětí (Pa),  $\dot{\gamma}$  je smyková rychlost (s<sup>-1</sup>).

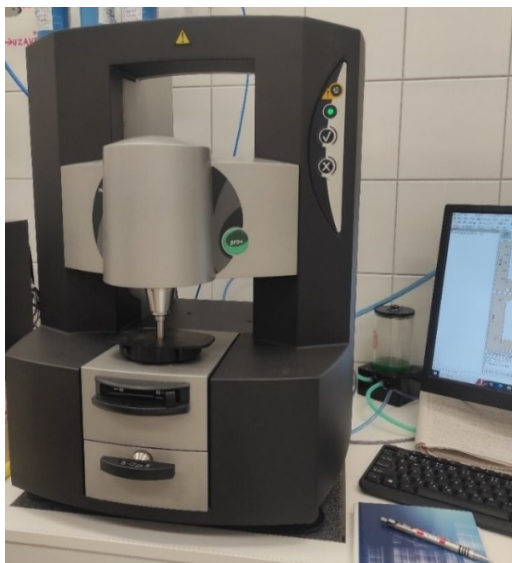
Herschel Bulkley model poskytuje rozšíření modelu Power law a obsahuje další termín, kterým je mez toku, podle vztahu:

$$\tau = \tau_0 + k * \dot{\gamma}^n \quad (4)$$

kde  $k$  je koeficient konzistence (Pa.s),  $n$  je index tokového chování (bezrozměrný),  $\tau$  je smykové napětí (Pa),  $\tau_0$  je mez toku (Pa) (Lapčíková et al., 2017).

#### 6.4.1 Postup měření

Reologická analýza byla provedena při teplotě 25 °C pomocí reometru Kinexus (obr. 10) s použitím geometrie deska-deska pro polotekuté a tuhé smetany a geometrií válec-válec pro tekuté vzorky smetan.



Obr. 18: Reometr Kinexus

U metody deska-deska byla použita geometrie paralelních desek s mezerou 2 mm. Po kalibraci přístroje se na desku nanese vzorek smetany a přebytek se po přitisknutí horní oscilační desky odebral. V programu rSpace se nastavili požadované hodnoty a vybrala se metoda měření. Byla měřena metoda frequency sweep v rozmezí frekvence 0,1-20 Hz a smykové deformaci 0,1 %. V této metodě byly změřeny hodnoty elastického modulu pružnosti ( $G'$ ) a viskózního modulu pružnosti ( $G''$ ) a  $\tan \delta$  ( $G''/G'$ ). Z těchto hodnot bylo zjištěno, jestli mají vzorky smetan elastický či viskózní charakter. Nakonec se změřily tokové křivky metodou Flow sweep, zde byly zaznamenávány hodnoty smykové rychlosti a smykového napětí. Z naměřených hodnot byly vyhodnoceny modely Power law a Herschel-Bulkley. Všechny naměřené hodnoty byly vyhodnoceny v grafech.



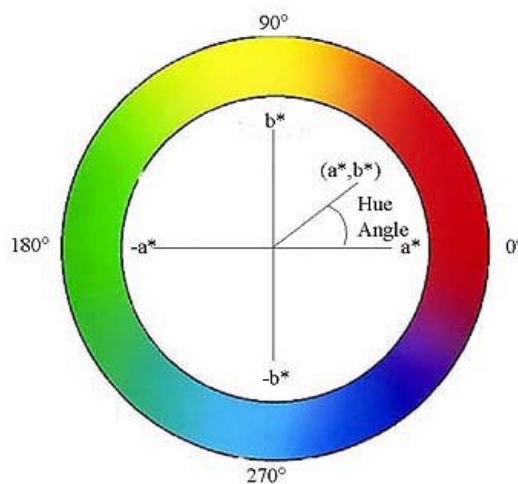
Obr. 19: Reometr Kinexus: nalevo geometrie deska-deska a vpravo geometrie válec-válec

Poté se vyndala geometrie deska-deska a byla vložena geometrie válec-válec. Válec se naplnil vzorkem smetany po rysku cca 17,1 ml. Byly nastaveny měřicí údaje v programu rSpace a byla vybrána metoda Shear rate. Nastavila se smyková rychlost v rozmezí 0,1-100  $s^{-1}$ . Touto metodou byly měřeny tokové křivky tekutých rostlinných smetan a byly vyhodnoceny v grafech v závislosti  $\eta$  vs  $\dot{\gamma}$ . Dále zde byly zjištěny a vyhodnoceny modely Power low a Herschel-Bulkley.

## 6.5 Měření barevnosti

Další analyzovanou veličinou bylo měření barevnosti, kde se zjišťovali hodnoty  $L^*$ ,  $a^*$  a  $b^*$ . Hodnoty byly použity k výpočtu sytosti barvy (chroma) a barevného odstínu (hue angle). Tyto veličiny jsou popsány ve standardních barevných prostorech CIELABu (White, 2023).

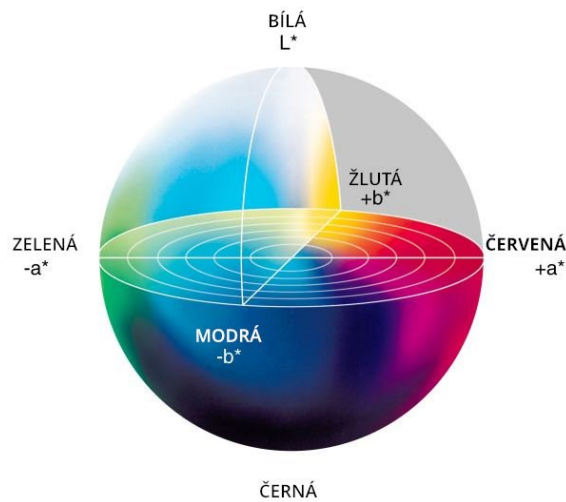
Standardní barevný prostor CIE ( $L^*a^*b^*$ ) nebo též CIELAB byl mezinárodní komisí pro osvětlení (CIE) definován v roce 1976. CIELAB je definována třemi hodnotami  $L^*$ ,  $a^*$  a  $b^*$  (Thomareis a Dimitreli, 2022; Eisinaite et al., 2022).



Obr. 20: CIE-LAB sekvence odstínu a orientace odstínu úhlů (White, 2023)

Světlost  $L^*$  se nachází na pravoúhlé ose tohoto prostoru a nabývá hodnot 0–100. Kde hodnota  $L^* = 0$  představuje nejtmaší černou bravu a hodnota  $L^* = 100$  představuje nejjasnější bílou barvu. Hodnoty se tedy mohou pohybovat v rozmezí od bíle přes šedou až k černé. Neutrální šedá barva je při hodnotách  $a^* = 0$  a  $b^* = 0$ . Hodnoty  $a^*$  a  $b^*$  jsou definovány jako dvě chromatické osy. Osa  $a^*$  jde od zelené k červené. Hodnota  $a^* = 0^\circ$  odpovídá kladné poloose a je červená. Hodnota  $-a^* = 180^\circ$  odpovídá záporné poloose a je zelená. Osa  $b^*$  jde od modré ke žluté. Hodnota  $b^* = 90^\circ$  odpovídá kladné poloose a odpovídá žluté barvě. Hodnota  $-b^* = 270^\circ$  odpovídá záporné hodnotě a je modré barvy. Hodnoty  $a^*$  a

$b^*$  lze převést na veličiny měrné čistoty a měrného úhlu barevného tónu. (White, 2023; Zmeškal et al., 2002; Ali et al., 2020; Thomareis et al., 2022).



Obr. 21: Grafické znázornění CIELAB modelu

Měrná čistota – chroma  $C^*_{ab}$  též definována jako sytost lze vypočítat podle vztahu:

$$C^*_{ab} = \sqrt{(a^*)^2 + (b^*)^2} \quad (5)$$

Barevný tón měrného úhlu – hue,  $h^\circ_{ab}$ , jinak nazván jako barevný tón či odstín lze vypočítat podle vztahu:

$$h^\circ_{ab} = \arctg(b^* / a^*) \quad (6)$$

Odstín je tedy definován jako čistá barva, ať už červená, žlutá, modrá atd. Je to způsob, jak barvu vidíme.

Hodnoty odstínu jsou odstupňovány proti směru hodinových ručiček od  $0^\circ$  na  $360^\circ$  v chromatickém kruhu.

Z hodnot CIELABu se dají vypočítat různé odchylky. Rozdíl barev  $\Delta E^*$  se používá k vyhodnocení rozdílu barev mezi jednotlivými odchylkami jasu a chromatických souřadnic. Vypočteme ji podle vztahu:

$$\Delta E^*_{ab} = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2} \quad (7)$$

kde:  $\Delta L^*$  je odchylka jasu,  $\Delta a^*$  a  $\Delta b^*$  jsou odchylky chromatických souřadnic.

Rozdíl barev tedy představuje důležitou hodnotící metodu rozdílu barev (White, 2023; Zmeškal et al., 2002).

Standardní pozorovatel vidí rozdíl v barvě takto:

- $0 < \Delta E^* < 1$ : Pozorovatel si nevšimne rozdílu
- $1 < \Delta E^* < 2$ : Rozdílu si všimne jenom zkušený posuzovatel
- $2 < \Delta E^* < 3,5$ : Rozdílu si všimne i nezkušený pozorovatel
- $3,5 < \Delta E^* < 5$ : Je patrný rozdíl v barvě
- $5 < \Delta E^*$ : Pozorovatel si všimne dvou různých barev (Chudy a Gierałtowska, 2020)

Whiteness index (index bělosti) byl vypočítán podle vztahu (Ali et al., 2020):

$$WI = 100 - [(100 - L^*)^2 + (a^*)^2 + (b^*)^2]^{0.5} \quad (8)$$

### 6.5.1 Postup měření

Všechny emulze rostlinných smetan byly změřeny při laboratorní teplotě na přístroji HunterLab UltraScan VIS (Obr. 22). Na stanovení byl použit senzor D65/10. Jako standardy byly použity destilovaná voda pro kapalně vzorky a standard 1 (Diffuse 8) pro krémovité vzorky.



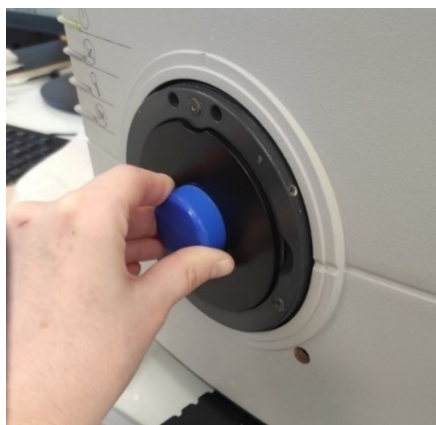
Obr. 22: Přístroj HunterLab UltraScan VIS

Nejprve byl přístroj zkalibrován na standard destilovaná voda. Metodou Total transmission byly změřeny tekuté smetany OS, OSE, MS, MSE, OKS, OKSE a RSL. Ředění tekutých vzorků před měřením bylo 1,5:20, tedy 1,5 ml smetany + 20 ml destilované vody do skleněné kyvety. Před měřením byl roztok vzorku řádně promíchán a rychle změřen, aby roztok nezačal sedimentovat. Naměřené hodnoty byly vyhodnoceny v tabulkách.



Obr. 23: Vzorek smetany v kyvetě

Byla provedena kalibrace na standard 1. Metodou RSIN se měřily smetany s leskem. Byly to smetany OS, OSE, MS, MSE, OKS, OKSE a RSL. Vzorky se naplnily po povrch do plastových vršků a postupně se přiložili k senzoru a proběhlo měření.



Obr. 24: Měření tuhé smetany na přístroji Hunterlab

Jako další byly změřeny polotuhé smetany bez lesku metodou RSEX na standard 1. Touto metodou byl změřen vzorek KS. V počítači byla nastavena metoda RSEX a byl změřen standard 1. Měření vzorku smetany probíhalo stejně jako u metody RSIN.

Jako poslední byly změřeny polotuhé smetany s leskem metodou RSIN. Na standard 1. byly změřeny KSE a RSL. Postup měření jednotlivých smetan byl stejný jako u metody RSIN a RSEX.

## 6.6 Senzorická analýza

Vybrané vzorky rostlinných smetan byly podrobeny základnímu senzorickému hodnocení. Jednalo se o vzorky s emulgátorem. Skupina hodnotitelů byla sestavena ze zaměstnanců a studentů UTB ve Zlíně. Hodnotitelé, byli posuzováni podle toho, jestli to byla žena či muž. Hodnocení bylo provedeno v laboratoři senzorické analýzy potravin při laboratorní teplotě.



Byly provedeny dvě metody sensorického hodnocení: pořadová zkouška a hodnocení podle hédonické stupnice s výsledným indexem přijatelnosti (AI).

Byla provedena pořadová zkouška u 5 vzorků ( $R = 5$ ) se 13 hodnotiteli ( $n = 13$ ). Preference hodnocení byly číslo 1 (nejlepší) až číslo 5 (nejhorší).

Pořadová zkouška slouží k seřazení a rozřídění výrobků podle intenzity sledovaného sensorického znaku, podle preference spotřebitele, nebo ke sledování organoleptických vlastností a sensorickou jakostí výrobku. Tato metoda se používá především tak, kde jsou malé rozdíly mezi jednotlivými výrobky. Zkouška se provádí tak, že hodnotitel dostane v náhodném pořadí skupinu vzorků a jeho úkolem je seřadit vzorky podle daného směru. K vyhodnocení této metody slouží Friedmanův test, který slouží k ověření shody úrovně sledovaného znaku. Zkoumají se zde dvě hypotézy, hypotéza H a A. Testovaná hypotéza H předpokládá, že mezi vzorky nejsou významné rozdíly ve sledovaných preferencích. A alternativní hypotéza A toto tvrzení popírá a říká, že mezi zkoumanými vzorky je alespoň jeden rozdíl, který se od jednoho či více vzorků odlišuje. Pokud platí testovaná hypotéza, tak by měli být součty  $T_i^2$  stejné. Friedmanův test posuzuje, zda jsou rozdíly součtů pořadí důležité či ne. Friedmanův test (FR) se vypočítá podle vzorce:

$$FR = \frac{12}{n * R (R + 1)} * \sum_{i=1}^R T_i^2 - 3 * n * (R + 1) \quad (9)$$

kde:  $n$ : počet hodnotitelů

$R$ : počet vzorků

$T_i^2$ : sloupcové součty vzorků na druhou

Friedmanův test se při platnosti hypotézy speciálně rozdělí na základě kritické hodnoty  $Q_{1-\alpha}(R, n)$  a hladina významnosti  $\alpha = 0,05$  je tabelovaná hodnota. Testovaná hypotéza H se zamítne, pokud pro zvolené  $\alpha$  bude platit:

$$FR \geq Q_{1-\alpha}(R, n) \quad (10)$$

Při zamítnutí H hypotézy se vzorky prohlásí na dané hladině významnosti  $\alpha$  za rozdílné a aplikuje se metoda Nemenyioho vícenásobného párového porovnání. Nemenyioho metoda se používá ke zjištění rozdílnosti mezi dvěma vzorky z pořadové zkoušky podle rovnice:

$$|T_i - T_j| \geq Q_{1-\alpha}(R, n) \quad (11)$$

Kde  $T_j$  a  $T_i$  jsou sloupcové součty pořadí vzorků a  $Q_{1-\alpha}(R, n)$  je tabelovaná hodnota (Kříž et al., 2007)

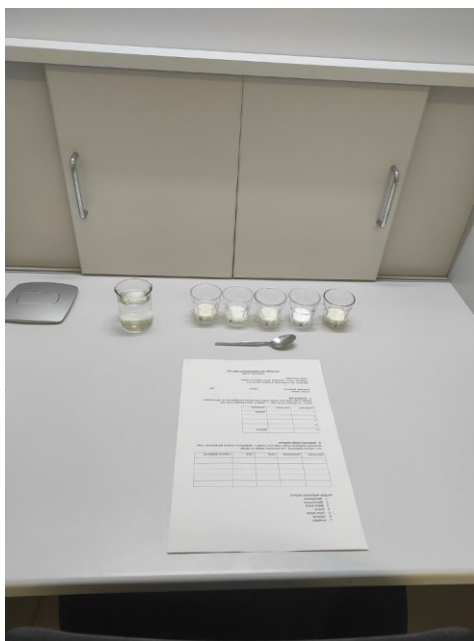
Předložené vzorky byly dále podrobeny hodnocení podle hédonické stupnice v rozsahu 1 až 7, kde 1. byla nepřijatelná, 2. nevyhovující, 3. méně dobrá, 4. dobrá, 5. velmi dobrá, 6. výborná a 7. vynikající. Byly hodnoceny následující znaky: konzistence, vůně, chuť a celková přijatelnost rostlinných smetan.

Přijaté vzorky byly ty, které vykazovaly index přijatelnosti (AI) rovný nebo větší než 70 %, vypočítány pomocí vzorce níže (da Silva Faresin et al., 2022):

$$AI = \frac{\text{průměr celkové přijatelnosti}}{7} * 100 [\%] \quad (12)$$

### 6.6.1 Postup analýzy

Vzorky byly podávány hodnotitelům v laboratoři senzorycké analýzy potravin v senzoryckých buňkách (obr. 25) při pokojové teplotě 20 °C. Celkem bylo pro každého hodnotitele přichystáno 5 skleniček vzorků a 1 sklenka s pitnou vodou, která byla použita pro neutralizaci chuti mezi jednotlivými vzorky. Senzorycká analýza se prováděla v pořadí vzorků: 1., 2., 3., 4. a 5. Výsledky byly zapsány do anonymních dotazníků.



Obr. 25: Připravená buňka pro senzoryckou analýzu

### 6.7 Stabilita emulzí

Centrifugace je metoda sloužící k rozdělení částic látek s různou hustotou pomocí odstředivé síly. Jedná se o urychlení sedimentace, při které se částice rozdělují podle hustoty vlivem gravitačního zrychlení. Pomocí centrifugace se dají rozdělit směsi nemísitelných kapalin.

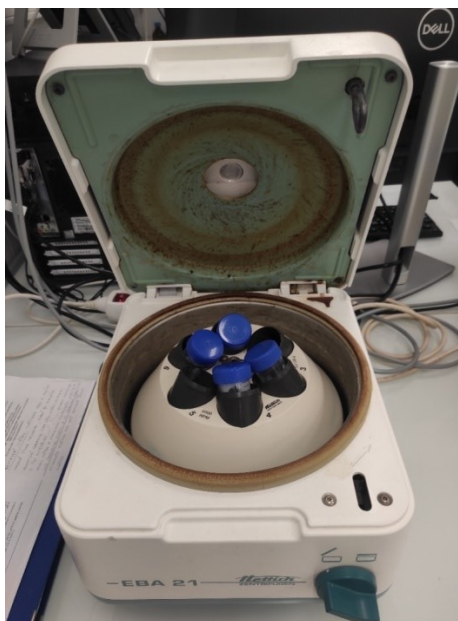
Vlivem zvýšené odstředivé síly dojde k rozpadu, tedy oddělení jednotlivých částí emulze. V některých případech je nestabilita emulze detekována krémováním, které se popisuje jako výskyt olejové fáze na povrchu systému nebo sedimentací složek s vyšší hustotou. Centrifugace se tedy používá k vyhodnocení stability emulzí (Hu, 2018, Furtado et al., 2015; Stephenson, 2016; Andre, 2003).

$$S = 1 - (V_2/V_1) * 100 [\%] \quad (13)$$

Kde  $V_1$  je celkový objem vzorku, a  $V_2$  je objem olejové fáze po centrifugaci (Nikzade et al., 2012; Vincová et al., 2023).

### 6.7.1 Postup stanovení

Centrifugace byla provedena u všech 9 vzorků smetan. Z každého vzorku bylo odlito 30 ml do centrifugační zkumavky o objemu 50 ml. Centrifugace byla provedena v přístroji EBA 21 Hettich zentrifugen při 6000 RPM po dobu 20 minut. Do přístroje byly vzorky dány proti sobě (obr. 26). Po centrifugaci byly vzorky vyfoceny, odečteny hodnoty olejové fáze a uschovány v lednici.



Obr. 26: Vzorky smetan před centrifugací v centrifugačním přístroji Eba 21

## 7 VÝSLEDKY A DISKUZE

### 7.1 Charakteristika připravených vzorků smetan

RSL byla husté hladké konzistence. Barva byla bílá, vůně i chuť příjemná. Rýžové smetany bylo připraveno 820 ml.

U mandlových smetan byla barva světle hnědá, což bylo způsobeno slupkou mandle, která je hnědá. Chuť i vůně byly příjemné. Konzistence byla u vzorků smetan různá. MS byla hladké řídké konzistence a MSE byla polotekuté konzistence. MS bylo připraveno 725 ml a MSE bylo 1035 ml.

U ovesných smetan byla barva světle hnědá od ovesných vloček. Chuť i vůně byly příjemné. Konzistence byla u obou vzorků smetan hladké tekuté konzistence. OS a OSE bylo připraveno stejné množství 620 ml.

