

Ovlivňování fyzikálních vlastností kosmetických formulací

Bc. Aneta Ráčlová

Diplomová práce
2025



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická
Ústav technologie tuků, tenzidů a kosmetiky

Akademický rok: 2024/2025

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: Bc. Aneta Ráčlová
Osobní číslo: T22314
Studijní program: N0711A130011 Biomateriály a kosmetika
Forma studia: Kombinovaná
Téma práce: Ovlivňování fyzikálních vlastností kosmetických formulací

Zásady pro vypracování

- Provedte literární rešerši zaměřenou na kosmetické systémy, způsoby jejich přípravy a také způsoby možností ovlivnění jejich viskozity, reps. stability. Dále se věnujte možnostem využití různých modifikátorů viskozity. Získané poznatky kriticky zhodnotte.
- V praktické části se věnujte nalezení vhodného modifikátoru viskozity a jeho optimálního přídávku do kosmetické formulace. Dále proveďte základní fyzikální charakterizaci takového systému.
- Dosažené výsledky diskutujte.

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

Seznam doporučené literatury:

- [1] MYERS, D.: TADROS, T.: Emulsion Science and Technology. Wiley-WCH, Weinheim, 2009.
- [2] McCLEMENTS, D., J.: Food emulsions: principles, practices, and techniques. CRC Press, 2005.
- [3] BASCUAS, S., MORELL, P., HERNANDO, I. and QUILES, A., 2021. Recent trends in oil structuring using hydrocolloids. *Food Hydrocolloids*, 118, pp. 106612.
- [4] ZINOVIADOU, K. G. et al. Properties of emulsions stabilised by sodium caseinate -chitosan complexes. *International Dairy Journal*. 2012, 26, 94-101.
- [5] KATZ, L. M., DEWAN, K., BRONAUGH, R. L.: Nanotechnology in cosmetics. *Food and Chemical Toxicology*. 2015, 85, 127-137.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Pavlína Egner, Ph.D.**
Ústav technologie tuků, tenzidů a kosmetiky

Datum zadání diplomové práce: **10. února 2025**

Termín odevzdání diplomové práce: **9. května 2025**

L.S.

prof. Ing. Roman Čermák, Ph.D.
děkan

Ing. Lucie Urbánková, Ph.D.
ředitel ústavu

PROHLÁŠENÍ AUTORA DIPLOMOVÉ PRÁCE

Beru na vědomí, že

- odevzdáním diplomové práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., v platném znění bez ohledu na výsledek obhajoby;
- diplomová práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému a bude dostupná k nahlédnutí;
- jedno vyhotovení diplomové práce v listinné podobě bude ponecháno Univerzitě Tomáše Bati ve Zlíně k uložení;
- 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 mohu užít své dílo – diplomovou práci – nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- pokud bylo k vypracování diplomové práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tj. k nekomerčnímu využití), nelze výsledky diplomové práce využít ke komerčním účelům;
- pokud je výstupem diplomové práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá; neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Prohlašuji, že

- jsem na diplomové práci pracoval(a) samostatně a použitou literaturu jsem řádně citoval(a); v případě publikace výsledků budu uveden(a) jako spoluautor;
- odevzdaná verze diplomové práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou obsahově totožné.

Ve Zlíně, dne

.....
podpis autora

ABSTRAKT

Diplomová práce se zabývá ovlivňováním fyzikálních vlastností kosmetických formulací, zejména viskozity a následně stability systému. Cílem práce bylo identifikovat vhodné modifikátory viskozity a stanovit jejich optimální koncentraci pro použití do kosmetických formulací. V rámci experimentální části byly připraveny emulzní systémy a roztoky tenzidů, obsahující různé typy modifikátorů viskozit, a to ve dvou koncentracích (1 % a 2 %). Byla sledována změna viskozity v průběhu skladování, dále vizuální stabilita vzorků a senzorické vlastnosti emulzních systémů. Výsledky ukázaly, že mezi nejvhodnější modifikátory patří Xanthanová guma a Solagum, které vykazovaly vysokou viskozitu, dobrou stabilitu a příznivé senzorické hodnocení. Naopak modifikátory jako Algin TA, Siligel a Clearthix prokázaly nižší stabilitu a tendenci k separaci fází. Výsledky potvrzují, že při výběru vhodného zahušťovadla pro kosmetické aplikace hraje důležitou roli kombinace laboratorních měření a senzorického hodnocení.

Klíčová slova: kosmetické formulace, viskozita, stabilita, emulzní systémy, roztoky tenzidů, modifikátory viskozity, senzorická analýza

ABSTRACT

This thesis focuses on the modification of the physical properties of cosmetic formulations, particularly viscosity and system stability. The thesis aimed to identify suitable viscosity modifiers and determine their optimal concentrations for use in cosmetic formulations. In the experimental part, emulsion systems and surfactant solutions containing different types of viscosity modifiers at two concentrations (1 % and 2 %) were prepared. Changes in viscosity during storage, as well as the visual stability of the samples and the sensory properties of the emulsion systems, were evaluated. The results showed that Xanthan gum and Solagum were among the most suitable modifiers, exhibiting high viscosity, good stability, and favorable sensory characteristics. In contrast, modifiers such as Algin TA, Siligel, and Clearthix demonstrated lower stability and a tendency toward phase separation. The results confirm that selecting an appropriate thickener for cosmetic applications requires a combination of laboratory measurements and sensory evaluation.

Keywords: cosmetic formulations, viscosity, stability, emulsion systems, surfaktant solutions, viscosity modifiers, sensory analysis

Ráda bych poděkovala všem, kteří mi pomohli při zpracování této diplomové práce. Mé srdečné poděkování patří především vedoucí práce Ing. Pavlíně Egner, Ph.D. za její odborné vedení, cenné rady, trpělivost a podporu během celého zpracování práce. Velké poděkování patří také mé rodině a přátelům za jejich podporu, trpělivost a povzbuzení nejen při psaní této práce, ale i v průběhu celého studia. Na závěr bych chtěla poděkovat Fakultě technologické Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně za možnost studovat a za všechny cenné zkušenosti a znalosti, které jsem během svých studentských let získala.

OBSAH

ÚVOD.....	15
I TEORETICKÁ ČÁST.....	16
1 KOSMETICKÉ FORMULACE.....	17
1.1 KOSMETICKÉ PRODUKTY	17
1.2 KOSMETICKÉ PRÁŠKY.....	19
1.3 TYČINKY	21
1.4 GELY.....	21
1.4.1 Transparentní gel.....	22
1.5 KRÉMY	22
1.6 MASTI	23
1.7 PASTY	24
1.8 ROZTOKY	24
1.9 LOTIONY	25
1.10 SUSPENZE.....	25
1.11 EMULZE	25
2 EMULZNÍ SYSTÉMY	26
2.1 PŘÍPRAVA EMULZÍ.....	29
2.1.1 Příprava emulzí pomocí homogenizátoru pracujícím na principu rotor- stator	30
2.1.2 Vysokotlaká homogenizace	30
2.1.3 Ultrazvukové zařízení	31
2.2 EMULGÁTORY	32
2.2.1 Klasifikace emulgátorů	33
2.2.2 Hydrofilně-lipofilní rovnováha	33
2.3 STABILITA EMULZÍ	34
2.3.1 Separace na základě gravitace.....	36
2.3.2 Separace na základě agregace částic	37
2.3.3 Fázová inverze	38
2.3.4 Ostwaldovo zrání	38
2.3.5 Faktory ovlivňující stabilitu emulze.....	39
2.3.6 Pickeringovy emulze.....	40
2.4 MODIFIKÁTORY VISKOZITY	42
2.5 VYUŽITÍ EMULZÍ.....	44
2.5.1 Kosmetika	44
2.5.2 Farmacie.....	45
3 TENZIDOVÉ ROZTOKY	46
3.1 STRUKTURA A CHEMICKÉ VLASTNOSTI TENZIDŮ	47

3.2	TENZIDY V ROZTOCÍCH.....	47
3.3	MECHANISMUS ÚČINKU TENZIDŮ	49
3.4	TYPY TENZIDŮ A JEJICH POUŽITÍ	49
3.4.1	Anionické tenzidy.....	49
3.4.2	Kationické tenzidy.....	50
3.4.3	Amfoterní tenzidy.....	50
3.4.4	Neionické tenzidy.....	51
3.5	APLIKACE TENZIDOVÝCH ROZTOKŮ	51
3.5.1	Kosmetika.....	52
3.5.2	Farmacie	52
II	PRAKTICKÁ ČÁST	54
4	CÍLE PRÁCE.....	55
5	METODIKA.....	56
5.1	POUŽITÉ CHEMIKÁLIE, POMŮCKY A ZAŘÍZENÍ	56
5.2	CHARAKTERIZACE POUŽITÝCH LÁTEK	57
5.2.1	Popis použitých surovin	57
5.3	PŘÍPRAVA VZORKŮ	61
5.3.1	Příprava emulzních systémů s HLB 11,5 pomocí zařízení Ultra-turrax	61
5.3.2	Příprava emulzních systémů za použití zahřívání ve vodní lázni	63
5.3.3	Příprava tenzidových roztoků za použití magnetického míchadla s ohřevem	65
5.4	MĚŘENÍ VIZKOZITY ROTAČNÍM VIZKOZIMETREM MYR V2-L	66
5.4.1	Měření viskozity rotačním viskozimetrem MYR V2-L emulzních systémů.....	67
5.4.2	Měření viskozity rotačním viskozimetrem MYR V2-L tenzidových roztoků.....	69
5.5	HODNOCENÍ VIZKOZITY U EMULZNÍCH SYSTÉMŮ A TENZIDOVÝCH ROZTOKŮ	69
5.5.1	Hodnocení výsledků měření viskozity emulzních systémů	70
5.5.2	Sledování stability emulzních systémů a tenzidových roztoků.....	70
5.5.3	Senzorické hodnocení emulzních systémů.....	71
6	VÝSLEDKY A DISKUSE	74
6.1	CHOVÁNÍ A FYZIKÁLNÍ STABILITA EMULZNÍCH SYSTÉMŮ BĚHEM PŘÍPRAVY A SKLADOVÁNÍ	74
6.1.1	Výsledek přípravy emulzních systémů s HLB 11,5 pomocí zařízení Ultra-turrax	74
6.1.2	Chování vzorků při vlastní přípravě.....	75
6.1.3	Vizuální pozorování stability a viskozity emulzních systémů v čase	75
6.2	VYHODNOCENÍ VIZKOZITY A STABILITY EMULZNÍCH SYSTÉMŮ	84
6.2.1	Vývoj viskozity emulzních systému v čase.....	84
6.2.2	Procentuální změna viskozity emulzních vzorků v čase	93