Kokosové smetany byly bílé bravy. Chuť i vůně byla příjemná. Konzistence u všech byla polotuhá až tuhá. KS bylo vyrobeno 980 ml a KSE bylo 520 ml.

Ovesno-kokosové smetany byly světle hnědé barvy. Chuť i vůně byla příjemná. Konzistence OKS byla tekutá a OKSE byla polotuhá. OKS bylo vyrobeno 600 ml, OKSE bylo 525 ml.

Poměr o/v (olej/voda) u vzorků smetan (MS, MSE, KS, KSE, OKS, OKSE) je 0,1, zatímco RSL má o něco vyšší hodnotu a to 0,14, ale nejvyšší poměr mají OS a OSE s hodnotou 0,32.

Podrobnější výsledky jsou uvedeny v následujících analýzách (barevnost, sensorika).



Obr. 27: Vzorky smetan (mandlová, rýžová, ovesno-kokosová, ovesná a kokosová)

## 7.2 Výsledky reologické analýzy

Reologická analýza byla měřena na reometru Kinexus s použitím geometrie deska-deska a válec-válec.

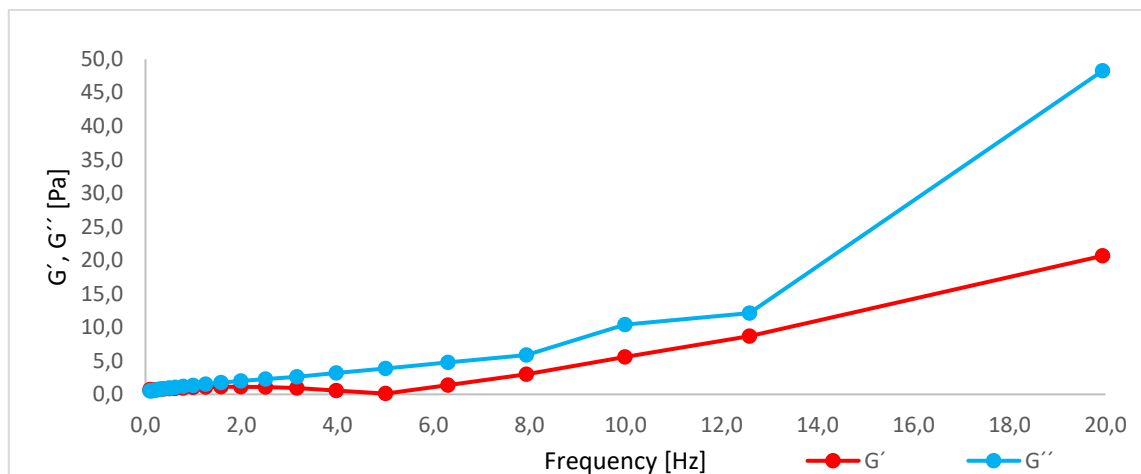
### 7.2.1 Viskoelastické vlastnosti připravených emulzí

Viskoelastické vlastnosti byly měřeny oscilační frekvenční metodou (Frequency sweep) při konstantní teplotě 25 °C, deformace 0,1 % (oblast LVR) a v rozsahu frekvencí 0,1 - 20 Hz. Naměřené hodnoty viskoelastických modulů  $G'$ ,  $G''$  a  $\tan \delta$  se nachází v tabulkách 6–14, a frekvenční závislosti pro jednotlivé vzorky byly znázorněny v grafech 20–28. Rozdělení materiálů podle hodnot  $\tan \delta$  na elastické, viskózní a viskoelastické: elastická pevná látka  $\delta = 0^\circ$ , viskózní kapalina  $\delta = 90^\circ$ , viskoelastický materiál  $0^\circ < \delta < 90^\circ$ .

Tab. 7: Naměřené hodnoty OKS

ČM	f [Hz]	$G'$ [Pa]	$G''$ [Pa]	$\tan \delta$ [°]	ČM	f [Hz]	$G'$ [Pa]	$G''$ [Pa]	$\tan \delta$ [°]
1	0,10	0,70	0,51	0,73	13	1,59	1,15	1,74	1,52
2	0,13	0,65	0,52	0,80	14	2,00	1,16	1,99	1,71
3	0,16	0,66	0,56	0,85	15	2,51	1,11	2,28	2,05
4	0,20	0,69	0,61	0,90	16	3,16	0,94	2,64	2,81
5	0,25	0,72	0,68	0,94	17	3,98	0,55	3,20	5,81
6	0,32	0,76	0,75	0,99	18	5,01	0,52	3,87	31,71
7	0,40	0,80	0,84	1,05	19	6,31	1,39	4,80	3,46
8	0,50	0,85	0,94	1,11	20	7,94	3,01	5,86	1,95
9	0,63	0,90	1,06	1,17	21	10,00	5,59	10,40	1,86
10	0,79	0,96	1,19	1,24	22	12,59	8,69	12,15	1,40
11	1,00	1,03	1,35	1,31	23	19,95	20,67	40,54	2,34
12	1,26	1,10	1,54	1,39					

Z naměřených hodnot  $G'$ ,  $G''$  na frekvenci bylo zjištěno, že viskózní modul  $G''$  převládá nad elastickým modulem pružnosti (obr. 28). To bylo potvrzeno hodnotami  $\tan \delta > 1$  od frekvence 0,40 Hz pro vzorek OKS, tzn. že se jedná o viskózní kapalinu.



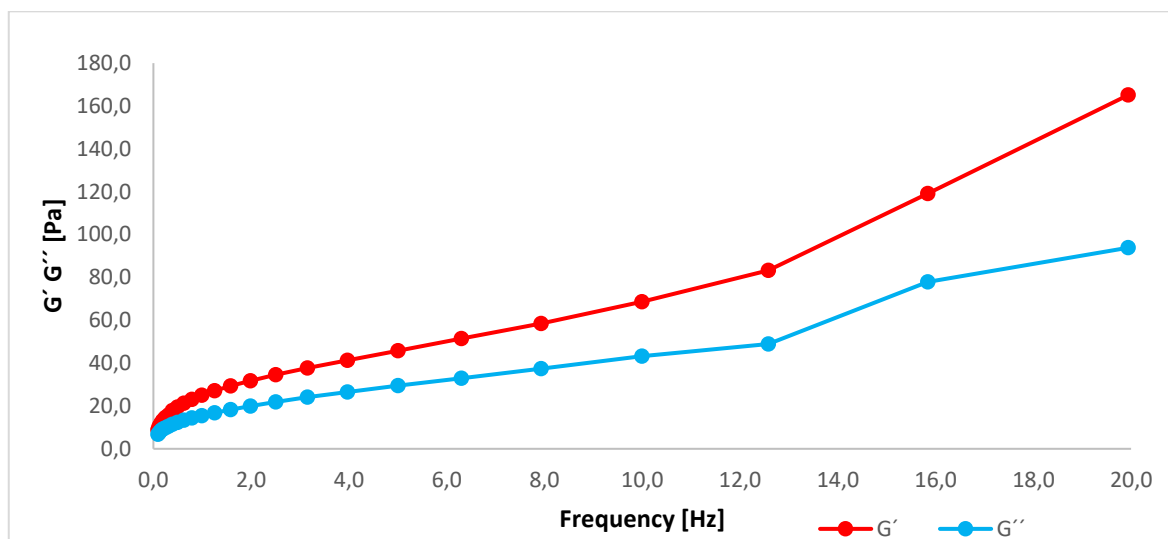
Obr. 28: Závislost elastického modulu pružnosti  $G'$  a viskózního modulu  $G''$  na frekvenci pro vzorek OKS

Tab. 8: Naměřené hodnoty OKSE

ČM	f [Hz]	$G'$ [Pa]	$G''$ [Pa]	$\tan \delta$ [°]	ČM	f [Hz]	$G'$ [Pa]	$G''$ [Pa]	$\tan \delta$ [°]
1	0,10	8,82	6,72	0,76	13	1,59	29,30	18,26	0,62
2	0,13	10,48	7,61	0,73	14	2,00	31,80	19,93	0,63
3	0,16	11,83	8,36	0,71	15	2,51	34,53	21,83	0,63
4	0,20	13,27	9,15	0,69	16	3,16	37,65	24,05	0,64
5	0,25	14,55	9,85	0,68	17	3,98	41,32	26,57	0,64
6	0,32	15,76	10,49	0,67	18	5,01	45,74	29,52	0,65
7	0,40	17,82	11,46	0,64	19	6,31	51,39	32,98	0,64
8	0,50	19,49	12,38	0,64	20	7,94	58,46	37,36	0,64
9	0,63	21,22	13,32	0,63	21	10,00	68,65	43,24	0,63
10	0,79	23,09	14,36	0,62	22	12,59	83,35	48,92	0,59
11	1,00	25,02	15,49	0,62	23	15,85	119,20	77,91	0,65
12	1,26	27,06	16,79	0,62	24	19,95	165,10	93,86	0,57

Na základě naměřených hodnot bylo zjištěno, že elastický modul  $G'$  převládá nad viskózním modulem  $G''$  (obr.29). Z hodnoty  $\tan \delta < 1$  bylo zjištěno, že OKSE vykazuje viskoelastické

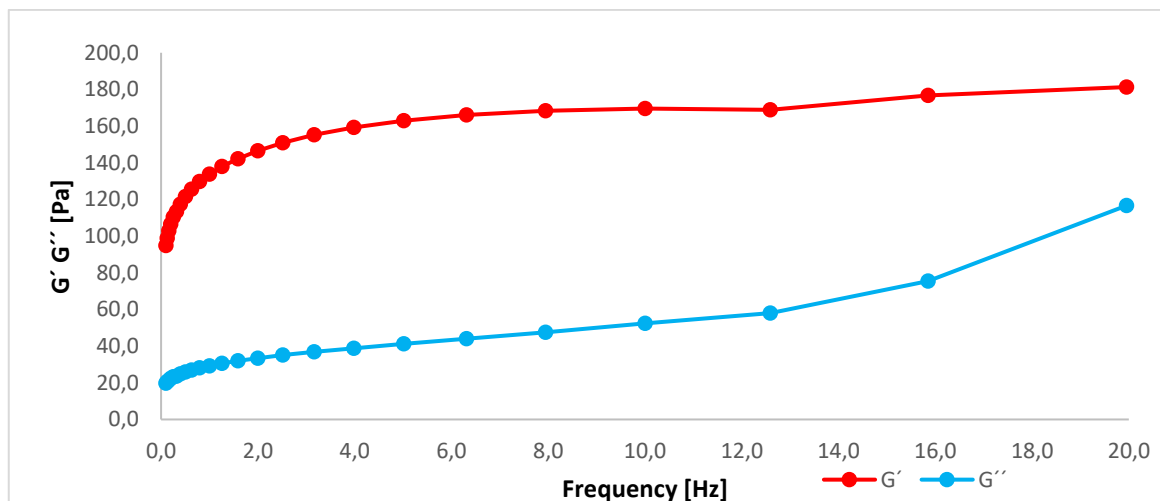
chování. Lze konstatovat, že přidavek emulgátoru zvýšil viskoelasticitu ovesno-kokosové smetany.



Obr. 29: Závislost elastického modulu pružnosti  $G'$  a viskózního modulu  $G''$  na frekvenci pro vzorek OKSE

Tab 9: Naměřené hodnoty MS

ČM	f [Hz]	G' [Pa]	G'' [Pa]	tan $\delta$ [°]	ČM	f [Hz]	G' [Pa]	G'' [Pa]	tan $\delta$ [°]
1	0,10	94,85	19,71	0,21	13	1,59	142,20	31,97	0,23
2	0,13	98,93	20,69	0,21	14	2,00	146,60	33,44	0,23
3	0,16	102,80	21,38	0,21	15	2,51	150,90	35,08	0,24
4	0,20	106,60	22,31	0,21	16	3,16	155,20	36,83	0,24
5	0,25	110,30	23,29	0,21	17	3,98	159,30	38,86	0,25
6	0,32	113,40	23,61	0,21	18	5,01	163,00	41,17	0,27
7	0,40	117,30	24,86	0,21	19	6,31	166,10	44,02	0,28
8	0,50	121,60	25,87	0,21	20	7,94	168,30	47,49	0,31
9	0,63	125,60	26,98	0,21	21	10,00	169,60	52,37	0,34
10	0,79	129,70	28,08	0,22	22	12,59	168,90	57,98	0,43
11	1,00	133,80	29,27	0,22	23	15,85	176,80	75,52	0,64
12	1,26	138,00	30,57	0,22	24	19,95	181,30	116,60	0,23



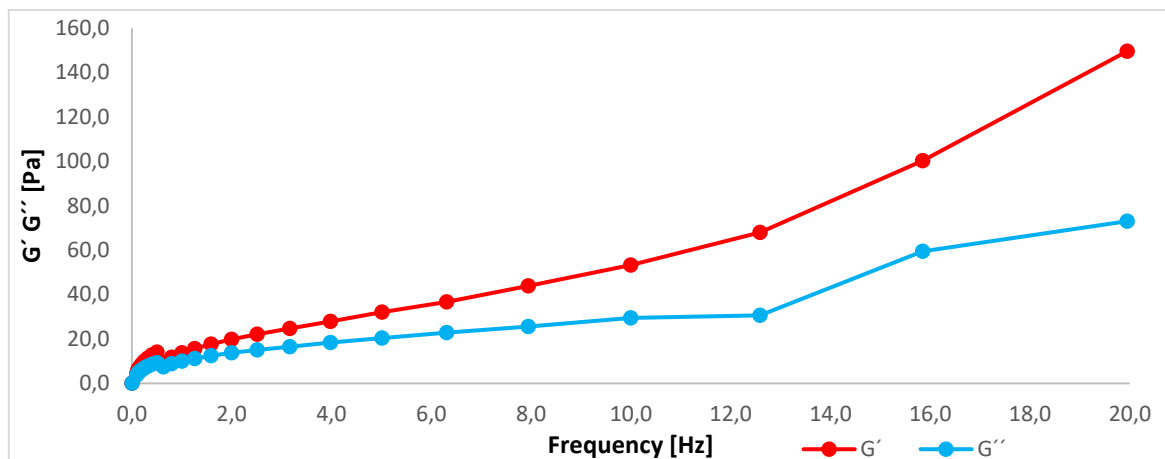
Obr. 30: Závislost elastického modulu pružnosti  $G'$  a viskózního modulu  $G''$  na frekvenci pro vzorek MS

Z naměřených hodnot  $G'$ ,  $G''$  v závislosti na frekvenci bylo zjištěno, že elastický modulu  $G'$  převládá nad viskózním modulem  $G''$  (obr. 30). To bylo potvrzeno hodnotami  $\tan \delta < 1$ , tzn, že vzorek MS vykazuje viskoelastické chování.

Tab. 10: Naměřené hodnoty MSE

ČM	f [Hz]	$G'$ [Pa]	$G''$ [Pa]	$\tan \delta$ [°]	ČM	f [Hz]	$G'$ [Pa]	$G''$ [Pa]	$\tan \delta$ [°]
<b>1</b>	0,10	4,51	3,65	0,81	<b>13</b>	1,59	17,61	12,41	0,70
<b>2</b>	0,13	6,23	4,81	0,77	<b>14</b>	2,00	19,78	13,71	0,69
<b>3</b>	0,16	7,51	5,56	0,74	<b>15</b>	2,51	22,16	15,11	0,68
<b>4</b>	0,20	8,71	6,17	0,71	<b>16</b>	3,16	24,69	16,52	0,67
<b>5</b>	0,25	10,08	6,97	0,69	<b>17</b>	3,98	27,83	18,31	0,66
<b>6</b>	0,32	11,35	7,75	0,68	<b>18</b>	5,01	32,01	20,33	0,64
<b>7</b>	0,40	12,68	8,53	0,67	<b>19</b>	6,31	36,74	22,80	0,62
<b>8</b>	0,50	14,05	9,33	0,66	<b>20</b>	7,94	43,91	25,65	0,58
<b>9</b>	0,63	9,26	7,46	0,81	<b>21</b>	10,00	53,30	29,49	0,55
<b>10</b>	0,79	11,81	8,82	0,75	<b>22</b>	12,59	68,00	30,58	0,45
<b>11</b>	1,00	13,74	9,95	0,72	<b>23</b>	15,85	00,30	59,48	0,59
<b>12</b>	1,26	15,66	1,13	0,71	<b>24</b>	19,95	149,60	73,04	0,49



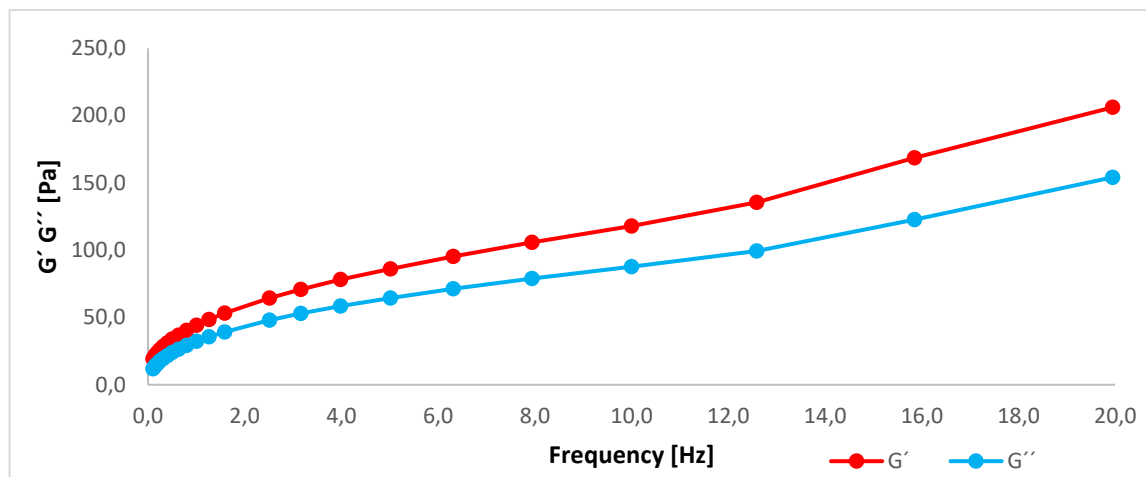


Obr. 31: Závislost elastického modulu pružnosti  $G'$  a viskózního modulu  $G''$  na frekvenci pro vzorek MSE

Z hodnoty měření  $\tan \delta < 1$  bylo zjištěno, že převládá elastický modul  $G'$  nad viskózním modulem  $G''$  (obr. 31), takže MSE se chová jako viskoelastický materiál. Přídavek emulgátoru u vzorku MSE redukuje viskoelasticitu vzorku, tzn., že zvyšuje hodnoty  $\tan \delta$ .

Tab. 11: Naměřené hodnoty RSL

ČM	f [Hz]	G' [Pa]	G'' [Pa]	$\tan \delta$ [°]	ČM	F [Hz]	G' [Pa]	G'' [Pa]	$\tan \delta$ [°]
1	0,10	19,29	11,76	0,61	13	1,59	53,20	39,22	0,75
2	0,13	20,62	12,96	0,63	14	2,51	49,41	48,04	0,75
3	0,16	22,34	14,33	0,64	15	3,16	64,42	52,95	0,75
4	0,20	24,17	15,96	0,66	16	3,98	70,90	58,36	0,75
5	0,25	26,20	17,67	0,67	17	5,01	78,08	64,40	0,75
6	0,32	28,40	19,53	0,69	18	6,31	86,12	71,22	0,75
7	0,40	30,98	21,63	0,70	19	7,94	95,38	78,96	0,74
8	0,50	33,83	23,91	0,71	20	10,00	105,80	87,80	0,73
9	0,63	36,90	26,41	0,72	21	12,59	117,90	99,45	0,73
10	0,79	40,35	29,19	0,72	22	15,85	135,50	122,60	0,75
11	1,00	44,21	32,22	0,73	23	19,95	168,60	154,10	0,53
12	1,26	48,46	35,55	0,73					

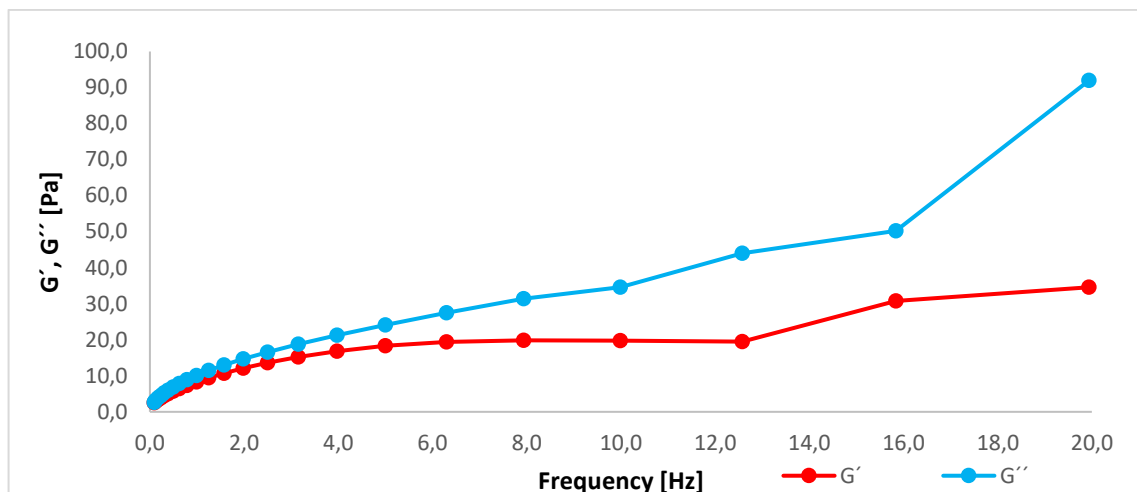


Obr. 32: Závislost elastického modulu pružnosti  $G'$  a viskózního modulu  $G''$  na frekvenci pro vzorek RSL.

Na základě naměřených hodnot bylo zjištěno, že elastický modul  $G'$  převládá nad viskózním  $G''$  (obr. 32). Z hodnoty  $\tan \delta < 1$  bylo zjištěno, že vzorek RSL vykazuje viskoelastické chování.

Tab. 12: Naměřené hodnoty OS

ČM	f [Hz]	$G'$ [Pa]	$G''$ [Pa]	$\tan \delta$ [°]	ČM	f [Hz]	$G'$ [Pa]	$G''$ [Pa]	$\tan \delta$ [°]
<b>1</b>	0,10	2,56	2,66	1,04	<b>13</b>	1,59	10,70	12,99	1,21
<b>2</b>	0,13	2,82	3,04	1,08	<b>14</b>	2,00	12,10	14,69	1,21
<b>3</b>	0,16	3,16	3,49	1,11	<b>15</b>	2,51	13,63	16,60	1,22
<b>4</b>	0,20	3,54	4,00	1,13	<b>16</b>	3,16	15,23	18,76	1,23
<b>5</b>	0,25	3,97	4,59	1,15	<b>17</b>	3,98	16,83	21,30	1,27
<b>6</b>	0,32	4,47	5,25	1,17	<b>18</b>	5,01	18,32	24,14	1,32
<b>7</b>	0,40	5,05	6,00	1,19	<b>19</b>	6,31	19,44	27,53	1,42
<b>8</b>	0,50	5,71	6,85	1,20	<b>20</b>	7,94	19,83	31,38	1,58
<b>9</b>	0,63	6,47	7,82	1,21	<b>21</b>	10,00	19,77	34,59	1,75
<b>10</b>	0,79	7,33	8,90	1,21	<b>22</b>	12,59	19,54	44,03	2,25
<b>11</b>	1,00	8,32	10,11	1,21	<b>23</b>	15,85	30,76	50,20	1,63
<b>12</b>	1,26	9,45	11,47	1,21	<b>24</b>	19,95	34,58	91,97	2,66

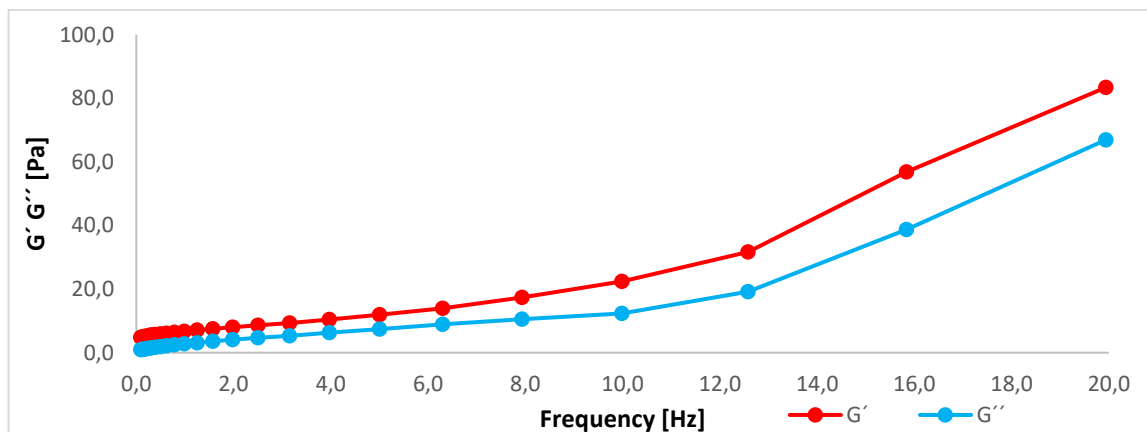


Obr. 33: Závislost elastického modulu pružnosti  $G'$  a viskózního modulu  $G''$  na frekvenci pro vzorek OS

Z naměřených hodnot  $G'$ ,  $G''$  v závislosti na frekvenci bylo zjištěno, že viskózní modul  $G''$  převládá nad elastickým modulem pružnosti (obr. 33). To bylo potvrzeno hodnotami  $\tan \delta > 1$  v celém rozsahu měřených frekvencí, tzn., že se jedná o viskózní kapalinu.

Tab. 13: Naměřené hodnoty OSE

ČM	f [Hz]	$G'$ [Pa]	$G''$ [Pa]	$\tan \delta$ [°]	ČM	f [Hz]	$G'$ [Pa]	$G''$ [Pa]	$\tan \delta$ [°]
1	0,10	4,81	0,93	0,19	13	1,59	7,50	3,56	0,47
2	0,13	4,86	1,01	0,21	14	2,00	8,00	4,06	0,51
3	0,16	5,05	1,09	0,22	15	2,51	8,63	4,66	0,54
4	0,20	5,17	1,22	0,24	16	3,16	9,38	5,35	0,57
5	0,25	5,35	1,35	0,25	17	3,98	10,44	6,30	0,60
6	0,32	5,56	1,51	0,27	18	5,01	11,93	7,39	0,62
7	0,40	5,75	1,65	0,29	19	6,31	13,95	8,98	0,64
8	0,50	5,90	1,89	0,32	20	7,94	17,43	10,54	0,60
9	0,63	6,15	2,16	0,35	21	10,00	22,42	12,31	0,55
10	0,79	6,40	2,45	0,38	22	12,59	31,72	19,25	0,61
11	1,00	6,72	2,75	0,41	23	15,85	56,88	38,77	0,68
12	1,26	7,07	3,13	0,44	24	19,95	83,43	66,95	0,80

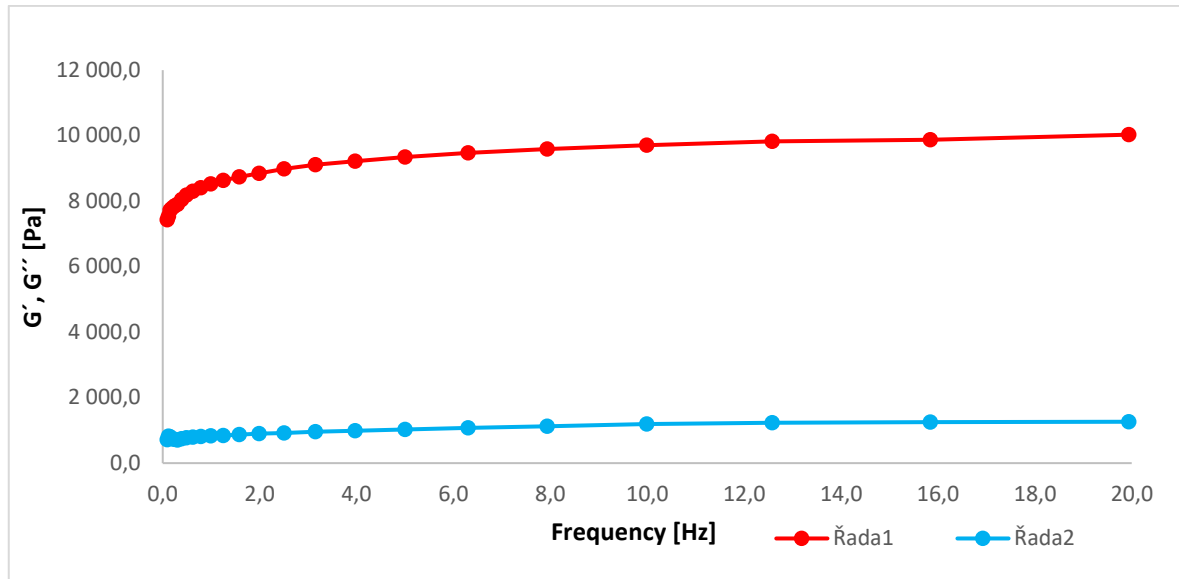


Obr. 34: Závislost elastického modulu pružnosti  $G'$  a viskózního modulu  $G''$  na frekvenci pro vzorek OSE

Z hodnoty měření  $\tan \delta < 1$  bylo zjištěno, že převládá elastický modul  $G'$  nad viskózním modulem  $G''$  (obr. 34), takže OSE se chová jako viskoelastický materiál. Příklad emulgátoru u vzorku OSE snižuje hodnoty  $\tan \delta$ , díky lipofilnímu charakteru tohoto emulgátoru, který interaguje i s tukem přirozeně přítomným v částicích ovsu.

Tab. 14: Naměřené hodnoty KS

ČM	F [Hz]	$G'$ [Pa]	$G''$ [Pa]	$\tan \delta$ [°]	ČM	f [Hz]	$G'$ [Pa]	$G''$ [Pa]	$\tan \delta$ [°]
1	0,10	7431,00	711,20	0,10	13	1,59	8845,00	897,30	0,10
2	0,13	542,00	817,30	0,11	14	2,00	8982,00	923,80	0,10
3	0,16	722,00	805,70	0,10	15	2,51	9109,00	959,80	0,10
4	0,20	782,00	741,80	0,10	16	3,16	9223,00	992,60	0,11
5	0,25	7854,00	728,60	0,09	17	3,98	9348,00	1031,00	0,11
6	0,32	7902,00	703,90	0,09	18	5,01	9476,00	1073,00	0,11
7	0,40	8047,00	742,70	0,09	19	6,31	9591,00	1129,00	0,11
8	0,50	8181,00	770,70	0,09	20	7,94	9704,00	1197,00	0,12
9	0,63	8297,00	793,00	0,10	21	10,00	825,00	1230,00	0,12
10	0,79	8412,00	811,10	0,10	22	12,59	9875,00	1253,00	0,13
11	1,00	8521,00	827,90	0,10	23	15,85	10030,00	1263,00	0,13
12	1,26	8637,00	844,50	0,10	24	19,95	10060,00	1462,00	0,13

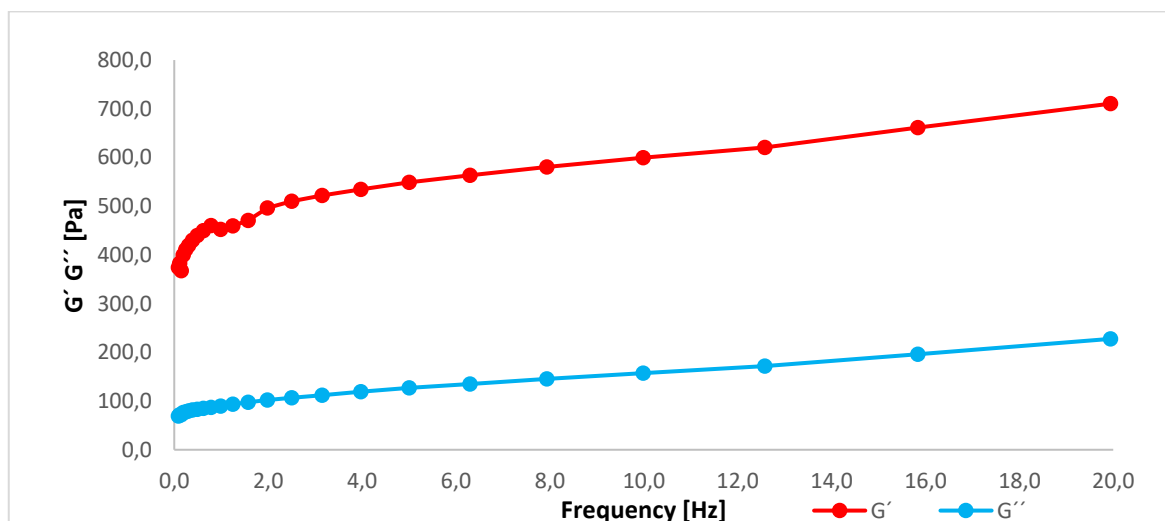


Obr. 35: Závislost elastického modulu pružnosti  $G'$  a viskózního modulu  $G''$  na frekvenci pro vzorek KS

Na základě naměřených hodnot bylo zjištěno, že elastický modul  $G'$  převládá nad viskózním modulem  $G''$  (obr. 35). Z hodnoty  $\tan \delta < 1$  bylo zjištěno, že vzorek KS vykazuje nejlepší viskoelastické vlastnosti díky přítomnosti proteinů a fosfolipidů přítomných v kokosovém endospermu (sušeném kokosu). Jedná se o protein 11S (kokosin), který díky povrchově nabitým aktivním molekulám je schopen stabilizovat emulzi olej ve vodě. Tyto proteiny se adsorbují na povrchu tukových kapek a udržují odpuzivé interakce (např. elektrostatické a sterické), které pomáhají zabránit agregaci tukových kapek (McClements 2004, Tangsuphoom, 2008).

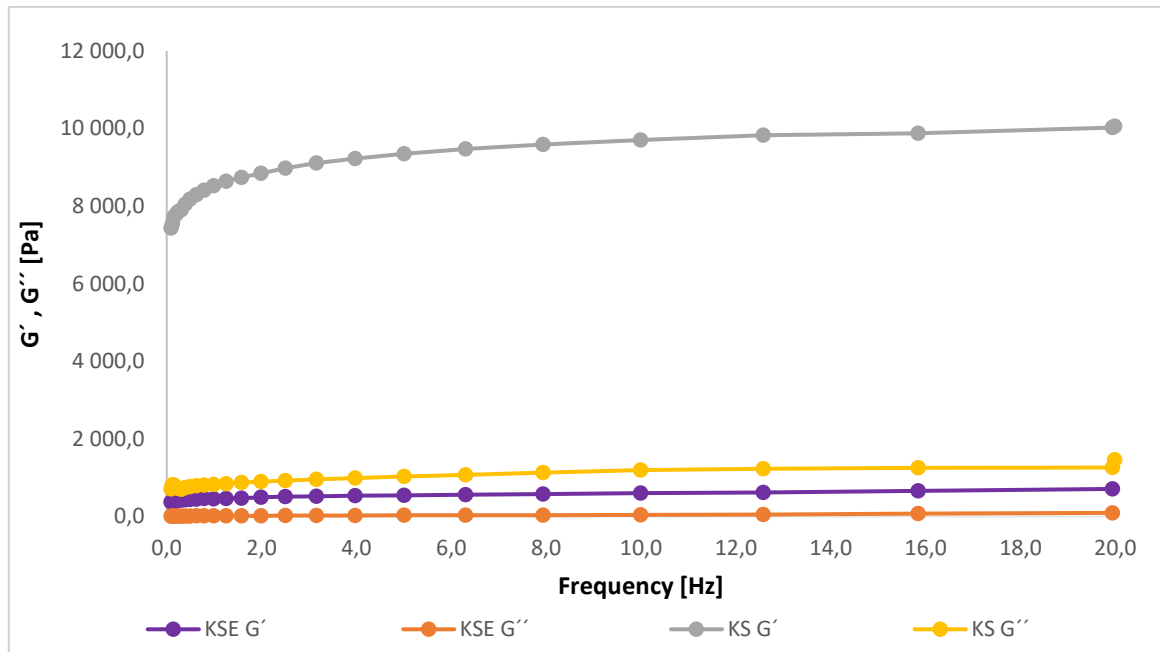
Tab. 15: Naměřené hodnoty KSE

ČM	f [Hz]	G' [Pa]	G'' [Pa]	tan δ [°]	ČM	f [Hz]	G' [Pa]	G'' [Pa]	tan δ [°]
1	0,10	74,20	9,35	0,19	13	1,59	70,80	97,76	0,21
2	0,13	82,60	1,72	0,19	14	2,00	96,50	102,30	0,21
3	0,16	67,30	1,87	0,20	15	2,51	09,90	106,50	0,21
4	0,20	99,60	6,45	0,19	16	3,16	21,90	112,00	0,21
5	0,25	410,80	7,74	0,19	17	3,98	34,70	118,90	0,22
6	0,32	19,20	9,42	0,19	18	5,01	549,00	126,80	0,23
7	0,40	30,20	81,45	0,19	19	6,31	63,40	134,90	0,24
8	0,50	40,10	3,28	0,19	20	7,94	80,30	145,30	0,25
9	0,63	49,90	4,96	0,19	21	10,00	599,50	157,30	0,26
10	0,79	60,20	7,24	0,19	22	12,59	20,60	171,70	0,28
11	1,00	52,40	9,41	0,20	23	15,85	661,30	195,90	0,30
12	1,26	59,30	93,57	0,20	24	19,95	10,50	227,60	0,32

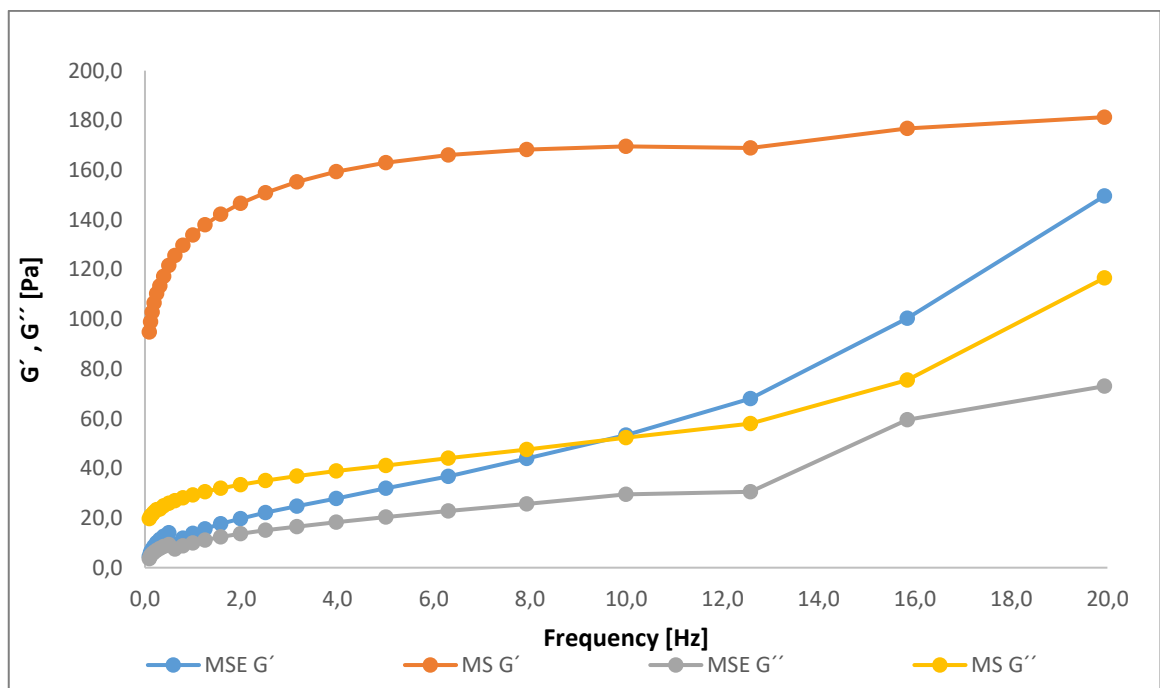


Obr. 36: Závislost elastického modulu pružnosti  $G'$  a viskózního modulu  $G''$  na frekvenci pro vzorek KSE

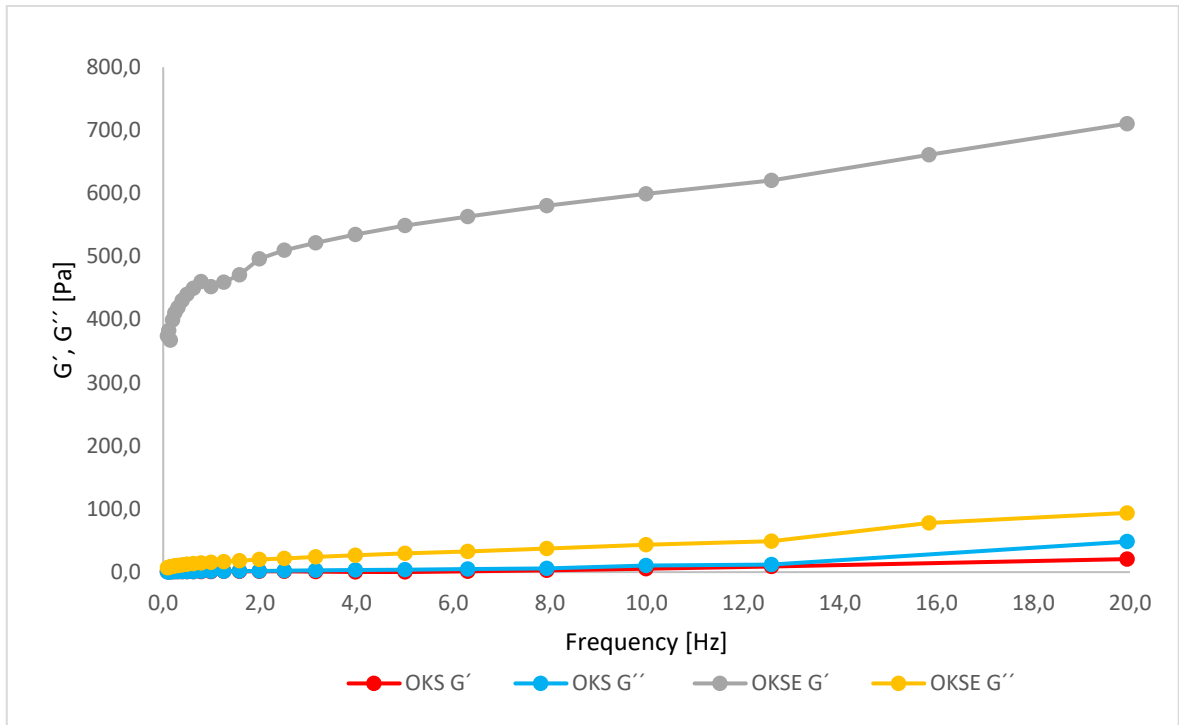
Z hodnoty měření  $\tan \delta < 1$  bylo zjištěno, že převládá elastický modul  $G'$  u vzorku KSE nad viskózním modulem  $G''$  (obr. 36), takže KSE se chová jako viskoelastický materiál. Přídavek lipofilního emulgátoru u vzorku KSE redukuje viskoelasticitu vzorku, tzn., že zvyšuje hodnoty  $\tan \delta$ .