6.3	VYHODNOCENÍ SENZORICKÁ ANALÝZY EMULZNÍCH SYSTÉMŮ	96
6.3.1	Pořadová zkouška.....	96
6.3.2	Párový t-test roztíratelnosti	101
6.3.3	Korelace senzorických hodnocení s fyzikálními a vizuálními vlastnostmi emulzí	102
6.3.4	Shrnutí výsledků emulzních systémů.....	103
6.4	CHOVÁNÍ A FYZIKÁLNÍ STABILITA TENZIDOVÝCH ROZTOKŮ BĚHEM PŘÍPRAVY A SKLADOVÁNÍ.....	104
6.4.1	Chování vzorků tenzidových roztoků při přípravě.....	104
6.4.2	Vizuální porovnání stability a viskozity tenzidových roztoků v čase.....	105
6.5	VYHODNOCENÍ VISKOZITY A STABILITY TENZIDOVÝCH ROZTOKŮ.....	114
6.5.1	Vývoj viskozity tenzidových roztoků v čase	115
6.5.2	Procentuální změna viskozity tenzidových roztoků v čase.....	121
6.6	POROVNÁNÍ CHOVÁNÍ ZAHUŠŤOVADEL V EMULZNÍCH SYSTÉMECH A TENZIDOVÝCH ROZTOCÍCH	124
ZÁVĚR		127
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....		129
SEZNAM OBRÁZKŮ		138
SEZNAM TABULEK.....		140
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....		141
SEZNAM PŘÍLOH		143

ÚVOD

Kosmetické formulace tvoří nedílnou součást každodenní péče o tělo a pleť a jejich vývoj klade vysoké nároky nejen na účinnost a bezpečnost, ale také na výsledné fyzikální vlastnosti produktu. Správné nastavení těchto vlastností je klíčové pro stabilitu přípravku během skladování i pro jejich senzorické vlastnosti v průběhu aplikace. Z těchto důvodů je stále větší pozornost věnována optimalizaci parametrů, jako jsou stabilita systému a jeho viskozita. Jedním z hlavních aspektů, který ovlivňuje kvalitu a spotřebitelský komfort kosmetických přípravků, je právě jejich viskozita, která souvisí se strukturou systému a jeho stabilitou v čase. Výběr vhodných komponent a jejich vzájemné působení určují nejen technické vlastnosti formulace, ale také její výslednou texturu a chování při používání.

Cílem této diplomové práce bylo provést literární rešerši zaměřenou na emulzní systémy a tenzidové roztoky, způsoby jejich přípravy a možnosti ovlivnění jejich fyzikálních vlastností, zejména viskozity a stability. Zvláštní pozornost je věnována možnostem využití různých modifikátorů viskozity a jejich vlivu na strukturu systému. Součástí rešerše je také kritické zhodnocení poznatků získaných z odborné literatury.

Praktická část práce se soustředí na experimentální vyhodnocení vybraných modifikátorů viskozity v emulzních systémech a tenzidových roztocích. V rámci experimentu byly připraveny vzorky emulzí a tenzidových roztoků obsahující různé koncentrace (1 % a 2 %) modifikátorů viskozity a následně byla tato pomocí rotačního viskozimetru sledována, dále také pomocí vizuální kontroly sledována jejich stabilita v průběhu skladování po dobu 28 dní. U emulzních systémů byla provedena také senzorická analýza za účasti hodnotitelů. Výsledky experimentu byly porovnávány mezi jednotlivými formulacemi navzájem i s dostupnými informacemi od výrobců a literárními zdroji.

Cílem práce bylo tedy ověřit účinnost vybraných modifikátorů viskozity a optimalizovat jejich přídavek do formulace. Výsledky této práce by mohly přispět k hlubšímu pochopení vlivu různých typů modifikátorů na fyzikální vlastnosti kosmetických systémů a nabídnout praktické poznatky využitelné při vývoji stabilních a kvalitních kosmetických výrobků.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 KOSMETICKÉ FORMULACE

Kosmetické produkty se vyskytují v mnoha různých typech formulací, které závisí na daných vlastnostech, jež má daný produkt obsahovat. Tyto formulace často určuje výrobce na základě požadavků zákazníků a aktuálních trendů. Kosmetické formulace lze dělit podle různých kritérií, jedním z nich je například skupenství (pevné, kapalné apod.). Klíčovou roli hraje složení, tedy zastoupení jednotlivých látek a jejich celkový obsah v produktu. Voda, emulgátory, stabilizátory a další pomocné látky jsou řazeny mezi látky, které ovlivňují funkci a stabilitu daného produktu. Níže budou jednotlivé formulace rozebrány podrobněji, s důrazem na jejich specifické vlastnosti. Jednou z nejvíce rozebíraných kosmetických formulací v této práci budou emulze, jelikož v odvětví kosmetiky hrají výraznou roli. Důvodem jsou především její specifické vlastnosti, jako je stabilita, roztíratelnost, vstřebatelnost, hydratace, snadná výroba, což z ní činí ideální základ pro širokou škálu kosmetických produktů. Druhou klíčovou částí budou roztoky tenzidů, které zase hrají zásadní roli v čištění, emulgaci a solubilizaci aktivních složek v kosmetických přípravcích. [1]

Mezi tekuté formy kosmetických formulací jsou řazeny roztoky, lotiony a suspenze. Polotuhé kosmetické formulace zahrnují krémy, pasty, gely a masti. Pudry a tyčinky jsou zase klasifikovány jako pevné kosmetické formy. [2]

1.1 Kosmetické produkty

Použití a význam kosmetických produktů neustále roste, a jejich spotřeba se každoročně ve velkém objemu zvyšuje. Kosmetické produkty mají dlouhou historickou tradici sahající až do doby kamenné, kdy kosmetika primárně sloužila k ochraně těla před přírodními vlivy (teplo, sluneční zářením, chlad) a hrála rovněž významnou roli v náboženství. S postupem času se hlavními funkcemi kosmetiky stala osobní hygiena a zvyšování atraktivity. Celkově lze říci, že kosmetika přispívá k vyšší kvalitě života jedinců. [3]

V zájmu zajištění bezpečnosti a účinnosti jsou kosmetické výrobky celosvětově regulovány a kontrolovány. V některých zemích však stále nebylo dosaženo standardizace zákonů týkající se kosmetiky. Z tohoto důvodu je prakticky nemožné, aby celosvětový průmysl prodával na všech trzích stejné výrobky. Rozdílné národní přístupy k regulaci kosmetiky souvisejí s rozdílnými definicemi kosmetiky, požadavky na označování a seznamy povolených, omezených nebo zakázaných složek. Evropská komise má celkovou odpovědnost za právní předpisy v EU týkající se kosmetiky, zatímco v každém členském

státu je určen příslušný orgán, který tyto předpisy prosazuje. Hlavním cílem směrnice EU o kosmetických přípravcích je zajistit vysokou úroveň ochrany spotřebitele, přičemž vyžaduje, aby v rámci vývoje výrobku byla kvalifikovaných odborníkem posouzena bezpečnost každého kosmetického přípravku. [4]

V České republice byla Směrnice Rady 76/768/EHS z r.1976, která platila v EU do poloviny roku 2013, převedena do vyhlášky č. 26/2001 Sb. O kosmetických přípravcích a vyhlášky č. 448/2009 Sb. O stanovení hygienických požadavků na KP (kosmetický přípravek). Do legislativy ohledně kosmetických produktů se řadí další závazné předpisy jako je např. REACH (Registrace, hodnocení, povolování a omezování chemických látek), který se týká se omezení používání některých výrobků a ingredienci nebo CLP klasifikace (Klasifikace, označování a balení) – zde se jedná o klasifikaci a označování látek apod. V průběhu let byla tato směrnice několikrát přepracovávána, a proto v roce 2009 bylo vydáno Nařízení Evropského parlamentu a Rady (ES) č. 1223/2009 O kosmetických přípravcích, které je závazné pro všechny země EU. [5]

Dle tohoto nařízení by obchodní úprava kosmetického přípravku, zejména pokud jde o jeho formu, pach, barvu, vzhled, balení, označení, objem či velikost neměla ohrozit zdraví a bezpečnost spotřebitelů tím, že by došlo k záměně s potravinami, v souladu se směrnicí Rady 87/357/EHS ze dne 25. června 1987 O sbližování právních předpisů členských států týkajících se výrobků, jejichž skutečná povaha není rozpoznatelná, a které proto ohrožují zdraví nebo bezpečnost spotřebitelů. Evropský kosmetický průmysl je jednou z průmyslových činností dotčenou paděláním, což může zvýšit rizika pro lidské zdraví. Problematika padělatelství úzce souvisí s dodržováním práv duševního vlastnictví. Při paděláních jsou nahrazovány drahé složky levnějšími – nejčastěji přírodní jsou nahrazovány syntetickými. [5]

Dále, Evropská komise označila nebo zcela zakázala některé látky pro použití v kosmetice, a to z důvodu jejich toxicity. Mezi ně patří například fenol nebo kyselina boritá, dříve využívaná jako konzervant. Zakázán byl také octan olovnatý, který se používal ke zlepšení trvanlivosti. Další látkou je bisfenol A, který se mohl uvolňovat z obalů, byl rovněž zakázán, protože v těle působí jako endokrinní disruptor. Seznam zakázaných látek je k dispozici v příloze v Nařízení 1223/2009. [6]

Definice kosmetického přípravku podle zákona se mezi jednotlivými zeměmi liší, jak již bylo zmíněno výše. Dle Nařízení Evropského parlamentu a Rady (ES) č. 1223/2009 ze dne 30. listopadu 2009 o kosmetických přípravcích je kosmetický přípravek jakákoliv

látka nebo směs určená pro styk s vnějšími částmi lidského těla (pokožkou, vlasovým systémem, nehty, rty, vnějšími orgány) nebo se zuby a sliznicemi ústní dutiny, výhradně nebo převážně za účelem jejich čištění, parfemace, změny jejich vzhledu, jejich obrany, jejich udržování v dobrém stavu nebo úpravy tělesných pachů. [5]

Kosmetické produkty jsou podle tohoto nařízení rozděleny do 7 kategorií: péče o pleť, vlasová kosmetika, vlasová barviva, toaletní přípravky, opalovací přípravky, dekorativní kosmetika a parfémy s vonnými látkami. Tato klasifikace však má určité nedostatky, kdy některé produkty mohou být zařazeny do více skupin, především kvůli nejasným hranicím mezi jednotlivými kategoriemi. [7]

Kosmetické přípravky nejsou určeny k léčbě nemocí, nejsou ani potravinou či náhradou za jakoukoliv složku (tzn. nejsou doplňky stravy) a nemají biocidní vlastnosti. Kosmetické přípravky musí být chemicky, fyzikálně i mikrobiálně stabilní a nedráždivé, zároveň kompatibilní s jinými používanými přípravky. [8]