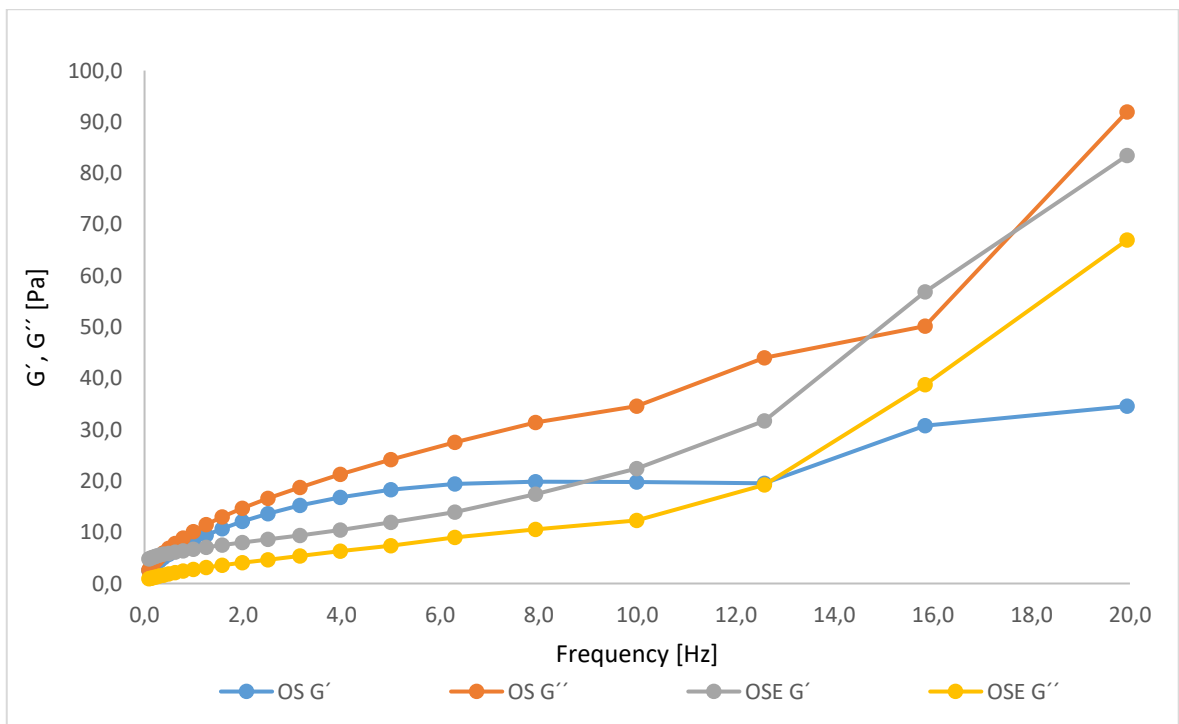
Obr. 37: Závislost elastického modulu pružnosti  $G'$  a viskózního modulu  $G''$  na frekvenci pro vzorky KS a KSE



Obr. 38: Závislost elastického modulu pružnosti  $G'$  a viskózního modulu  $G''$  na frekvenci pro vzorky MS a MSE

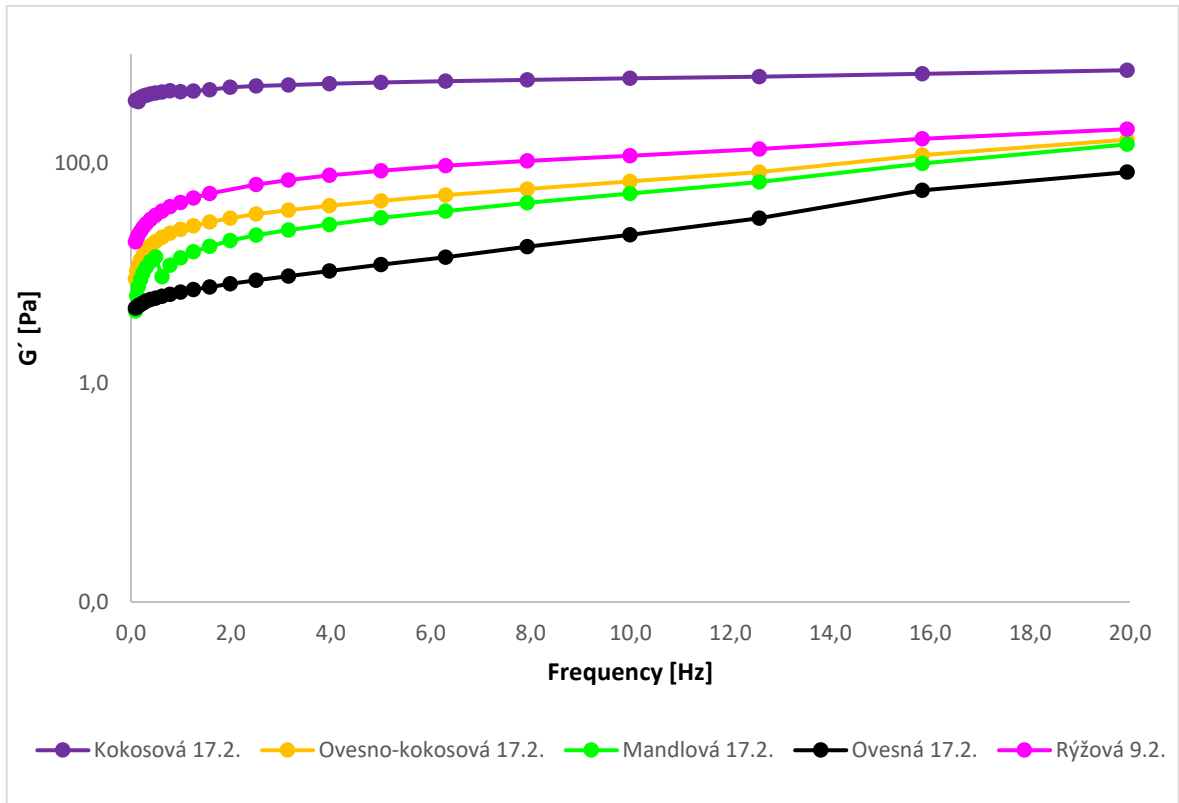


Obr. 39: Závislost elastického modulu pružnosti  $G'$  a viskózního modulu  $G''$  na frekvenci pro vzorky OKS a OKSE

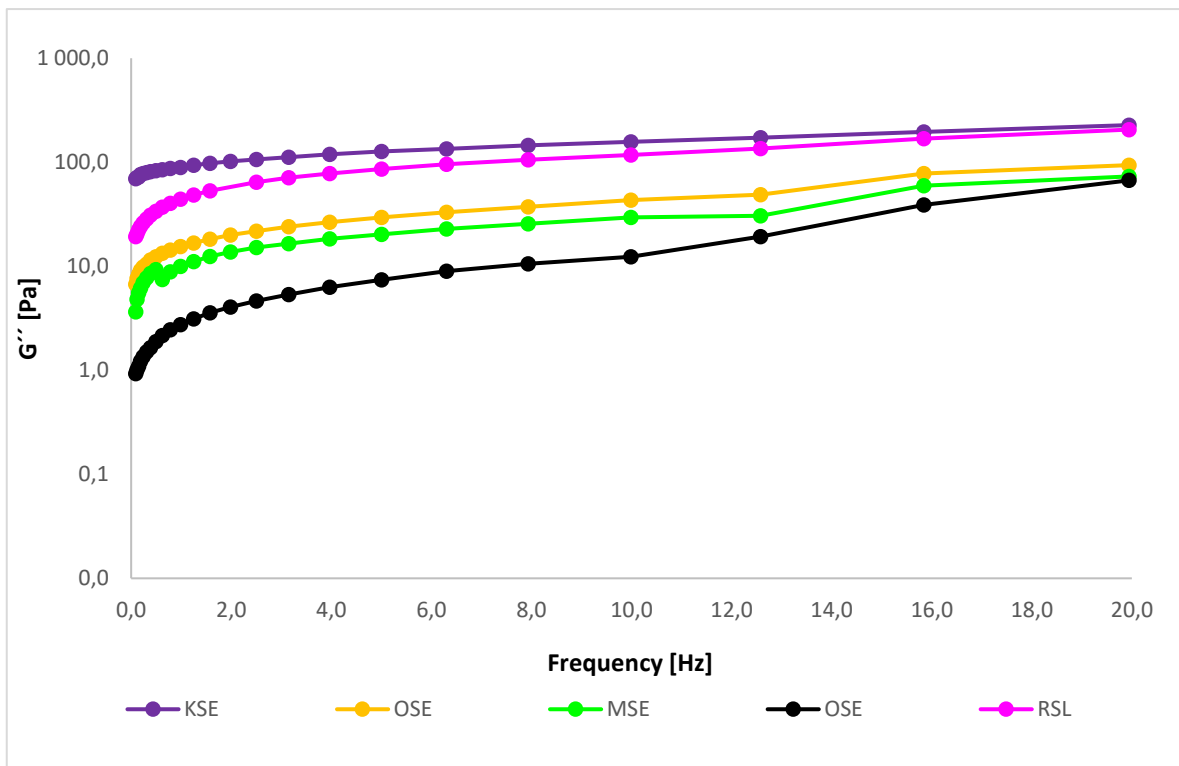


Obr. 40: Závislost elastického modulu pružnosti  $G'$  a viskózního modulu  $G''$  na frekvenci pro vzorky OS a OSE

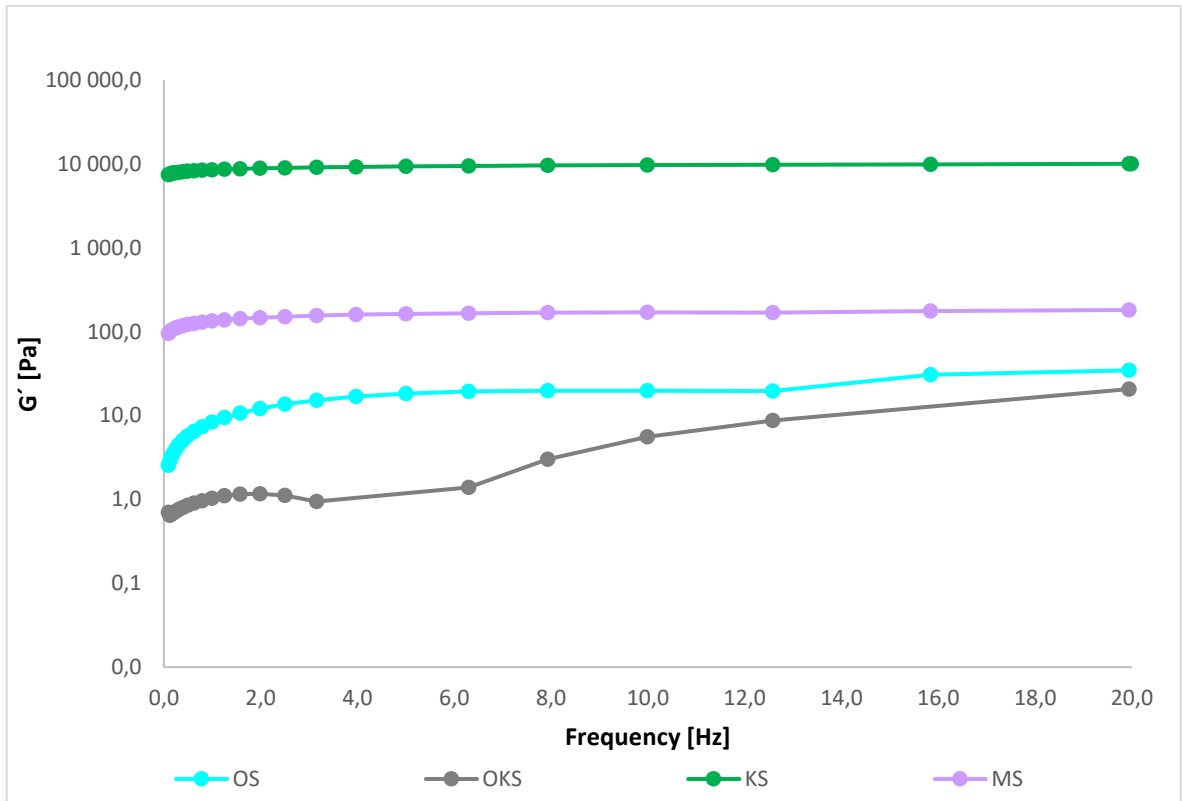




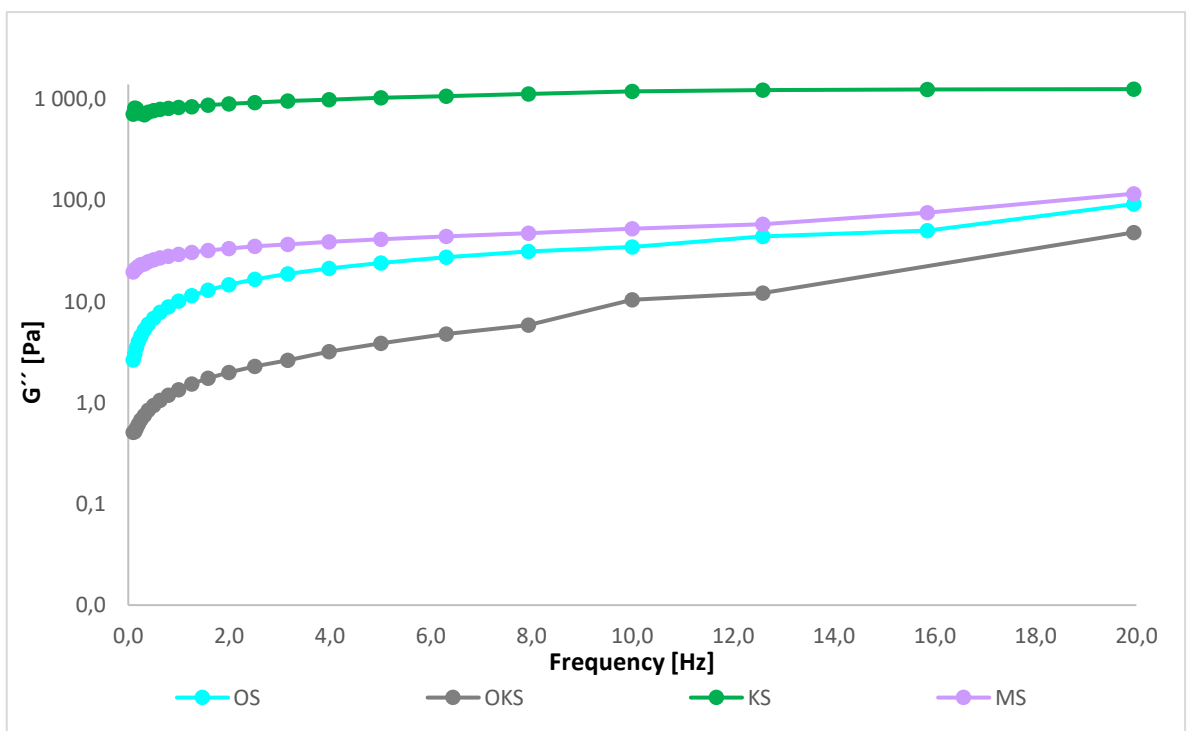
Obr. 41: Závislost elastickeho modulu pružnosti  $G'$  na frekvenci vzorků rostlinných smetan s emulgátorem



Obr. 42: Závislost viskózního modulu pružnosti  $G''$  na frekvenci vzorků rostlinných smetan s emulgátorem



Obr. 43: Závislost elastickeho modulu pružnosti  $G'$  na frekvenci vzorků rostlinných smetan bez emulgátoru



Obr. 44: Závislost viskózního modulu pružnosti  $G''$  na frekvenci vzorků rostlinných smetan bez emulgátoru

Z oscilačních měření vyplývá, že se zvyšující se frekvencí za konstantní deformace 0,1 % dochází ke zvýšení mechanických modulů  $G'$  a  $G''$  u všech připravených vzorků rostlinných smetan. Z naměřených hodnot  $\tan \delta$  bylo zjištěno, že viskózní modul pružnosti ( $G''$ ), převládá nad elastickým modulem pružnosti ( $G'$ ) jen u dvou vzorků smetan bez emulgátoru, a to u OKS (nad  $f = 0,4$  Hz) a OS (v celém rozsahu měřených frekvencí). U dalších vzorků smetan převládá elastický modul pružnosti ( $G'$ ) nad viskózním modulem pružnosti ( $G''$ ), což můžeme pozorovat na obr. 28–36 ze závislostí  $G'$ ,  $G''$  na frekvenci. U vzorků s emulgátorem v porovnání se vzorky bez emulgátorů dochází ke snížení  $G'$  a  $G''$  až na vzorek OKS a OKSE, kdy OKSE má vyšší hodnoty  $G'$ . To by mohlo souviset s recepturou, konkrétně s obsahem rýžové mouky (25 g) a s přirozeně vyskytujícím se obsahem bílkovin a tuku ve vzorcích, které mohou zlepšovat vlastnosti emulze.

Z grafické závislosti elastického ( $G'$ ) a viskózního modulu ( $G''$ ) na frekvenci u vzorku kokosových smetan můžeme na obr. 37 pozorovat, že u vzorku KSE jsou hodnoty  $G'$  a  $G''$  nižší, ale v případě vzorku KS bez emulgátoru pozorujeme značný nárůst hodnoty  $G'$  ( $\tan \delta$  se výrazně sníží). Tento jev může souviset s tím, že vzorek s emulgátorem (KSE) obsahuje 2x větší množství GG, která zde slouží jako hydrokoloid, který reaguje s použitým emulgátorem E 471 a to tak, že zde emulgátor podpoří lepší navázání vody ve struktuře smetany a tím dojde ke zjemnění, ale zároveň ke snížení elasticity, což je dáno i nižším poměrem voda/olej (0,1).

U vzorků mandlových smetan (obr. 38) se zjistilo, že hodnoty  $G'$  u vzorku MS oproti vzorku s emulgátorem MSE jsou vyšší. To může souviset s tím, že u vzorku s emulgátorem MSE došlo ke zvýšení obsahu guarové gummy na dvojnásobné množství. Přídavek lipofilního emulgátoru ke GG zde zvyšuje navázání vody ve struktuře smetany, kterou tím zjemňuje, ale zvyšuje její fázový úhel  $\delta$  (snižuje její viskoelasticitu).

Na obr. 39 je patrné, že vzorek OKS bez emulgátoru vykazuje viskózní chování ( $G'' > G'$ ), což může souviset se složením vstupních surovin a relativně vysokému obsahu tuku a proteinu ve vločkách ovsu. Po přidavku emulgátoru ke vzorku OKSE, ale dojde k nárůstu hodnoty  $G'$ , který převládá nad  $G''$ . Z toho plyne, že po přidavku E 471 dojde k nárůstu viskoelasticity smetany.

U vzorků ovesných smetan (obr. 40) bylo zjištěno, že vzorek OS je viskózní kapalina, protože hodnota  $\tan \delta > 1$ , to bylo dokázáno i tím, že  $G'' > G'$ . Tento děj může souviset s recepturou, přesněji vysokým obsahem vstupních surovin (např. 3x větší množství oleje než u ostatních vzorků) a vyšším množstvím GG, která ve struktuře váže vodu. Po přidavku

lipofilního emulgátoru došlo ke snížení hodnoty  $\tan \delta$ , protože emulgátor reagoval i s přirozeně přítomnými složkami ovsa (tuk). Ovesné smetany vykazují nejvyšší poměr olej/voda (0,32).