Důležitým pojmem pro odvětví kosmetiky je kosmetovigilance, což je systém sledování a monitorování nežádoucích účinků způsobených kosmetickými produkty poté, co jsou uvedeny na trhu. Zaměřuje se na zajištění bezpečnosti kosmetických výrobků pro spotřebitele. Tento systém zahrnuje zaznamenávání nežádoucích reakcí, od mírných projevů, jako je zarudnutí nebo svědění, až po závažné reakce, které mohou vyústit v hospitalizaci nebo ohrožení života. Pokud je nahlášen závažný nežádoucí účinek, je možné, že úřady nařídí změnu složení výrobků anebo dokonce stažení výrobku z trhu. [9]

1.2 Kosmetické prášky

Kosmetické pudry/prášky se používají již od pravěku – doby kamenné. Tehdy měly funkci vyznačení kmenové příslušnosti, bojové pohotovosti nebo rituální význam. Postupem času nabýval význam pudrů v oblasti zkrášlování. Tyto výrobky se v dnešní době obvykle prodávají jako pudry sypké nebo kompaktní. Kosmetické prášky přispívají ke zlepšení přilnavosti přípravku k pokožce, adsorpci potu a kožního mazu a k dosažení hladkého vzhledu i příjemného pocitu při aplikaci. Vlastnosti kosmetických prášků jsou do značné míry ovlivněny velikostí částic pevné složky, ale i použitým pojivem a výrobním postupem. Pojiva, jako jsou estery, silikony, oleje nebo vosky, napomáhají soudržnosti částic a zajišťují lepší přilnavost přípravku k pokožce. U sypkých pudrů se jednotlivé složky pouze mísí a homogenizují, zatímco u lisovaných forem je směs navíc lisována pod tlakem a případně sušena, aby získala požadovaný tvar a stabilitu. Obecně, kosmetické pudrové produkty mají

podobné složení, které je standardizováno. Obsahují ingredience jako plnidla (například mastek, kaolin, oxid křemičitý a křemičitany), barviva (například pigmenty, slídu, oxid bismutu), konzervační látky, parfémy a pojiva (například minerální oleje, lanolín, emulgátory). Zastoupení složek spolu s jejich velikostí částic a fyzikálními vlastnostmi (například adhezní charakter) má vliv na technickou kvalitu konečného práškového produktu. Finální velikost částic určuje mletí, obsah pojiva a průběh lisování. Během výroby často dochází k aglomeraci částic, což v kosmetickém výrobku podporuje zvětšování velikosti částic. Aglomerace částic je nežádoucí, protože může negativně ovlivnit vlastnosti finálního produktu (nestabilita formulace, snížená účinnost aktivních látek, estetické nedostatky nebo problém při výrobě). [1], [10]

Mezi sypké pudry patří podkladové báze, tzv. finish-powder, tělové pudry, tvářenky, oční stíny, suché šampóny a další. Tyto druhy pudrů obsahují většinou dvě nebo více práškových složek, které absorbují kožní maz. Ve srovnání s kompaktními pudry je velikost částic u sypkých pudrů menší. Na trhu se vyskytují i bezprašné formy prášků, které obsahují olejnaté složky. Tělové pudry, z důvodu častého skladování ve vlhkém prostředí (např. koupelna) obsahují kombinaci absorpčního a neabsorpčního křemíku, který zabraňuje aglomeraci částic. Kompaktní pudry jsou suché prášky stlačené ve formě koláče. Tyto pudry se obvykle nanášejí na tělo, obličej nebo oční okolí s pomocí nějakého aplikátoru. Kompaktní pudry obsahují oproti sypkým vyšší množství pojiv. Při výrobě lisovaného pudru je uplatněno použití tryskového mlýna, který vede k vytvoření částic sférického tvaru. Naopak při použití kladívkového mlýna nebo mikropulverizéru jsou produkovány částice nepravidelných tvarů a větších rozměrů. Tato forma pudru je považována za vhodnější pro aplikaci, protože je minimalizováno množství částic přenášených vzduchem, což zajišťuje větší pohodlí při používání. Všechny kosmetické přísady, které jsou používány v kosmetických pudrech musí splňovat požadavky evropského nařízení REACH (ES č. 1907/2006), týkající se registrace, hodnocení, povolování a omezování chemických látek, jako jednotlivé chemické látky. U těch, které se vyrábějí ve větších množstvích musí být prováděny testy akutní inhalační toxicity. V oblasti make-upu jsou v současnosti nejrozšířenějšími kosmetickými přípravky produkty určené ke krytí nedokonalostí, sjednocení tónu pleti a zvýraznění rysů obličeje. Mezi tyto přípravky patří i kosmetické prášky, jako jsou pudry, které zajišťují matný vzhled pleti a prodlužují výdrž make-upu. [10]

1.3 Tyčinky

Tyčinky se řadí mezi pevné formy kosmetických formulací, které jsou vyrobeny z vosků a olejů s přidavkem dalších v oleji rozpustných nebo dispergovatelných složek. Tato forma je oblíbená kosmetická formulace pro výrobky jako jsou rtěnky, oční stíny, oční linky či korektory, ale tyčinky se používají také v produktech osobní hygieny jako tyčinky proti pocení a opalovací tyčinky. Nejčastěji se vyrábějí technikou odlévání. [2]