Dále bylo podle hodnot  $\tan \delta$  (viz. tab. 7–15) zjištěno, že se jedná se o viskoelastické materiály, protože se hodnoty nachází v rozmezí  $0^\circ < \delta < 90^\circ$ .

Z grafického vyhotovení závislosti elastického modulu pružnosti na frekvenci u vzorků smetan s emulgátorem (obr. 41) vyplývá, že největší  $G'$  má KS a nejmenší má OSE, což může souviset se složením surovin vzorků smetan. U vzorku KSE se přesněji jedná o vysoký obsah tuků a lipidů, které se přirozeně vyskytují v endospermu kokosu (sušený strouhaný kokos) a dále obsah dvojnásobného množství rýžové mouky v receptuře, která slouží k zahuštění smetany. Zatímco OSE obsahuje ve své receptuře 3x větší množství oleje, ale poloviční množství rýžové mouky ve srovnání s KSE. Z grafu se dále zjistilo, že vzorek RSL s lecitinem má vyšší hodnoty  $G'$  než vzorky smetan (OKSE, MSE a OSE) s použitím emulgátoru E 471, což může souviset s recepturou, přesněji nejvyšším množstvím oleje a dále GG, která se používá jako hydrokoloid. Stejně chování bylo pozorováno u vzorků smetan s emulgátorem (obr. 42), ale u viskózního modulu  $G''$ .

U vzorků smetan bez použití emulgátoru (obr. 43) má největší hodnotu  $G'$  opět kokosová smetana KS a nejmenší OKS, což souvisí s recepturou. U vzorku KS bylo použito 2x vyšší množství rýžové mouky než u smetany OKS. Dále bylo zjištěno, že  $G''$  (obr. 44) má stejné chování co se týče uspořádání vzorků za sebou, jako v grafu se vzorky s  $G'$ . Vzorky MS a OS mají podobné vlastnosti, ale MS má vyšší hodnoty  $G'$  i  $G''$  a to může souviset se složením látek, které se přirozeně vyskytují v jádrech mandlí nebo vloček ovsa. Kdy jádra mandlí mají vyšší hodnoty tuků i bílkovin než vločky ovsa. Dále na to může mít vliv i receptura, kdy OS má 3x vyšší množství oleje a 2x vyšší množství GG než vzorek MS, která ale ve složení obsahuje rýžovou mouku, jako zahušťovadlo.

### 7.2.2 Tokové křivky

Tokové křivky rostlinných smetan byly získány měřením vzorků smetan na reometru Kinexus s geometrií deska-deska (s 2 mm mezerou mezi deskami) pro polotuhé smetany a s geometrií válec-válec pro tekutější vzorky smetan. Měření bylo prováděno při teplotě 25 °C a smykové rychlosti v rozmezí 0,1 - 100 s<sup>-1</sup>. Z naměřených hodnot (tab. 16–20) byly vytvořeny grafy v závislosti smykové rychlosti  $\dot{\gamma}$  na viskozitě  $\eta$ . Reologické parametry byly vyhodnoceny s využitím modelů Power law a Herschel-Bulkley.

Tab. 16: Naměřené hodnoty mandlových smetan

MS						MSE					
ČM	$\dot{\gamma}$ [s <sup>-1</sup> ]	$\eta$ [Pas]	ČM	$\dot{\gamma}$ [s <sup>-1</sup> ]	$\eta$ [Pas]	ČM	$\dot{\gamma}$ [s <sup>-1</sup> ]	$\eta$ [Pas]	ČM	$\dot{\gamma}$ [s <sup>-1</sup> ]	$\eta$ [Pas]
1	0,10	7,52	17	3,98	0,38	1	0,10	5,09	17	3,98	0,35
2	0,13	6,22	18	5,01	0,32	2	0,13	4,26	18	5,01	0,32
3	0,16	5,25	19	6,31	0,28	3	0,16	3,56	19	6,31	0,29
4	0,20	4,46	20	7,94	0,24	4	0,20	2,97	20	7,94	0,27
5	0,25	3,76	21	10,00	0,22	5	0,25	2,48	21	10,00	0,25
6	0,32	3,15	22	12,59	0,19	6	0,32	2,06	22	12,59	0,23
7	0,40	2,60	23	15,85	0,18	7	0,40	1,72	23	15,85	0,21
8	0,50	2,15	24	19,95	0,16	8	0,50	1,43	24	19,95	0,19
9	0,63	1,78	25	25,12	0,14	9	0,63	1,18	25	25,12	0,17
10	0,79	1,48	26	31,62	0,13	10	0,79	0,99	26	31,62	0,15
11	1,00	1,23	27	39,81	0,12	11	1,00	0,82	27	39,81	0,14
12	1,26	1,02	28	50,12	0,11	12	1,26	0,70	28	50,12	0,12
13	1,59	0,85	29	63,10	0,10	13	1,59	0,59	29	63,10	0,11
14	2,00	0,70	30	79,44	0,09	14	2,00	0,51	30	79,44	0,10
15	2,51	0,56	31	100,00	0,09	15	2,51	0,44	31	100,00	0,09
16	3,16	0,46				16	3,16	0,39			

Tab. 17: Naměřené hodnoty ovesno-kokosových smetan

OKSE						OKS					
ČM	$\dot{\gamma}$ [s <sup>-1</sup> ]	$\eta$ [Pas]	ČM	$\dot{\gamma}$ [s <sup>-1</sup> ]	$\eta$ [Pas]	ČM	$\dot{\gamma}$ [s <sup>-1</sup> ]	$\eta$ [Pas]	ČM	$\dot{\gamma}$ [s <sup>-1</sup> ]	$\eta$ [Pas]
1	0,10	10,73	17	3,98	1,62	1	0,10	1,68	17	3,98	0,25
2	0,13	9,35	18	5,01	1,48	2	0,13	1,53	18	5,01	0,22
3	0,16	8,04	19	6,31	1,36	3	0,16	1,38	19	6,31	0,20
4	0,20	6,96	20	7,94	1,25	4	0,20	1,24	20	7,94	0,18
5	0,25	5,98	21	10,00	1,15	5	0,25	1,12	21	10,00	0,16
6	0,32	5,20	22	12,59	1,05	6	0,32	0,99	22	12,59	0,14
7	0,40	4,47	23	15,85	0,97	7	0,40	0,88	23	15,85	0,12
8	0,50	4,01	24	19,95	0,89	8	0,50	0,75	24	19,95	0,11
9	0,63	3,56	25	25,12	0,82	9	0,63	0,66	25	25,12	0,10
10	0,79	3,18	26	31,62	0,75	10	0,79	0,57	26	31,62	0,09
11	1,00	2,86	27	39,81	0,70	11	1,00	0,51	27	39,81	0,08
12	1,26	2,55	28	50,12	0,64	12	1,26	0,44	28	50,12	0,07
13	1,59	2,33	29	63,10	0,59	13	1,59	0,39	29	63,10	0,06
14	2,00	2,12	30	79,44	0,55	14	2,00	0,35	30	79,44	0,06
15	2,51	1,94	31	100,00	0,51	15	2,51	0,31	31	100,00	0,06
16	3,16	1,77				16	3,16	0,28			

Tab. 18: Naměřené hodnoty ovesných smetan

OS						OSE					
ČM	$\dot{\gamma}$ [s <sup>-1</sup> ]	$\eta$ [Pas]	ČM	$\dot{\gamma}$ [s <sup>-1</sup> ]	$\eta$ [Pas]	ČM	$\dot{\gamma}$ [s <sup>-1</sup> ]	$\eta$ [Pas]	ČM	$\dot{\gamma}$ [s <sup>-1</sup> ]	$\eta$ [Pas]
1	0,10	8,42	17	3,98	1,98	1	0,10	4,60	17	3,98	0,24
2	0,13	7,49	18	5,01	1,85	2	0,13	3,88	18	5,01	0,21
3	0,16	6,71	19	6,31	1,72	3	0,16	3,26	19	6,31	0,18
4	0,20	6,01	20	7,94	1,60	4	0,20	2,72	20	7,94	0,16
5	0,25	5,41	21	10,00	1,48	5	0,25	2,25	21	10,00	0,14
6	0,32	4,88	22	12,59	1,37	6	0,32	1,85	22	12,59	0,12
7	0,40	4,42	23	15,85	1,27	7	0,40	1,49	23	15,85	0,11
8	0,50	4,01	24	19,95	1,17	8	0,50	1,23	24	19,95	0,10
9	0,63	3,67	25	25,12	1,07	9	0,63	1,01	25	25,12	0,09
10	0,79	3,37	26	31,62	0,98	10	0,79	0,82	26	31,62	0,08
11	1,00	3,10	27	39,81	0,89	11	1,00	0,67	27	39,81	0,07
12	1,26	2,87	28	50,12	0,71	12	1,26	0,55	28	50,12	0,06
13	1,59	2,66	29	63,10	0,74	13	1,59	0,46	29	63,10	0,06
14	2,00	2,47	30	79,44	0,66	14	2,00	0,39	30	79,44	0,05
15	2,51	2,29	31	100,00	0,60	15	2,51	0,32	31	100,00	0,05
16	3,16	2,13				16	3,16	0,28			

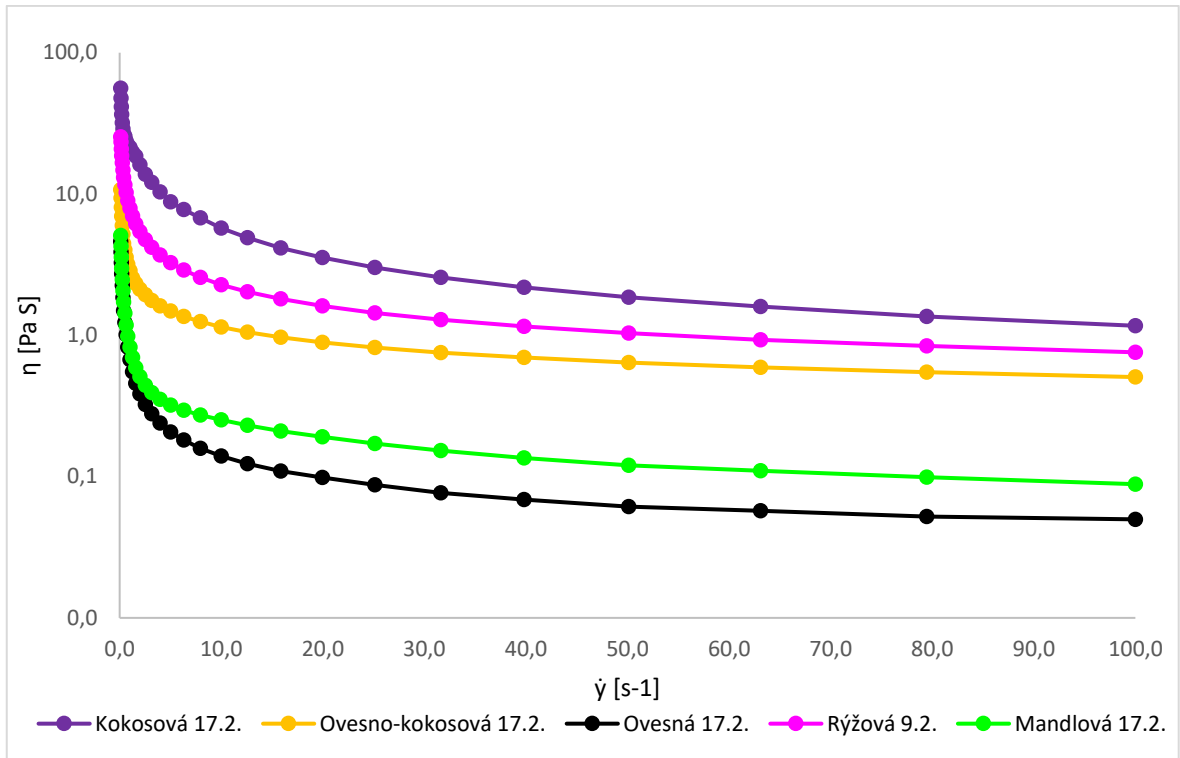
Tab. 19: Naměřené hodnoty kokosových smetan

KS						KSE					
ČM	$\dot{\gamma}$ [s <sup>-1</sup> ]	$\eta$ [Pas]	ČM	$\dot{\gamma}$ [s <sup>-1</sup> ]	$\eta$ [Pas]	ČM	$\dot{\gamma}$ [s <sup>-1</sup> ]	$\eta$ [Pas]	ČM	$\dot{\gamma}$ [s <sup>-1</sup> ]	$\eta$ [Pas]
1	0,27	579,90	17	4,14	47,65	1	0,10	56,00	17	3,98	10,34
2	0,16	941,70	18	5,16	38,28	2	0,13	47,67	18	5,01	8,79
3	0,18	846,70	19	6,46	31,21	3	0,16	41,48	19	6,31	7,74
4	0,23	678,10	20	8,05	24,43	4	0,20	36,48	20	7,94	6,78
5	0,28	551,80	21	10,06	18,68	5	0,25	31,83	21	10,00	5,75
6	0,36	452,40	22	12,59	14,79	6	0,32	28,94	22	12,59	4,90
7	0,45	370,40	23	15,69	11,19	7	0,40	26,68	23	15,85	4,16
8	0,56	304,10	24	19,67	8,83	8	0,50	25,56	24	19,95	3,54
9	0,70	247,60	25	24,57	6,30	9	0,63	23,70	25	25,12	3,01
10	0,87	202,00	26	30,71	4,60	10	0,79	22,28	26	31,62	2,57
11	1,09	163,90	27	38,40	3,78	11	1,00	21,35	27	39,81	2,19
12	1,35	133,80	28	48,01	2,64	12	1,26	19,75	28	50,12	1,86
13	1,69	109,50	29	59,93	2,14	13	1,59	18,52	29	63,10	1,59
14	2,12	88,86	30	74,81	1,46	14	2,00	16,14	30	79,44	1,36
15	2,65	72,96	31	93,46	0,99	15	2,51	13,78	31	100,00	1,17
16	3,30	59,07				16	3,16	12,10			

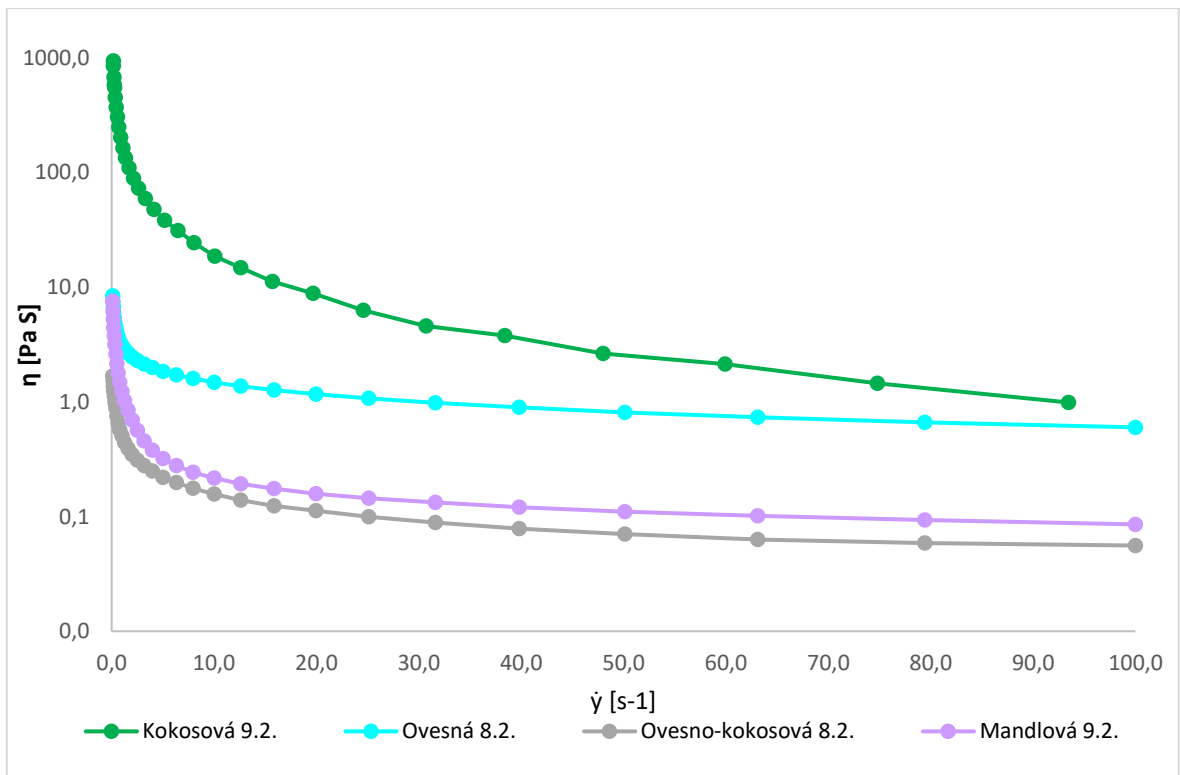


Tab. 20: Naměřené hodnoty rýžové smetany

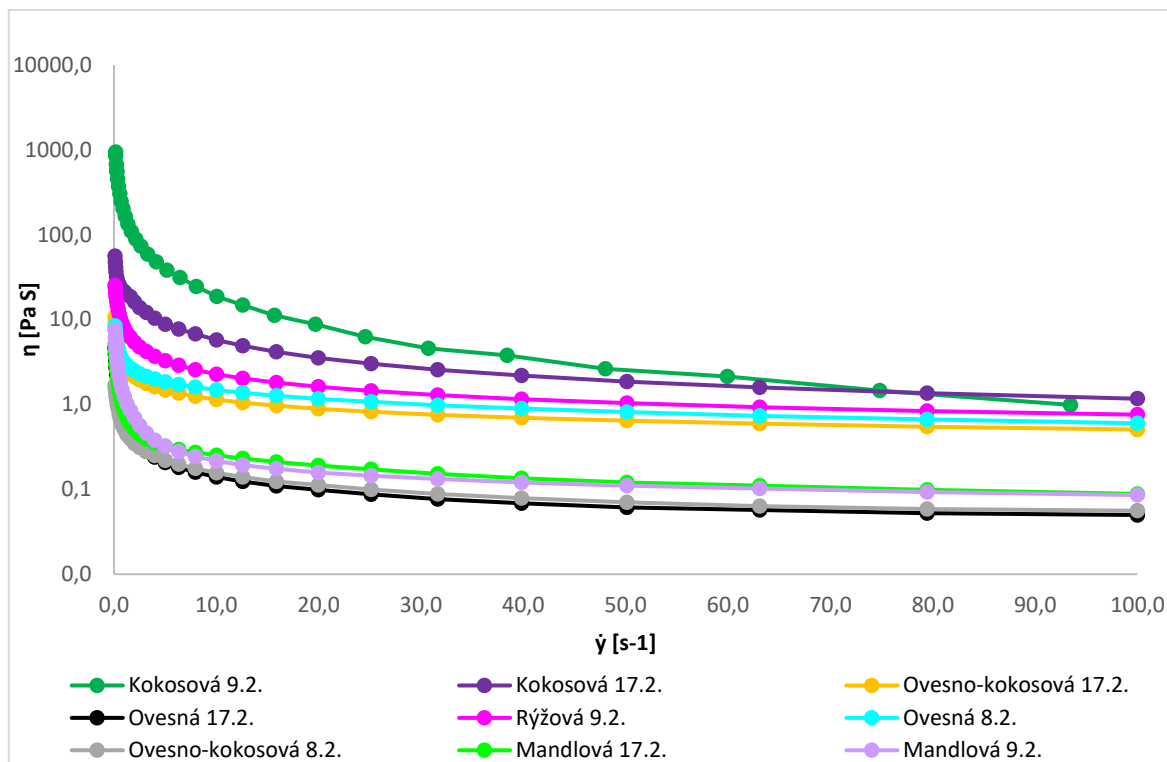
RSL					
ČM	$\dot{\gamma}$ [s <sup>-1</sup> ]	$\eta$ [Pas]	ČM	$\dot{\gamma}$ [s <sup>-1</sup> ]	$\eta$ [Pas]
1	0,10	25,41	17	3,98	3,70
2	0,13	23,32	18	5,01	3,27
3	0,16	20,82	19	6,31	2,89
4	0,20	18,65	20	7,94	2,56
5	0,25	16,64	21	10,00	2,28
6	0,32	14,75	22	12,59	2,03
7	0,40	13,09	23	15,85	1,81
8	0,50	11,57	24	19,95	1,61
9	0,63	10,21	25	25,12	1,44
10	0,79	9,00	26	31,62	1,29
11	1,00	7,92	27	39,81	1,16
12	1,26	6,98	28	50,12	1,04
13	1,59	6,13	29	63,10	0,93
14	2,00	5,40	30	79,44	0,84
15	2,51	4,75	31	100,00	0,76
16	3,16	4,19			



Obr. 45: Závislost viskozity na smykové rychlosti vzorků smetan s emulgátorem



Obr. 46: Závislost viskozity na smykové rychlosti vzorků smetan bez emulgátoru



Obr. 47: Závislost viskozity na smykové rychlosti všech vzorků smetan

Z grafické závislosti dynamické viskozity na smykové rychlosti vyplývá, že všechny vzorky vykazují pseudoplastické chování toku, tzn., že se zvyšující se smykovou rychlostí se viskozita snižuje a přídavek emulgátoru způsobuje pokles viskozity rostlinných smetan.