Například ve rtěnkách se používá spousta přídatných složek, jako jsou vosky, oleje, antioxidanty, změkčovadla, barvy a pigmenty nebo plniva, aby se dosáhlo různých barev, specifických vlastností a vzhledů. V těchto složkách lze nalézt i kovy, jako je např. hliník (Al), kadmium (Cd) nebo olovo (Pb), které mohou mít pro spotřebitele několik typů toxických účinků. Podle evropského nařízení č.1223/2009 jsou sloučeniny kadmia a olova v kosmetických produktech zakázány. Nicméně, v malých množstvích je jejich přítomnost nevyhnutelná, i když jsou výrobky vyráběny podle nejprísnějších standardů. Například hliník se často používá při výrobě kosmetiky, takže jeho přítomnost je běžnější a obvykle tolerována. [11]

1.4 Gely

Gely jsou speciálními dvojfázovými disperzními systémy tvořené trojrozměrnou sítí, která vytváří souvislou strukturu prostupující celým disperzním prostředím. Disperzní prostředí i disperzní podíl jsou spojitě, což ovlivňuje pohyb molekul v kapalině, a toto dává gelu jeho polotuhou konzistenci. I když disperzní prostředí tvoří kapalina, gel vykazuje mechanické vlastnosti jako tuhá látka. Gel obsahuje kapalně disperzní prostředí (lyogel). Vysoušením lyogelů vznikají xerogely, které postrádají své disperzní prostředí. Gely v disperzním prostředí obsahují disociované nízkomolekulární elektrolyty, mají vysokou elektrickou vodivost. [12]

Klasifikace gelů probíhá podle chování ve vysušeném stavu. Dělí se tedy na gely reverzibilní a ireverzibilní. Reverzibilní (elastické) při vysoušení zmenšují svůj objem, a vznikají xerogely. Tyto gely mohou opakovaně měnit svůj stav z gelu na kapalinu a zpět, přičemž jejich struktura není poškozena. Ireverzibilní (neelastické) gely nemohou přecházet zpět do kapalně fáze bez trvalé změny své struktury. Ireverzibilní gely obvykle vykazují vysokou stabilitu. Dále je možné gely klasifikovat dle různých specifikací – podle chemického složení disperzního prostředí (anorganické a organické gely), podle charakteru disperzního prostředí (hydrogely a organogely) apod. [12]

V posledních letech se gely v kosmetickém průmyslu staly velmi populárními, a to především díky své jedinečné textuře a vlastnostem. Mezi nejvíce používané gely v kosmetice se řadí hydrogely, olejové gely a kyselina hyaluronová, která se používá často jako gelotvorné látka. Gely na bázi kyseliny hyaluronové, které se používají pro její schopnost hydratace pleti. Gely s aktivními složkami, jako jsou peptidy, zvyšují elasticitu pleti, a tím snižují známky stárnutí. Gely se také mohou používat jak v kosmetice, tak ve farmacii, a to jako nosiče pro aktivní látky, čímž je umožněno kontrolované uvolňování účinných složek přímo na pleť. Také se používají v odvětví dekorativní kosmetiky jako například gelové oční linky, gely na obočí apod. [7], [13]

1.4.1 Transparentní gel

Transparentní gel vykazuje průhledný vzhled díky tomu, že v něm světlo prochází rovnoměrně a nedochází k rozptylu na velkých částicích. Struktura transparentních gelů je homogenní, a proto umožňuje průnik světla bez překážek. Obvykle obsahuje menší částice nebo menší micely, které jsou dispergované ve fázi, což přispívá k jeho průhlednosti. Díky homogennímu složení je často používán jako nosič pro aktivní složky. Tyto gely obsahují specifické emulgátory a stabilizátory, které udržují fázovou stabilitu a průhlednost systému. Jeho průhledný vzhled je často preferován v kosmetických přípravcích, jako jsou pleťové gely, séra nebo hydratační produkty. Jeho termodynamická stabilita je lepší než u normálních gelů, což znamená, že za běžných podmínek neprocházejí fázovou separací. Jeho struktura zůstává po delší dobu i za náročnějších podmínek stabilní.[14]

1.5 Krémy

Krémové formulace jsou nejvíce oblíbené v odvětví dermatologie, jelikož umožňují postupně uvolňování léčiv v místě aplikace a mají minimum nežádoucích účinků. Účinnost těchto produktů závisí také na typu pokožky, fyzikálně-chemických vlastnostech aktivní látky a typu nosiče, protože tyto významně ovlivňují schopnost látek proniknout do pokožky a dosáhnout požadovaného účinku. Kromě bariérové funkce *stratum corneum* (vrchní vrstvy kůže) hrají klíčovou roli ve formulaci také rozpustnost aktivní látky, lipofilita, molekulová hmotnost, koncentrace a fyzická forma aktivní látky. [15]

Krémy jsou vícefázové heterogenní systémy, které obsahují dvě nemísitelné kapaliny – emulze typu olej ve vodě (o/v) nebo voda v oleji (v/o). Tento typ kosmetické formulace je vhodný jak pro lipofilní, tak pro hydrofilní látky. Vývoj krémových emulzí je velice složitý,

protože jsou termodynamicky nestabilní a náchylné k různým formám nestability (k shlukování kapek, flokulaci a separaci fází). Krémové formulace jsou velmi univerzální a mohou být přizpůsobeny specifickým požadavkům spotřebitele (viskozity, roztíratelnost apod.), což umožňuje široké uplatnění v kosmetice i farmacii. Při výrobě krému je velmi důležitá jak volba složek a jejich koncentrace, tak celý proces výroby, jelikož tyto faktory ovlivňují například průnik krému kůží, účinnost nebo bezpečnost produktu. [16]

Vzájemné působení multifunkčních přísad (například emulgátorů, zahušťovadel, konzervantů) a aktivní látky spolu s parametry výrobního procesu způsobují změny v mikrostruktuře vehikula, tzv. základní složka nebo směs v dané formulaci (velikost kapek, reologické vlastnosti, homogenita, pH a polymorfismus), což ovlivňuje fyzikálně-chemické vlastnosti krému. V krémech může vehikulum tvořit například voda, olej, emulgátor a zahušťovadla, které spolu vytvářejí vhodné prostředí pro účinnou látku (například hydratační složky nebo vitamíny). [15]

Výhodou krémů je jejich snadná aplikace, mají obvykle jemnou strukturu, jsou snadno roztíratelné, což usnadňuje jejich aplikaci na pokožku bez zanechání mastného filmu. Na trhu se vyskytují i krémy hutnější, které naopak mastný film zanechávají záměrně. Správně formulované krémy by měly mít zajištěnou dlouhodobou stabilitu, což znamená, že jejich účinnost a kvalita by měly být udržovány po delší dobu. Jsou méně náchylné k oxidaci nebo degradaci, ve srovnání s jinými formulacemi, jako jsou např. gely nebo lotiony. [17]

1.6 Masti

Typické složení masti je založeno na olejové bázi s polotuhou texturou, která zahrnuje fázi rozpouštědla dispergovanou v olejové fázi, stabilizovanou emulgačními činidly. V mnoha mastech jsou aplikovány účinné látky, které mohou být rozpuštěny ve fázi rozpouštědla a dispergovány ve vnější olejové fázi. Typická olejová fáze masti obsahuje vazelínu a ztužovací nebo emulgační látky, jako jsou parafin, sheabutter, lecitin, cetylalkohol, polysorbáty a glyceryl stearát, které zajišťují požadovanou konzistenci a stabilitu emulze. K zajištění zvláčňujících vlastností pro pokožku obvykle ve složení mastí je zahrnut minerální olej. Výrobní proces začíná roztavením vosků, po kterém jsou přidány kapalné složky a prováděna homogenizace pro rovnoměrné rozdělení těchto složek. Na závěr je mast ochlazená na pokojovou teplotu a naplněna do obalů. Homogenizace a kontrola teploty během zahřívání a ochlazování mají vliv na rozložení a krystalizaci emulgačních vosků

a ztužujících látek, které obklopují kapky rozpouštědla a olejové fáze. Uspořádání složek v masti, jako je velikost kapek a distribuce krystalického materiálu, zásadně ovlivňuje fyzikální stabilitu masti. Mikrostruktura má dopad na vlastnosti produktu, jako je růst kapek a možná fázová separace. Mikrostruktura ovlivňuje stabilitu a vlastnosti finálního produktu (uvolňování účinné látky a její pronikání do pokožky). Správně nastavené výrobní podmínky (teplota, homogenizace) jsou zase klíčové pro dosažení požadovaných vlastností mastí. [18]

1.7 Pasty

Pasta je velmi viskózní polotuhá forma produktu, která obsahuje velké množství pevných látek, což způsobuje obtížnou roztíratelnost a vtíratelnost do pokožky. V oblasti péče o tělo se pasta používá jako přípravek na opruzeniny nebo zubní pasta. Klíčovým krokem ve formulaci past je zapracování pevných látek do základní složky. Pokud tento krok není správně proveden, bude výsledný produkt zrnitý a hrudkovitý. [2]

Například zubní pasta je čistící přípravek používaný v ústní dutině k čištění a leštění zubů. Pasty obsahují abrazivní složky, které pomáhají odstraňovat zubní plak, skvrny a zbytky jídla ze zubů. Existují pasty na profesionální mechanické čištění zubů, které absorbují pigmenty nahromaděné na zubech (např. z kávy, čaje, červeného vína), čímž je snížena potřeba intenzivního mechanického čištění, které by mohlo poškodit zubní sklovinu. [19]

1.8 Roztoky

Roztoky jsou jednou z nejjednodušších a nejpoužívanější kosmetických formulací. Jsou to čiré a homogenní kapaliny. Roztok může obsahovat mísitelné složky nebo směs kapalných a pevných složek, které jsou rozpustné v kapalinách. Aktivní složky, jako jsou vitamíny, hydratační látky, antioxidanty nebo léčivé složky, které jsou obsaženy v roztoku, jsou zcela rozpuštěny v rozpouštědle, tj. obvykle vodě nebo alkoholu). [2]

Roztoky lze klasifikovat na základě typu použitého rozpouštědla. Obvykle se rozlišují na tři hlavní typy, a to následující:

- vodné roztoky – obsahují vodu jako hlavní rozpouštědlo (odličovače na oči, tekutá mýdla na ruce a šampóny); hydroalkoholické roztoky – obsahují směs vody a alkoholu jako hlavní rozpouštědlo (ústní vody, pleťové tonery);

- bezvodé – obsahují rozpouštědla organická (podkladové laky, odlakovače) nebo olejové (koupelnové oleje, oleje před depilací).

Roztoky jsou považovány za termodynamicky stabilní kosmetickou formulaci. Obsažené rozpustné pevné složky se nejprve rozpouštějí, většinou se začíná těmi, které vyžadují zahřívání. Těkavé složky se přidávají až na konci, aby se zabránilo odpaření z produktu. [2]

Tenzidové roztoky budou podrobně rozebrány v dalších kapitolách, a to nejen s ohledem na jejich široké využití v kosmetickém průmyslu, ale také v souvislosti s praktickou částí této práce.