Přídavek emulgátoru pozorujeme i na tokových křivkách měřených vzorků smetan (obr. 45) kde bylo zjištěno, že největší viskozitu má KSE a nejmenší viskozitu má OSE, což může souviset s recepturou, konkrétně s použitím množstvím rýžové mouky, kdy u KSE, bylo použito větší množství rýžové mouky než u OSE.

U vzorků smetan bez emulgátoru bylo z obr. 46 zjištěno, že největší viskozitu má KS a nejmenší má OKS. MS má podobné vlastnosti jako OKS, ale má nižší viskozitu než OS.

Z obr. 47, kde jsou všechny vzorky smetan je patrné, že použití emulgátorů má vliv na viskozitu. Vzorek RSL s použitím lecitinu má vyšší hodnoty než vzorky s E 471 až na jednu výjimku KSE, která má vyšší viskozitu. Z grafu se dále vyčetlo, že největší viskozitu mají vzorky kokosových smetan za použití i bez použití emulgátoru E 471 a dále vzorek rýžové smetany s použitím lecitinu. Vzorek OSE má nejnižší hodnotu viskozity a velmi podobný je mu vzorek OKS. U vzorků mandlových smetan (MS a MSE) se pozoruje opačný jev a to, že emulgátor zde nemá moc vliv na viskozitu, hodnoty jsou si velmi podobné. Ale u vzorků

smetan ovesných (OS a OSE) nebo ovesno-kokosových (OKS a OKSE) má zase použití emulgátoru E 471 vliv na viskozitu.

Tab. 21: Tokové parametry rostlinných smetan měřené při 25 °C a fitované pomocí reologického modelu (extrapolované hodnoty byly stanoveny za pomoci lineární regrese).

Vzorek	Herschel-Bulkley model			
	$\tau_0$ [Pa]	$K$ [Pa.s <sup>n</sup> ]	$n$	$R^2$
MS	0,91	0,26	0,75	0,9948
MSE	0,29	0,57	0,59	0,9990
OKS	0,08	0,44	0,55	0,9823
OKSE	0,53	2,36	0,66	1,0
OS	$1,97 \times 10^{-11}$ (ext.)	4,01	0,59	0,9997
OSE	0,49	0,18	0,70	0,9994
RSL	5,64	10,21	0,66	0,9974
KS	34,65	1,71	0,72	0,9553
KSE	$6,63 \times 10^{-10}$ (ext.)	47,39	0,24	0,9991

Pozn.:  $\tau_0$  – mez toku;  $K$  – koeficient konzistence;  $n$  – index toku;  $R^2$  – korelační koeficient; ext. - hodnota extrapolovaná za pomoci nelineární regrese s  $R^2 > 0.98$ . Hodnoty jsou uvedeny jako aritmetický průměr ze tří měření (standardní odchylka <2 %).

Všechny vzorky rostlinných smetan vykazovali pseudoplastické chování, charakterizované hodnotou indexu toku  $n < 1$ . Po přidavku emulgátoru (E 471) nastal u většiny smetan pokles hodnoty meze toku. Nastal pokles tuhosti vzorku s vznik pevnější konzistence. U vzorku ovesno-kokosové smetany OKSE, došlo po přidavku emulgátoru k nárůstu hodnoty meze toku i koeficientu konzistence, což může souviset se složením vstupní suroviny a s recepturou, tedy s vyvinutím více propojené struktury a pevnější konzistence smetany.

Pro vzorky smetan KSE a OS byla fitováním Herschel-Bulkley modelu stanovena negativní hodnota meze toku, což z fyzikálního hlediska postrádá význam a musí se provést extrapolace nelineární závislosti. Herschel-Bulkley model přechází na Power law model

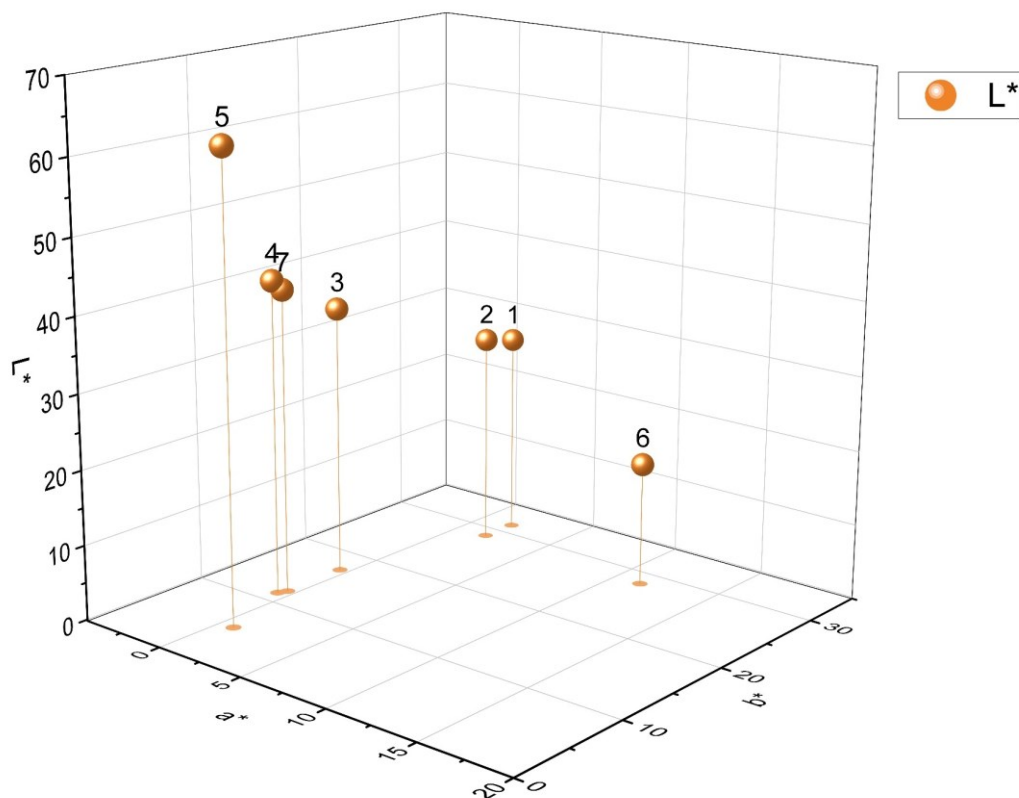
tehdy, pokud je hodnota  $\tau_0 = 0$ . Toto chování je typické pro viskoelastické látky dosahující při smykové rychlosti blížící se nule nekonečné smykové viskozity. K překonání problému záporné meze toku byla proto využita optimalizovaná metoda regrese (Lapčíková et al., 2017; Kelessidis et al., 2006).

### 7.3 Výsledky měření barevnosti

Barva a chuť jsou významnými parametry, které mohou ovlivnit nákup výrobků spotřebitelem. Barevnost vzorků rostlinných smetan byla měřena na přístroji HunterLab, metodami měření total transmission, RSIN (reflectance-specular included) a RSEX (reflectance-specular exklusive). Transmisní metodou (total transmission) byly změřeny vzorky smetan OS, OSE, MS, MSE, RSL, OKS a OKSE. Metoda RSIN byla použita pro vzorky s leskem (OS, OSE, MS, MSE, OKS, OKSE) a RSEX metoda pro vzorky smetan bez lesku (KS, KSE, RSL).

Měření transmisní metodou (total transmission) se ukázalo jako nevyhovující, protože nastaly velké rozdíly hodnot  $\Delta E$  a to bylo nejspíš způsobeno kvůli ředění vzorků.

Instrumentální analýza barev je uvedena v tabulkách 22–24. Přidání emulgátorů ovlivnilo výsledné hodnoty tak, že všechny vzorky mohly být popsány jako bílé až světle žluté barvy se slabým zeleným nádechem, popřípadě světlým červeným nádechem u mandlových smetan. Hodnoty  $L^*$  (tabulka 22–24) všech vzorků se blížily hodnotě 90, avšak nižší hodnoty  $L^*$  byly pro vzorky, které vykazovaly žlutou barvu, proto byly hodnoty  $h^*$  přibližně  $90^\circ$ . Hodnoty  $C^*$  (sytost barev) byly ovlivněny použitým typem emulgátoru (lecitin a E 471). Přídavek emulgátoru ovlivnil i index bělosti (WI) testovaných vzorků a to tak, že hodnoty byly vyšší než vzorky bez emulgátorů.



Obr. 48: Barevnost vzorků smetan (1 - OS, 2 - MSE, 3 - OSE, 4 - OKS, 5 - RSL, 6 - MS, 7 - OKSE)

Tab. 22: Naměřené hodnoty tekutých sm. s leskem metodou RSIN

Vzorek	L*	a*	b*	h*[rad]	h [°]
OS	81,56	1,26	14,35	1,48	84,98
OSE	82,84	0,90	12,99	1,50	86,06
OKS	84,37	0,62	11,89	1,52	87,04
OKSE	82,59	0,55	10,10	1,52	86,86
MS	86,40	1,56	12,96	1,45	83,13
MSE	86,10	1,54	12,71	1,45	83,09

Vzorek	$ \Delta L^* $	$\Delta a^*$	$\Delta b^*$	$C^*$	WI
OS	17,86	1,45	14,14	14,40	76,60
OSE	16,59	1,09	12,78	13,02	78,46
OKS	15,05	0,81	11,68	11,90	80,35
OKSE	16,83	0,74	9,89	10,12	79,86
MS	13,03	1,75	12,75	13,05	81,15
MSE	13,33	1,73	12,50	12,80	81,10

Tab. 23: Naměřené hodnoty polotekutých sm. bez lesku metodou RSEX

Vzorek	$L^*$	$a^*$	$b^*$	$h^*[\text{rad}]$	$h [^\circ]$
KS	84,47	-0,97	5,94	1,41	80,76
Vzorek	$ \Delta L^* $	$\Delta a^*$	$\Delta b^*$	$C^*$	WI
KS	12,93	0,81	5,70	6,01	83,35

Tab. 24: Naměřené hodnoty polotuhých sm. s leskem metodou RSIN

Vzorek	$L^*$	$a^*$	$b^*$	$h^*[\text{rad}]$	$h [^\circ]$
KSE	88,27	-0,85	6,11	1,43	82,08
RSL	80,12	-1,94	4,15	1,13	65,00
Vzorek	$ \Delta L^* $	$\Delta a^*$	$\Delta b^*$	$C^*$	WI
KSE	11,09	-0,66	5,90	6,17	86,74
RSL	19,23	-1,75	3,94	4,58	79,60

Tab. 25: Vypočtené hodnoty  $\Delta E^*$  u tekutých sm. s leskem

<b>1: OS</b>	<b>Vzorek</b>	<b>1 a 2</b>	<b>1 a 3</b>	<b>1 a 4</b>	<b>1 a 5</b>	<b>1 a 6</b>
<b>2: OSE</b>	$\Delta E^*$	1,90	3,79	4,42	5,04	4,83
<b>3: OKS</b>	<b>Vzorek</b>	<b>2 a 3</b>	<b>2 a 4</b>	<b>2 a 5</b>	<b>2 a 6</b>	<b>3 a 4</b>
<b>4: OKSE</b>	$\Delta E^*$	1,91	2,92	3,62	1,91	2,52
<b>5: MS</b>	<b>Vzorek</b>	<b>3 a 5</b>	<b>3 a 6</b>	<b>4 a 5</b>	<b>4 a 6</b>	<b>5 a 6</b>
<b>6: MSE</b>	$\Delta E^*$	2,48	2,12	4,86	4,48	0,39

Tab. 26: Vypočtené hodnoty  $\Delta E^*$  u polotuhých sm s leskem a bez lesku

<b>1: KS</b>	<b>Vzorek</b>	<b>1 a 2</b>	<b>1 a 3</b>	<b>2 a 3</b>
<b>2: KSE</b>	$\Delta E^*$	1,86	6,61	8,45
<b>3: RSL</b>				

Tab. 27: Stupnice pro vyhodnocení rozdílů  $\Delta E^*$ 

<b>Standardní pozorovatel vidí rozdíl v barvě takto</b>	
<b>0 &lt; <math>\Delta E^*</math> &lt; 1</b>	<b>Pozorovatel si nevšimne rozdílu</b>
<b>1 &lt; <math>\Delta E^*</math> &lt; 2</b>	<b>Rozdílu si všimne jenom zkušený posuzovatel</b>
<b>2 &lt; <math>\Delta E^*</math> &lt; 3,5</b>	<b>Rozdílu si všimne i nezkušený pozorovatel</b>
<b>3,5 &lt; <math>\Delta E^*</math> &lt; 5</b>	<b>Je patrný rozdíl v barvě</b>
<b>5 &lt; <math>\Delta E^*</math></b>	<b>Pozorovatel si všimne dvou různých barev</b>

Podle hodnot světlosti  $L^*$  (Tab. 22–24) bylo zjištěno, že ovesné a mandlové smetany měly nižší hodnoty  $L^*$  a byly tedy tmavší v porovnání z ostatními smetanami, které měly hodnoty vyšší. Největší  $L^*$  měla kokosová smetana, která byla téměř bílá.



Z tab. 22 pro tekuté smetany s leskem bylo metodou RSIN zjištěno, že u vzorků se projevil mírně červený odstín, hodnoty  $a^*$  jsou kladné. U všech vzorků smetan se projevil mírně žlutý odstín a hodnoty  $b^*$  jsou kladné.

Z tab. 23 a 24 bylo zjištěno, že se u všech vzorků polotuhých smetan (s leskem i bez lesku) projevil světle žlutý odstín, nižší kladné hodnoty  $b^*$ . Mírně zelený odstín měli záporné hodnoty  $a^*$ .

Z tabulky 22–24 bylo zjištěno, že použité emulgátory (E 471 a lecitin) ovlivnily i sytost barvy a to tak, že ji trochu snížily.

Z tab. 25 u tekutých sm. s leskem bylo zjištěno, že vzorky sm. s emulgátorem měly hodnoty rozdílu barev v rozmezí  $2 < \Delta E^* < 3,5$  u dvojice vzorků (OKS a MSE) a z toho vyplývá, že rozdíly mezi nimi si všimne i zkušený pozorovatel. Dále bylo zjištěno, že u dvojice vzorků (OS a OKS) byla hodnota rozdílu barev v rozmezí  $3,5 < \Delta E^* < 5$ , takže je patrný rozdíl v barvě. A u vzorku OS a MSE si pozorovatel všimne rozdílu barev, protože hodnoty byly v rozmezí  $5 < \Delta E^*$ .

U vzorků sm. bez emulgátoru bylo dále zjištěno, že u jedné dvojice vzorků (OSE a MS) byla hodnota rozdílu barev v rozmezí  $1 < \Delta E^* < 2$ , takže rozdílu si všimne jenom zkušený pozorovatel. Ale u vzorků smetan (OSE a OKSE) bylo zjištěno, že rozdíl barev je v rozmezí  $2 < \Delta E^* < 3,5$ , takže rozdílu si všimne i nezkušený pozorovatel. Nakonec bylo zjištěno, že u vzorku OKSE a MSE byl rozdíl v rozmezí  $3,5 < \Delta E^* < 5$ , takže rozdíl v barvě je nepatrný.

Když byly porovnány barevné rozdíly dvojic vzorků smetan s emulgátorem a bez emulgátoru, tak bylo zjištěno, že u vzorků (MS a MSE) byly hodnoty v rozmezí  $0 < \Delta E^* < 1$ , takže pozorovatel si nevšimne rozdílu barev mezi vzorky. U vzorků smetan (OS a OSE, OKS a OSE) byla hodnota v rozmezí  $1 < \Delta E^* < 2$ , takže rozdílu barev si všimne jen zkušený pozorovatel. U dvojic vzorků smetan (OKS a OKSE, OKS a MSE) byl rozdíl barev v rozmezí  $2 < \Delta E < 3,5$ , takže rozdílu si všimne i nezkušený pozorovatel. Dále bylo zjištěno, že u vzorků smetan (OS a OKSE, OS a MS, OSE a MSE, OKSE a MS) byl rozdíl barev v rozmezí  $3,5 < \Delta E^* < 5$ , takže je patrný rozdíl v barvě.

Z tab. 26 bylo zjištěno, že u polotuhých sm. s leskem a bez lesku u vzorku (KS a KSE) byl rozdíl barev v rozmezí  $1 < \Delta E^* < 2$ , rozdílu barev si všimne jen zkušený pozorovatel. Dále bylo zjištěno, že u vzorků (KS a RSL, KSE a RSL) byly hodnoty v rozmezí  $\Delta E^* > 5$ , takže pozorovatel si všimne dvou rozdílných barev.

Dále byl vypočítán index bělosti (WI) podle rovnice (8). Z tab. 22 u tekutých sm. s leskem bylo zjištěno, že největší index bělosti měli mandlové smetany (MS a MSE) a nejmenší OS. Z tab. 23 a 24 u polotuhých sm. s leskem a bez lesku bylo zjištěno, že největší index bělosti byl u KSE a nejmenší u RSL.

#### 7.4 Výsledky sensorické analýzy potravin

Ze sensorických dotazníků bylo zjištěno, že hodnotitelů bylo celkem 13 (9 žen a 4 muži) a z nich byl jen jeden kuřák a ostatní byly nekuřáci (tab. 28).

Výsledky hodnotitelů ze sensorické analýzy byly přepsány a zpracovány do tabulek a vyhodnoceny.

Tab. 28: Preference hodnotitelů

Preference	Posuzovatel												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
<b>Žena/muž</b>	M	Ž	Ž	Ž	Ž	M	Ž	Ž	M	Ž	Ž	Ž	M
<b>Kouříte</b>	Ne	Ne	Ne	Ne	Ne	Ne	Ne	Ne	Ano	Ne	Ne	Ne	Ne

Tab. 29: Rozdělení vzorků na sensorickou analýzu

Vzorek číslo	Vzorek smetany
1	MSE
2	KSE
3	OKSE
4	RSL
5	OSE

Byla provedena pořadová zkouška u 5 vzorků rostlinných smetan s preferencí nejlepší (1) a nejhorší (5). Ze získaných hodnot z Tab. 30 byl vypočítán Friedmanův test.

Tab. 30: Finální preference jednotlivých vzorků rostlinných smetan

Vzorek	Preference	Posuzovatel													Ti	Ti <sup>2</sup>
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13		
1	Nejlepší 1	1	5	2	4	2	3	1	1	5	2	5	5	1	37	1369
2	↓	3	1	1	1	1	1	3	2	1	1	4	2	2	23	529
3		4	2	3	3	4	4	4	4	2	3	3	3	3	42	1764
4		2	3	5	2	3	5	2	5	4	5	1	1	5	43	1849
5	Nejhorší 5	5	4	4	5	5	2	5	3	3	4	2	4	4	50	2500

$$\sum Ti^2 = 8011$$

Výpočet Friedmanova testu:

$$FR = \frac{12}{n \cdot R(R+1)} * \sum_{i=1}^R Ti^2 - 3 * n * (R + 1)$$

$$FR = \frac{12}{13 \cdot 5 \cdot (5+1)} * 8011 - 3 * 13 * (5 + 1)$$

$$Fr = 12,49$$

$$Q_{1-\alpha}(R, n) = 9,30 \text{ (tabelovaná hodnota)}$$

$$FR > Q_{1-\alpha}(R, n)$$

Na základě výsledku Friedmanova testu bylo zjištěno, že u rostlinných smetan jsou statisticky významné rozdíly na hladině významnosti  $\alpha = 0,05$ . Přijímá se hypotéza  $H_1$  a aplikuje se Nemenyiho metoda vícenásobného párového porovnání.

Tab. 31: Výsledky Nemenyiho metody vícenásobného párového porovnání

Vzorky	1 a 2	1 a 3	1 a 4	1 a 5	2 a 3	2 a 4	2 a 5	3 a 4	3 a 5	4 a 5
Ti – Tj	14	5	6	13	19	20	27	1	8	7
Statisticky významný rozdíl	Ne	Ne	Ne	Ne	Ne	Ne	Ano	Ne	Ne	Ne

$$Q_{1-\alpha} = 22,00 \text{ (tabelovaná hodnota)}$$

Mezi jednotlivými páry smetan jsou statisticky významné rozdíly, jeli  $|T_i - T_j| > Q_{1-\alpha}(R, n)$ . Mezi vzorky 2 (KSE) a 5 (OSE) byl prokázán statisticky významný rozdíl v preferencích hodnotitelů na hladině významnosti  $\alpha$  5 %.

Bylo prokázáno, že vzorek číslo 2 (KSE) je ze sensorického hlediska odlišný oproti ostatním vzorkům smetan, měl vysoké hodnoty  $T_i - T_j$ .

Rostlinné vzorky smetan byly dále hodnoceny podle hédonické stupnice: 1. nepřijatelná, 2. nevyhovující, 3. méně dobrá, 4. dobrá, 5. velmi dobrá, 6. výborná a 7. vynikající. Ze zpracovaných hodnot byl vypočítán index přijatelnosti sensorického atributu AI (%).

Tab. 32: Finální preference jednotlivých vzorků rostlinných smetan

Preference	Konzistence	Vůně	Chuť	Celková přijatelnost
Vzorek	AI [%]	AI [%]	AI [%]	AI [%]
1	54,95	62,64	61,54	62,64
2	64,84	75,82	65,93	67,03
3	65,93	57,14	51,65	52,75
4	57,14	56,04	45,05	49,45
5	43,96	49,45	42,86	43,96

Podle hédonické stupnice byly u vzorků smetan 1–5 hodnoceny následující parametry: konzistence, vůně, chuť a celková přijatelnost. Ze získaných hodnot byl vypočítán index přijatelnosti sensorického atributu AI v % (tab. 32). A bylo prokázáno, že vzorek 2 (KSE) měl nejvíce AI, a to v případě preference vůně 75,82%. V dalších preferencích konzistence, chuti a celkové přijatelnosti byly hodnoty AI v rozmezí 64–67 %. Dále byl podle konzistence přijatelně hodnocen na základě AI = 65,93 % vzorek smetany 3 (OKSE).

Na základě pořadové zkoušky i preferencí podle hédonické soustavy vychází jako nejlépe hodnocený vzorek smetany číslo 2 (KSE).

## 7.5 Výsledky stability emulzí

U vzorků smetan byla hodnocena stabilita emulzí na základě fázového rozhraní vytvořeného procesem centrifugace. Olejová fáze se separovala od další struktury v závislosti na složení a konzistenci smetan. K vyhodnocení míry fázové separace, která byla u smetan pozorována, byl vypočítán index stability podle rovnice 13. Hodnoty indexu stanovené pro jednotlivé smetany jsou uvedeny v tab. 33.

Tab. 33: Hodnoty indexu stability IS vzorků smetan zjištěné po centrifugaci

Vzorek	SI [%]
<b>OKS</b>	65,0
<b>OKSE</b>	58,3
<b>OS</b>	83,3
<b>OSE</b>	86,7
<b>MS</b>	90,0
<b>MSE</b>	50,0
<b>RSL</b>	85,0
<b>KS</b>	98
<b>KSE</b>	50

### Shrnutí stability emulzí po centrifugaci:

Nejvyšší stabilitu vykazovaly vzorky KS a MS bez emulgátoru. Obecně vzorky s emulgátorem snižovaly hodnoty SI, kromě vzorku OSE, kde došlo k mírnému zvýšení stability emulze.

To by mohlo být vysvětleno přítomností částic ovesných vloček, ale i vyšším podílem olejové fáze k vodné fázi ( $o/v = 0,32$ ). Nejvíce patrný pokles indexu stability byl po přidavku lipofilního emulgátoru zaznamenán u vzorků mandlové smetany (MSE) a kokosové smetany (KSE). Toto chování by mohlo souviset i se snížením viskoelasticity daných smetan po přidavku emulgátoru, jak bylo prokázáno reologickými měřeními (kapitola 7.2), a tedy se ztekucením jejich struktury. V případě mandlové smetany může hrát velkou roli také nepřítomnost zahušťovadla (rýžové mouky hladké), vedoucí k vyšší míře fázové separace.

Rýžová smetana s lecitinem (RSL) vykazovala poměrně vysokou míru emulzní stability (IS = 85 %).

Vliv emulgátoru na stabilitu emulzí je závislý na složení vstupních surovin, receptuře a reologických vlastnostech rostlinných smetan. V případě smetan z ovesných vloček bylo prokázáno, že použitý emulgátor je schopen mírně zvýšit stabilitu smetan dotyčného složení (asi proto, že obsahuje více olejové fáze).

## ZÁVĚR

Tato práce se zaměřila na výrobu rostlinných smetan (kokosová, mandlová, ovesná, ovesno-kokosová a rýžová). Celkem se vyrobilo 9 vzorků smetan, z nichž 4 byly bez emulgátorů (MS, OS, OKS a KS), 4 s emulgátorem E 471 (MSE, KSE, OKSE a OSE) a 1 vzorek s emulgátorem lecitin (RSL).

U všech vzorků byly změřeny reologické vlastnosti na reometru Kinexus pomocí geometrie deska-deska a válec-válec. Viskoelastické vlastnosti byly měřeny pomocí oscilační frekvenční metody (frequency sweep) při konstantní teplotě 25 °C, deformaci 0,1 % a rozsahu frekvence 0,1 – 20 Hz, tj. v oblasti lineární viskoelastivity vzorků.

Z oscilačních měření vyplývá, že se zvyšující se frekvencí za konstantní deformace 0,1 % dochází ke zvýšení viskoelastických modulů  $G'$  a  $G''$  u všech připravených vzorků rostlinných smetan. Na základě oscilačních měření bylo zjištěno, že viskózní modul ( $G''$ ) převládá nad elastickým modulem ( $G'$ ) jen u dvou vzorků smetan bez emulgátoru, a to u OKS a OS ( $\tan \delta > 1$ ). Tuto skutečnost můžeme vztáhnout ke složení vstupních surovin, a to k relativně vysokému obsahu tuku a bílkovin ve vločkách ovsa a k receptuře smetany. Důležitou roli může hrát také vyšší obsah guarové gumy (0,5 % hm.), jež váže vodu a zjemňuje strukturu smetany, tj. zvyšuje její viskózní charakter. Přídavek emulgátoru se projeví vázáním emulgátoru s tukovou (olejovou) složkou smetany a zvýšením viskoelastivity smetan (OKSE, OSE s  $\tan \delta < 1$ ).

U ostatních typů smetan převládá viskoelastický charakter smetan ( $G' > G''$ ). U vzorků s emulgátorem lze v porovnání se vzorky bez emulgátoru pozorovat snížení viskoelastických modulů. To by mohlo souviset s recepturou daných smetan, s poměrem oleje/vody, množstvím zahušřovadla a dalšími parametry. Přídavek emulgátoru tedy redukuje viskoelastické vlastnosti smetan. Vzorky kokosové smetany (KS a KSE) vykazují nejvíce viskoelastické chování ze všech zkoumaných smetan, což může být vztaženo k přítomnosti bílkovin a fosfolipidů ve strouhaném kokosu, zvyšujícím stabilitu emulzí, a také k vyššímu obsahu rýžové mouky, tj. zahušřovadla (50 % hm.) v porovnání k ostatním smetanám.

Z grafické závislosti dynamické viskozity na smykové rychlosti vyplývá, že všechny vzorky vykazují pseudoplastické chování, tzn., že se zvyšující se smykovou rychlostí se viskozita snižuje. Přídavek emulgátoru způsobuje pokles viskozity rostlinných smetan.

Barevnost vzorků smetan byla měřena na přístroji HunterLab. Bylo zjištěno, že přídavek emulgátoru ovlivňuje výsledné hodnoty tak, že se všechny vzorky dají pospat jako bílé až

světle žluté barvy se slabým zeleným nádechem nebo světle červeným nádechem u mandlových i ovesných smetan.

U senzorické analýzy potravin byla u vzorků rostlinných smetan s emulgátorem (KSE, MSE, OKSE, OSE a RSL) provedena pořadová zkouška, kde se na základě výsledku Friedmanova testu zjistilo, že vzorky vykazují statisticky významné rozdíly na hladině významnosti  $\alpha = 0,05$ . Proto byla přijata hypotéza  $H_1$ , předpokládající, že rozdíly v naměřených hodnotách nejsou náhodné a byla aplikována metoda Nemenyioho vícenásobného porovnání. U této metody byl prokázán statisticky významný rozdíl v preferencích hodnotitelů, a to na hladině významnosti  $\alpha = 5 \%$  mezi vzorky KSE a OSE. Bylo tedy prokázáno, že vzorek kokosové smetany (KSE) je ze senzorického hlediska odlišný oproti ostatním vzorkům. Podle hédonické stupnice byly u vzorku smetan hodnoceny parametry, jako je vůně, chuť, celková přijatelnost a konzistence. Z vypočtených hodnot indexu přijatelnosti senzorického atributu (AI) bylo prokázáno, že vzorek KSE byl ze senzorického hlediska hodnotiteli nejvíce preferovaný.

Stabilita smetan a jejich odolnost vůči fázové separaci byla pozorována s využitím procesu centrifugace. Na základě výpočtu indexu stability bylo zjištěno, že přidavek lipofilního emulgátoru E 471 nezvýšil emulzní stabilitu většiny smetan. Výjimku představovala ovesná smetana (OSE), u níž došlo po přidavku emulgátoru k mírnému nárůstu stability. Hlavní roli zde patrně hrála přítomnost ovesných vloček a vyšší podíl olejové fáze, které usnadňovaly emulgaci smetany.

Na základě měření reologických vlastností, barevnosti a stability vzorků smetan můžeme konstatovat, že nejlépe hodnoceným vzorkem je z hlediska uvedených parametrů kokosová smetana bez emulgátoru (KS).



**SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY**

- ALI, A., H., WEI, W., WANG, X. Characterisation of bovine and buffalo anhydrous milk fat fractions along with infant formulas fat: Application of differential scanning calorimetry, Fourier transform infrared spectroscopy, and colour attributes. *Lwt* [online]. 2020, vol. 129, s. 109542. ISSN 0023-6438. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0023643820305314>.
- ANDRE, V., WILLENBACHER, N., DEBUS, H., BORGER, L., FERNANDEZ, P., FRECHEN, T. AND RIEGER, J. (2003) Prediction of Emulsion Stability: Facts and Myth. *Cosmetics and Toiletries Manufacture Worldwide*, 102-109. Dostupné z: <https://www.mvm.kit.edu/download/AME-No-Wi-reviewed-21.pdf>.
- ANONYM, Barevné prostory LAB. [On-Line], 2023. Dostupné z: <https://kopina.cz/terminologie/36958/lab/>.
- DA SILVA FARESIN, L., et al. Development of ice cream with reduction of sugar and fat by the addition of inulin, Spirulina platensis or phycocyanin. *International Journal of Gastronomy and Food Science* [online]. 2022, Vol. 27, S. 100445. ISSN 1878-450X. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.ijgfs.2021.100445>.
- EISINAITE, V., LESKAUSKAITE, D., PUKALSKIENE, M., VENSKUTOINS, P. R. (2020), Freeze-drying of black chokeberry pomace extract-loaded double emulsions to obtain dispersible powders. *Journal of Food Science*, Vol. 85: S. 628-638. Dostupné z: <https://doi.org/10.1111/1750-3841.14995>.
- FURTADO, G. F. et al. Breaking oil-in-water emulsions stabilized by yeast. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces* [online]. 2015, vol. 128, s. 568-576. ISSN 0927-7765. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.colsurfb.2015.03.010>.
- HU, Wei-Shou. (2018). Inženýrské principy v biotechnologii - 13.4.2 Centrifugace. John Wiley & Sons. Dostupné z: <https://app.knovel.com/hotlink/pdf/id:kt011N77D4/engineering-principles/centrifugation>
- CHUDY, S. a GIERAŁTOWSKA, U. 2020. Influence of the Background Color on the Cheese Color Parameters. *International Journal of Dairy Science*, Vol.15: S. 108-113. Dostupné z: DOI: 10.3923/ijds.2020.108.113.

- KŘÍŽ, O., BUŇKA, F., HRABĚ, J. *Senzorická analýza potravin II. Statistické metody. 1. vyd. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 2007, 127 s. ISBN 978-80-7318-494-0.*
- MEZGER, T. G. *The Rheology handbook: For users for rotational oscillatory rheometers. 5<sup>th</sup> 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=PA16&ots=hA\\_TN8IwU0&sig=a0\\_5ClfQSlDU3EHjCevtbbPR1wQ&redir\\_esc=y#v=onepage&q&f=false](https://books.google.cz/books?hl=cs&lr=&id=Xxv5DwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA16&ots=hA_TN8IwU0&sig=a0_5ClfQSlDU3EHjCevtbbPR1wQ&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false)
- NIKZADE, V. et al. *Optimization of low-cholesterol–low-fat mayonnaise formulation: Effect of using soy milk and some stabilizer by a mixture design approach.* Food Hydrocolloids [online]. 2012, vol. 28(2), s. 344-352 [cit. 2023-04-18]. ISSN 0268005X. Dostupné z: doi: 10.1016/j.foodhyd.2011.12.023.
- SCHUCH, A., SCHUCHMANN, H., GAUKEL, V. (2015). Rheology of Emulsions. In: Drioli, E., Giorno, L. (eds) Encyclopedia of Membranes. Springer, Berlin, Heidelberg. Dostupné z: [https://doi.org/10.1007/978-3-642-40872-4\\_1884-1](https://doi.org/10.1007/978-3-642-40872-4_1884-1).
- Směrnice Evropského parlamentu a Rady 95/2/ES ze dne 20. února 1995 O potravinářských přídatných látkách jiných než barviva a náhradní sladidla a část 2 Potravinářské přídatné látky povolené v pokračovací výživě zdravých kojenců. Úřední věstník, L 61, 18.3.1995, s. 1-64. Dostupné z: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/PDF/?uri=CELEX:01995L0002-20060815&from=DA>.
- STEPHENSON, F. H. *Calculations for molecular biology and biotechnology (third edition)*[online]. Frank H. STEPHENSON. Boston: Academic Press. 2016. Chapter 12 - Centrifugation. S. 431-438. ISBN 9780128022115. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-802211-5.00012-6>.
- TATAR, B. C. et al. Chapter 21 - Emulsion rheology. In: AHMED, Jasim a Santanu BASU. *Advances in Food Rheology and Its Applications. 2th Edition.* Turkey: Woodhead Publishing, 2022, s. 637-659. ISBN 9780128239834. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-823983-4.00014-5>.
- THOMAREIS, A. S., DIMITRELI, G., *Chapter 12 - Techniques used for processed cheese characterization*, Editor(s): Mamdouh El-Bakry, Bhavbhuti M. Mehta, Processed Cheese Science and Technology, Woodhead Publishing, 2022, s. 295-349, ISBN 9780128214459, <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-821445-9.00007-8>

- VINCOVÁ, A., et al. The Impact of Divergent Algal Hydrocolloids Addition on the Physicochemical, Viscoelastic, Textural, and Organoleptic Properties of Cream Cheese Products. *Foods* [online]. 2023, 12(8) [cit. 2023-04-18]. ISSN 2304-8158. Dostupné z: doi:10.3390/foods12081602
- WHITE, S. (2023). *Nutrition and Plant Growth Regulator Rates for High Quality Growth of Containerized Spiderwort (Tradescantia virginiana L.)*. Dostupné z: [https://www.researchgate.net/publication/251433137\\_Nutrition\\_and\\_Plant\\_Growth\\_Regulator\\_Rates\\_for\\_High\\_Quality\\_Growth\\_of\\_Containerized\\_Spiderwort\\_Tradescantia\\_virginiana\\_L](https://www.researchgate.net/publication/251433137_Nutrition_and_Plant_Growth_Regulator_Rates_for_High_Quality_Growth_of_Containerized_Spiderwort_Tradescantia_virginiana_L).
- ZMEŠKAL, O., ČEPPAN, M. a DZIK, P. *Barevné prostory a správa barev*. 2002. Dostupné z: <https://docplayer.cz/16462229-Barevne-prostory-a-sprava-barev.html>
- LAPČÍKOVÁ, B. & VALENTA, T. & LAPČÍK, L. (2017). Rheological properties of food hydrocolloids based on polysaccharides. *Journal of Polymer Materials*. Vol 34. No 3. S 621-635.
- KELESSIDIS, V. C. et al. Optimal determination of rheological parameters for Herschel–Bulkley drilling fluids and impact on pressure drop, velocity profiles and penetration rates during drilling. *Journal of Petroleum Science and Engineering* [online]. 2006, vol. 53, no. 3, s. 203-224. ISSN 0920-4105. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0920410506001136>.
- BARTOVSKÁ, L., ŠIŠKOVÁ, M.: *Fyzikální chemie povrchů a koloidních soustav* [online]. Version 1.0. Praha: VŠCHT Praha, 2005 [cit. 2023-05-01]. S. 172–176. Dostupné z: [http://vydavatelstvi.vscht.cz/knihy/uid\\_isbn-80-7080-579-X/pages-img/172.html](http://vydavatelstvi.vscht.cz/knihy/uid_isbn-80-7080-579-X/pages-img/172.html). ISBN 80-7080-579-X.
- LIU, Z. et al. *Synergistic influence of protein particles and low-molecular-weight emulsifiers on the stability of a milk fat-based whippable oil-in-water emulsion*. *Food Hydrocolloids* [online]. 2022, vol. 127, s. 107520. ISSN 0268-005X. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0268005X22000406>.
- LI, M. et al. Effects of triglycerol monostearate on physical properties of recombined dairy cream. *International Dairy Journal* [online]. 2020, vol. 103, s. 104622. ISSN 0958-6946. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0958694619302596>.

- LI, Y. et al. The effect of caseins on the stability and whipping properties of recombined dairy creams. *International Dairy Journal* [online]. 2020, vol. 105, s. 104658. ISSN 0958-6946. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0958694620300285>.
- TIAN, Y. et al. The Formation, Stabilization and Separation of Oil–Water Emulsions: A Review. *Processes* [online]. 2022, vol 10, s. 738. <https://doi.org/10.3390/pr10040738>
- GEREMIAS-ANDRADE et al. Rheology of Emulsion-Filled Gels Applied to the Development of Food Materials. *Gels*. [online]. 2016; 2(3):22. <https://doi.org/10.3390/gels2030022>.
- MAGHAZECHI, A. et al. Rheological characterization of coconut cream emulsion using steady-state shear and time-dependent modeling. *Journal of Food Engineering* [online]. 2021, vol. 306, s. 110642. ISSN 0260-8774. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0260877421001679>.
- BOUYER, E. et al. Proteins, polysaccharides, and their complexes used as stabilizers for emulsions: Alternatives to synthetic surfactants in the pharmaceutical field. *International Journal of Pharmaceutics* [online]. 2012, vol. 436, no. 1, s. 359-378. ISSN 0378-5173. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378517312006503>.
- ZHU, Q. et al. Review on the Stability Mechanism and Application of Water-in-Oil Emulsions Encapsulating Various Additives. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety* [online]. 2019, vol. 18, no. 6, s. 1660-1675. ISSN 1541-4337. Dostupné z: <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12482>.
- McCLEMENTS, D. J. *Food Emulsions: Principles, Practices, and Techniques, Third Edition*. CRC Press, (2015). ISBN 9781498726696. dostupné z: [https://books.google.cz/books?id=YOGYCgAAQBAJ&pg=PA348&lpg=PA348&dq=David+Julian+McClements+Food+Emulsions:+Principles,+Practices,+and+Techniques+online+free&source=bl&ots=drJWKU\\_0vn&sig=ACfU3U3B9baM\\_Rx8g7GBRE4lxrZJKltnJw&hl=cs&sa=X&ved=2ahUKEwiIytHpgcz-AhUVQaQEHTpQDRk4PBDoAXoECAyQAw#v=onepage&q=David%20Julian%20McClements%20Food%20Emulsions%3A%20Principles%2C%20Practices%2C%20and%20Techniques%20online%20free&f=false](https://books.google.cz/books?id=YOGYCgAAQBAJ&pg=PA348&lpg=PA348&dq=David+Julian+McClements+Food+Emulsions:+Principles,+Practices,+and+Techniques+online+free&source=bl&ots=drJWKU_0vn&sig=ACfU3U3B9baM_Rx8g7GBRE4lxrZJKltnJw&hl=cs&sa=X&ved=2ahUKEwiIytHpgcz-AhUVQaQEHTpQDRk4PBDoAXoECAyQAw#v=onepage&q=David%20Julian%20McClements%20Food%20Emulsions%3A%20Principles%2C%20Practices%2C%20and%20Techniques%20online%20free&f=false).

- PHILLIPS, G. O. a WILLIAMS, P. A. Gums and Stabilisers for Food Industry 12, Royal Society of Chemistry. (2009). s. 610. ISBN: 9781847551214. Dostupné z: [https://www.google.cz/books/edition/Gums\\_and\\_Stabilisers\\_for\\_the\\_Food\\_Industry3UoDwAAQBAJ?hl=cs&gbpv=0&kptab=overview](https://www.google.cz/books/edition/Gums_and_Stabilisers_for_the_Food_Industry3UoDwAAQBAJ?hl=cs&gbpv=0&kptab=overview).
- TAVERNIER, I. et al. Food-grade particles for emulsion stabilization. *Trends in Food Science & Technology* [online]. 2016, vol. 50, s. 159-174. ISSN 0924-2244. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0924224415300261>.
- TIRGARIAN, B. et al. Reduced-fat chocolate spreads developed by water-in-oleogel emulsions. *Journal of Food Engineering* [online]. 2023, vol. 337, s. 111233. ISSN 0260-8774. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com.proxy.k.utb.cz/science/article/pii/S0260877422002874>.
- TOLVE, R. et al. Physico-chemical and sensory acceptability of no added sugar chocolate spreads fortified with multiple micronutrients. *Food Chemistry* [online]. 2021, vol. 364, s. 130386. ISSN 0308-8146. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0308814621013923>.
- SILVA, T. J. et al. Oleogel-based emulsions: Concepts, structuring agents, and applications in food. *Journal of Food Science* [online]. 2021, vol. 86, no. 7, s. 2785-2801. ISSN 0022-1117. Dostupné z: <https://doi.org/10.1111/1750-3841.15788>.
- MÁRQUEZ, A.L. a WAGNER, J.R. Rheology of Cream-like Emulsions Prepared with Soybean Milk and Low Trans Vegetable Fat. *J Am Oil Chem Soc* [online]. 2012, vol. 89, s. 1857–1865. <https://doi.org/10.1007/s11746-012-2093-z>.
- Sanchez-Salvador, J. et al. Pickering Emulsions Containing Cellulose Microfibers Produced by Mechanical Treatments as Stabilizer in the Food Industry. *Applied Sciences* [online]. 2019. vol 9. s 359. <https://doi.org/10.3390/app9020359>.
- JIMÉNEZ-COLMENERO, F. Potential applications of multiple emulsions in the development of healthy and functional foods. *Food Research International* [online]. 2013, vol. 52, no. 1, s. 64-74. ISSN 0963-9969. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0963996913001452>.

- DANIELS, R. a KNIE, U. Galenics of dermal products – vehicles, properties and drug release. *JDDG: Journal Der Deutschen Dermatologischen Gesellschaft* [online]. 2007, vol. 5, no. 5, s. 367-383. ISSN 1610-0379. Dostupné z: <https://doi.org/10.1111/j.1610-0387.2007.06321.x>.
- SAHIN, S., et al. High throughput production of double emulsions using packed bed premix emulsification. *Food Research International* [online]. 2014, vol. 66, s. 78-85. ISSN 0963-9969. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0963996914005638>.
- KAADE, W. et al. Low-energy high-throughput emulsification with nickel micro-sieves for essential oils encapsulation. *Journal of Food Engineering* [online]. 2019, vol. 263, s. 326-336. ISSN 0260-8774. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S026087741930291>.
- PU, X. et al. Generation of magnesium enriched water-in-oil-in-water food emulsions by stirred cell membrane emulsification. *Journal of Food Engineering* [online]. 2019, vol. 247, s. 178-187. ISSN 0260-8774. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0260877418305041>.
- EISINAITE, V. et al. Preparation of stable food-grade double emulsions with a hybrid premix membrane emulsification system. *Food Chemistry* [online]. 2016, vol. 206, s. 59-66. ISSN 0308-8146. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0308814616303995>.
- KUMAR, Ankit et al. New insights into water-in-oil-in-water (W/O/W) double emulsions: Properties, fabrication, instability mechanism, and food applications. *Trends in Food Science & Technology* [online]. 2022, vol. 128, s. 22-37. ISSN 0924-2244. Dostupné z: <https://www-sciencedirect-com.proxy.k.utb.cz/science/article/pii/S0924224422003399>.
- Tan, Ch. a McClements, D. J. Application of Advanced Emulsion Technology in the Food Industry: A Review and Critical Evaluation. *Foods* [online] 2021. vol. 10 (4). s. 812. PMID: PMC8068840. PMID: 33918596. [doi:10.3390/foods10040812](https://doi.org/10.3390/foods10040812).
- CHUNG, Ch. a MCCLEMENTS, D. J. Structure–function relationships in food emulsions: Improving food quality and sensory perception. *Food Structure* [online]. 2014, vol. 1, no. 2, s. 106-126. ISSN 2213-3291. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2213329113000087>.

- Li, X. et al. Stabilization of Pickering emulsions with cellulose nanofibers derived from oil palm fruit bunch. *Cellulose* [online]. 2020. vol. 27, s. 839–851. <https://doi.org/10.1007/s10570-019-02803-4>.
- OZEL, B. a OZTOP, M. H. *Advances in food rheology and its applications (second edition)* [online]. Jasim AHMED a Santanu BASU. Woodhead Publishing., 2023. Chapter 22 - Rheology of food hydrogels, and organogels. S. 661-688. ISBN 9780128239834. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780128239834000182ID:782943>.
- EUSTON, S. R. Food microstructures [online]. V. J. MORRIS a K. GROVES. Woodhead Publishing. 2013. *Kapitola 14 - Modelling and computer simulation of food structures*. S. 336-385. ISBN 9780857095251. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780857095251500142ID:306788>.
- BOUYER, E. et al. Proteins, polysaccharides, and their complexes used as stabilizers for emulsions: Alternatives to synthetic surfactants in the pharmaceutical field. *International Journal of Pharmaceutics* [online]. 2012, vol. 436, no. 1, s. 359-378. ISSN 0378-5173. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378517312006503>.
- KHOR, Y. P. et al. Stability Assessment of Virgin Coconut Oil-Based Emulsion Products. *Journal of the American Oil Chemists' Society* [online]. 2018, vol. 95, no. 10, s. 1329-1339. ISSN 0003-021X. Dostupné z: <https://doi.org/10.1002/aocs.12109>.
- NORN, V. *Emulsifiers in food technology (2nd edition)*. 2015. [online]. John Wiley & Sons. ISBN 9780-470670637. Dostupné z: <https://app.knovel.com/hotlink/toc/id:kpEFTE0005/emulsifiers-in-food-technology/emulsifiers-in-food-technology>.
- REN, Z. et al. Oil-in-water emulsions prepared using high-pressure homogenisation with Dioscorea opposita mucilage and food-grade polysaccharides: guar gum, xanthan gum, and pectin. *Lwt* [online]. 2022, vol. 162, s. 113468. ISSN 0023-6438. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com.proxy.k.utb.cz/science/article/pii/S0023643822004030>.

- CUI, J. et al. Pectins from fruits: Relationships between extraction methods, structural characteristics, and functional properties. *Trends in Food Science & Technology* [online]. 2021, vol. 110, s. 39-54. ISSN 0924-2244. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0924224421000856>.
- NYUYDZE, C. a MARTÍNEZ-MONTEAGUDO, S I. Role of soy lecithin on emulsion stability of dairy beverages treated by ultrasound. *International Journal of Dairy Technology* [online]. 2021, vol. 74, no. 1, s. 84-94. ISSN 1364-727X. Dostupné z: <https://doi.org/10.1111/1471-0307.12731>.
- VELÍŠEK, J. *Chemie potravin 1. Vyd. 2. uprav.* Tábor: OSSIS, 2002, 331 s. ISBN 8086659003.
- QUINZIO, C. et al. Stability and rheology properties of oil-in-water emulsions prepared with mucilage extracted from *Opuntia ficus-indica* (L). Miller. *Food Hydrocolloids* [online]. 2018, vol. 84, s. 154-165. ISSN 0268-005X. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0268005X17316892>.
- MURRAY, J. C. F. *Handbook of hydrocolloids (second edition)* [online]. G. O. PHILLIPS a P. A. WILLIAMS. Woodhead Publishing. 2009. *Chapeter 25 - Cellulosics*. s. 710-723. ISBN 9781845694142. Dostupné z: <https://www-sciencedirect-com.proxy.k.utb.cz/science/article/pii/B9781845694142500254ID: 307178>.
- NORN, V. *Emulsifiers in food technology (2nd edition)* [online]. 2015. John Wiley & Sons. References. ISBN 978-0-470-67063-7. Dostupné z: <https://app.knovel.com/hotlink/pdf/id:kt011BMTO1/emulsifiers-in-food-technology/mono-digly-references>.
- RAVERA, F. et al. Emulsification and emulsion stability: The role of the interfacial properties. *Advances in Colloid and Interface Science* [online]. 2021, vol. 288, s. 102344. ISSN 0001-8686. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0001868620306138>.
- MCCLEMENTS, D. J. a GUMUS, C. E. Natural emulsifiers – Biosurfactants, phospholipids, biopolymers, and colloidal particles: Molecular and physicochemical basis of functional performance. *Advances in Colloid and Interface Science* [online]. 2016, vol. 234, s. 3-26. ISSN 0001-8686. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0001868616300380>.



- WILLIAMS, P. A. a PHILLIPS, G. O. (2014) *Gums and stabilisers for the food industry 17 - the changing face of food manufacture – the role of hydrocolloids* [online]. Royal Society of Chemistry (RSC). *Chapter 3.4.1 Stabilisation of Emulsions by the Use of Gelatin*. ISBN 978-1-84973-883-5. Dostupné z: <https://app.knovel.com/hotlink/pdf/id:kt00UM2EG4/gums-stabilisers-food/stabilisation-emulsions>.
- CHARCOSSET, C. Preparation of emulsions and particles by membrane emulsification for the food processing industry. *Journal of Food Engineering* [online]. 2009, vol. 92, no. 3, s. 241-249. ISSN 0260-8774. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0260877408005700>.
- HAUG, I. J. a DRAGET, K. I. *Handbook of hydrocolloids (second edition)* [online]. G. O. PHILLIPS a P. A. WILLIAMS. Woodhead Publishing, 2009. *Chapter 6 - Gelatin* 142-163 s. ISBN 9781845694142. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com.proxy.k.utb.cz/science/article/pii/B9781845694142500060ID:307178>.
- McCLEMENTS, D. J. *Food Emulsions: Principles, practices, and techniques (third edition)*. 2015. CRP Press, New York. ISBN: 13:978-1-4987-2669-6. Dostupné z: [https://www.academia.edu/26245657/Food\\_emulsions\\_principles\\_practices\\_and\\_techniques\\_pdf](https://www.academia.edu/26245657/Food_emulsions_principles_practices_and_techniques_pdf).
- MCCLEMENTS, David Julian. Protein-stabilized emulsions. *Current opinion in colloid & interface science*, 2004, 9.5: 305-313.
- TANGSUPHOOM, N.; COUPLAND, John Neil. Effect of pH and ionic strength on the physicochemical properties of coconut milk emulsions. *Journal of food science*, 2008, 73.6: E274-E280.
- TANGSUPHOOM, Nattapol; COUPLAND, John N. Effect of surface-active stabilizers on the microstructure and stability of coconut milk emulsions. *Food Hydrocolloids*, 2008, 22.7: 1233-1242.
- SILVA, Kamilla, et al. Rheological behavior of plant-based beverages. *Food Science and Technology*, 2019, 40: 258-263.
- VITALI, A. A.; SOLER, M. P.; RAO, M. A. Rheological behavior of coconut milk. *J. Food Eng. Proc. App*, 1985, 1: 33-38.

**SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK**

$G'$	Elastický modul pružnosti
$G''$	Viskózní modul pružnosti
RPM	otáčky za minutu
$\gamma$ .	Smyková rychlost
$\tau$	tečné napětí
$\eta$	Viskozita
O/V	Voda v oleji
V/O	Olej ve vodě
RDC	Rekombinovaná mléčná smetana
GG	Guarová guma
XG	Xantanová guma
AG	Arabská guma
CMC	Karboxymethylcelulóza
HPMC	Hydroxypropylmethylcelulóza
WPI	Syrovátkový proteinový izolát
SPI	Sójová proteinový izolát
PP	Hrachový protein
PPI	Hrachový proteinový izolát
PAL	Povrchově aktivní látka
GMO	Geneticky modifikovaná látka
Tzn.	To znamená
MM	methylenová modř

**SEZNAM OBRÁZKŮ**

<i>Obr. 1: Schématický nákres různých typů emulzí .....</i>	<i>13</i>
<i>Obr. 2: Konvenční emulze V/O, oleogely a strukturované emulze V/O pro použití jako náhražky tuků v potravinách. Černé kroužky představují emulgátor na povrchu vodní kapky; „stopy“ v dispergované fázi odkazují na jejich strukturování .....</i>	<i>16</i>
<i>obr. 3 Chování Pickeringových částic na rozhraní voda-olej, určeného smáčivostí pevných částic .....</i>	<i>19</i>
<i>Obr. 4: Zředěné emulze.....</i>	<i>20</i>
<i>Obr. 5: Monodisperzní a polydisperzní emulze .....</i>	<i>20</i>
<i>Obr. 6: Vysoce koncentrované emulze.....</i>	<i>20</i>
<i>Obr. 7: Schématické znázornění mechanismu nestability systému.....</i>	<i>31</i>
<i>Obr. 8: Přítomná forma pektinu v buněčné struktuře ovoce.....</i>	<i>35</i>
<i>Obr. 9: Thermomix TM6, Vorwerk v procesu mixování.....</i>	<i>42</i>
<i>Obr. 10: Rýžová smetana 9.2.....</i>	<i>43</i>
<i>Obr. 11: Cezení mandlového mléka přes platýnko.....</i>	<i>44</i>
<i>Obr. 12: Mandle s vodou v mixéru Philips .....</i>	<i>44</i>
<i>Obr. 13: Mandlová sm. 17.2.....</i>	<i>45</i>
<i>Obr. 14: Ovesná smetana.....</i>	<i>46</i>
<i>Obr. 15: Kokosová smetana .....</i>	<i>47</i>
<i>Obr. 16: Scezený kokos .....</i>	<i>47</i>
<i>Obr. 17: Ovesno-kokosová sm. 8.2 .....</i>	<i>49</i>
<i>Obr. 18: Reometr Kinexus .....</i>	<i>52</i>
<i>Obr. 19: Reometr Kinexus: nalevo geometrie deska-deska a vpravo geometrie válec-válec .....</i>	<i>52</i>
<i>Obr. 20: CIE-LAB sekvence odstínu a orientace odstínu úhlů (White, 2023) .....</i>	<i>53</i>
<i>Obr. 21: Grafické znázornění CIELAB modelu .....</i>	<i>54</i>
<i>Obr. 22: Přístroj HunterLab UltraScan VIS .....</i>	<i>55</i>

<i>Obr. 23: Vzorek smetany v kyvetě .....</i>	<i>56</i>
<i>Obr. 24: Měření tuhé smetany na přístroji Hunterlab.....</i>	<i>57</i>
<i>Obr. 25: Připravená buňka pro sensorickou analýzu .....</i>	<i>58</i>
<i>Obr. 26: Vzorky smetan před centrifugací v centrifugačním přístroji Eba 21.....</i>	<i>59</i>
<i>Obr. 27: Vzorky smetan (mandlová, rýžová, ovesno-kokosová, ovesná a kokosová) .....</i>	<i>60</i>
<i>Obr. 28: Závislost elastického modulu pružnosti <math>G'</math> a viskózního modulu <math>G''</math> na frekvenci pro vzorek OKS .....</i>	<i>62</i>
<i>Obr. 29: Závislost elastického modulu pružnosti <math>G'</math> a viskózního modulu <math>G''</math> na frekvenci pro vzorek OKSE .....</i>	<i>63</i>
<i>Obr. 30: Závislost elastického modulu pružnosti <math>G'</math> a viskózního modulu <math>G''</math> na frekvenci pro vzorek MS.....</i>	<i>64</i>
<i>Obr. 31: Závislost elastického modulu pružnosti <math>G'</math> a viskózního modulu <math>G''</math> na frekvenci pro vzorek MSE .....</i>	<i>65</i>
<i>Obr. 32: Závislost elastického modulu pružnosti <math>G'</math> a viskózního modulu <math>G''</math> na frekvenci pro vzorek RSL .....</i>	<i>66</i>
<i>Obr. 33: Závislost elastického modulu pružnosti <math>G'</math> a viskózního modulu <math>G''</math> na frekvenci pro vzorek OS .....</i>	<i>67</i>
<i>Obr. 34: Závislost elastického modulu pružnosti <math>G'</math> a viskózního modulu <math>G''</math> na frekvenci pro vzorek OSE .....</i>	<i>68</i>
<i>Obr. 35: Závislost elastického modulu pružnosti <math>G'</math> a viskózního modulu <math>G''</math> na frekvenci pro vzorek KS .....</i>	<i>69</i>
<i>Obr. 36: Závislost elastického modulu pružnosti <math>G'</math> a viskózního modulu <math>G''</math> na frekvenci pro vzorek KSE .....</i>	<i>70</i>
<i>Obr. 37: Závislost elastického modulu pružnosti <math>G'</math> a viskózního modulu <math>G''</math> na frekvenci pro vzorky kokosové smetany .....</i>	<i>71</i>
<i>Obr. 38: Závislost elastického modulu pružnosti <math>G'</math> a viskózního modulu <math>G''</math> na frekvenci pro vzorky mandlové smetany.....</i>	<i>71</i>
<i>Obr. 39: Závislost elastického modulu pružnosti <math>G'</math> a viskózního modulu <math>G''</math> na frekvenci pro vzorky ovesno-kokosové smetany .....</i>	<i>72</i>

<i>Obr. 40: Závislost elastického modulu pružnosti <math>G'</math> a viskózního modulu <math>G''</math> na frekvenci pro vzorky ovesné smetany .....</i>	<i>72</i>
<i>Obr. 41 Závislost elastického modulu pružnosti <math>G'</math> na frekvenci vzorků rostlinných smetan s emulgátorem .....</i>	<i>73</i>
<i>Obr. 42: Závislost viskózního modulu pružnosti <math>G''</math> na frekvenci vzorků rostlinných smetan s emulgátorem .....</i>	<i>73</i>
<i>Obr. 43: Závislost elastického modulu pružnosti <math>G'</math> na frekvenci vzorků rostlinných smetan s emulgátorem .....</i>	<i>74</i>
<i>Obr. 44: Závislost viskózního modulu pružnosti <math>G''</math> na frekvenci vzorků rostlinných smetan bez emulgátoru .....</i>	<i>74</i>
<i>Obr. 45: Závislost viskozity na smykové rychlosti vzorků smetan s emulgátorem .....</i>	<i>82</i>
<i>Obr. 46: Závislost viskozity na smykové rychlosti vzorků smetan bez emulgátoru .....</i>	<i>82</i>
<i>Obr. 47: Závislost viskozity na smykové rychlosti všech vzorků smetan .....</i>	<i>83</i>
<i>Obr. 48: Barevnost vzorků smetan (1 - OS, 2 - MSE, 3 - OSE, 4 - OKS, 5 - RSL, 6 - MS, 7 - OKSE) .....</i>	<i>86</i>

**SEZNAM TABULEK**

Tab. 1: Složení rýžové smetany.....	43
Tab. 2: Složení mandlových smetan.....	45
Tab. 3: Složení ovesných smetan.....	46
Tab. 4: Složení kokosových smetan.....	48
Tab. 5: Složení ovesno-kokosových smetan.....	49
Tab. 6: Označení smetan.....	50
Tab. 7: Naměřené hodnoty OKS.....	61
Tab. 8: Naměřené hodnoty OKSE.....	62
Tab. 9: Naměřené hodnoty MS.....	63
Tab. 10: Naměřené hodnoty MSE.....	64
Tab. 11: Naměřené hodnoty RSL.....	65
Tab. 12: Naměřené hodnoty OS.....	66
Tab. 13: Naměřené hodnoty OSE.....	67
Tab. 14: Naměřené hodnoty KS.....	68
Tab. 15: Naměřené hodnoty KSE.....	70
Tab. 16: Naměřené hodnoty mandlových smetan.....	77
Tab. 17: Naměřené hodnoty ovesno-kokosových smetan.....	78
Tab. 18: Naměřené hodnoty ovesných smetan.....	79
Tab. 19: Naměřené hodnoty kokosových smetan.....	80
Tab. 20: Naměřené hodnoty rýžové smetany.....	81
Tab. 21: Tokové parametry rostlinných smetan měřené při 25 °C a fitované pomocí reologického modelu (extrapolované hodnoty byly stanoveny za pomoci lineární regrese).....	84
Tab. 22: Naměřené hodnoty tekutých sm. s leskem metodou RSIN.....	86
Tab. 23: Naměřené hodnoty polotekutých sm. bez lesku metodou RSEX.....	87
Tab. 24: Naměřené hodnoty polotuhých sm. s leskem metodou RSIN.....	87

---

Tab. 25: Vypočtené hodnoty $\Delta E^*$ u tekutých sm. s leskem.....	88
Tab. 26: Vypočtené hodnoty $\Delta E^*$ u polotuhých sm s leskem a bez lesku.....	88
Tab. 27: Stupnice pro vyhodnocení rozdílů $\Delta E^*$ .....	88
Tab. 28: Preference hodnotitelů .....	90
Tab. 29: Rozdělení vzorků na senzickou analýzu.....	90
Tab. 30: Finální preference jednotlivých vzorků rostlinných smetan.....	91
Tab. 31: Výsledky Neményiho metody vícenásobného párového porovnání.....	91
Tab. 32: Finální preference konzistence jednotlivých vzorků rostlinných smetan.....	92
Tab. 33: Hodnoty indexu stability IS vzorků smetan zjištěné po centrifugaci .....	93