1.9 Lotiony

V kosmetice je lotion další kapalná forma kosmetického přípravku, kdy se především jedná o zředěnou emulzi typu O/V. Lotion je známý svou nízkou viskozitou. V kontinuální fázi obsahují vysoké množství vody, což dodává emulzi tekutější konzistenci než krémy a umožňuje snadnější roztírání bez potřeby silného tření. Díky vysokému obsahu vody jsou lotiony velmi lehké, netvoří mastný film na pokožce a jsou snadno omyvatelné, což je dělá ideálními pro rychlou aplikaci a použití na větší plochu pokožky (jako např. tělové mléko na tělo). [20]

1.10 Suspenze

Jedná se o kapalně formulace obsahující pevné částice rozptýlené ve vodném médiu, často používané v kosmetice ke zlepšení senzorických vlastností. Velikost, tvar a koncentrace těchto částic ovlivňují strukturu a pocit při aplikaci. Menší a nepravidelně tvarované částice mají za následek snížení tření na pokožce, čímž je zlepšován skluz a na pokožce je zanechán jemný, matný a hladký pocit. Vyšší koncentrace částic zlepšuje skluz na pokožce a vytváří příjemný, hedvábný dojem. Suspenze jsou od krémů odlišovány tím, že obsahují pevné částice rozptýlené ve vodném médiu, což umožňuje poskytování jiného pocitu na pokožce a jiného účinku při aplikaci.[1], [21]

1.11 Emulze

Jako poslední kosmetickou formulací zde uvedenou jsou emulze, kterou se bude podrobněji zabývat kapitola 2 (viz. níže).

2 EMULZNÍ SYSTÉMY

Emulze jsou heterogenní systémy, který se skládají ze dvou nemísitelných kapalin, obvykle oleje a vody. Tyto kapaliny jsou vzájemně dispergovány za pomoci povrchově aktivních látek (emulgátorů) mechanickým mícháním, které samo o sobě nestačí k vytvoření stabilní emulze, ale může dočasně dispergovat jednu kapalinu ve druhé. V emulzi se jedná o kapaliny s odlišnou hustotou a polaritou, které se přirozeně nesmísí. Emulze je tvořena disperzním prostředím (kapalinou), ve kterém je dispergována disperzní fáze (většinou ve formě malých kapiček) viz. Obrázek 1. Velikost kapiček dispergované fáze se postupně zvětšuje, což může vlivem gravitační síly vést k separaci fází. Tento jev je typický pro emulze, které jsou termodynamicky nestabilní. Rychlost separace může být ovlivněna různými faktory, jako jsou změny teploty, tlakových podmínek nebo přítomnost dalších látek. Aby byla stabilita emulze zajištěna, je obvykle používán stabilizátor, což je látka, která zabraňuje shlukování a růstu kapek, čímž zpomaluje nebo zamezuje separaci jednotlivých fází. Stabilizátor udržuje emulzi homogenní tím, že pomáhá udržet rovnoměrné rozptýlení složek (např. olejové a vodné fáze) typickými stabilizátory jsou emulgátory, jako jsou lecitin nebo polysorbáty, ale mohou to být i další látky, které zlepšují vzájemnou kompatibilitu složek emulze. [22]

Jednou z důležitých vlastností emulze je jejich dynamická povaha, kdy i po jejich vzniku jsou kapičky v emulzi v neustálém pohybu a často se navzájem srážejí v důsledku Brownova pohybu, gravitace nebo působení mechanických sil. Neustálý pohyb a interakce kapiček způsobují, že se vlastnosti emulzí v průběhu času mění z důvodu mnoha destabilizačních mechanismů, které budou podrobněji rozebrány níže. [23]

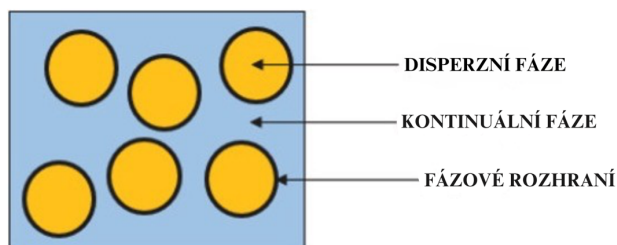
Brownův pohyb je důsledkem tepelného pohybu částic, které se neustále a neuspořádaně pohybují. Tento pohyb je ovlivněn teplotou prostředí a velikostí částic. Částice o velice malých rozměrech ve vodě vykazují trhavý a nepravidelný pohyb, jenž je způsoben neustálými nárazy molekul kapalin. Směr jejich pohybu se rychle mění v důsledku nerovnoměrného působení okolních molekul. Tento jev je pozorován bez ohledu na chemické složení částic či vnější podmínky a je výraznější při vyšších teplotách a menších rozměrech částic. [24]

Homogenizace je proces, při kterém se obě nemísitelné kapaliny přeměňovány na emulzi, nebo dochází ke zmenšování velikosti kapek v již existující emulzi. Homogenizace je nejčastěji prováděna pomocí mechanických zařízení, tzv. homogenizátorů, kterými je kapalina vystavována intenzivnímu míchání. Při tomto procesu dochází

ke srážkám kapek, avšak bez správné stabilizace se kapky mají tendenci opět spojovat, což může následně vést k separaci fází. Homogenizace je nezbytná, protože směs oleje a vody je termodynamicky nestabilní, což znamená, že fáze by se bez stabilizace přirozeně oddělily. Emulze jsou považovány za termodynamicky nestabilní systémy, jelikož se samovolně snaží vrátit do stabilnějšího stavu, ve kterém jsou fáze odděleny. [22; 23]

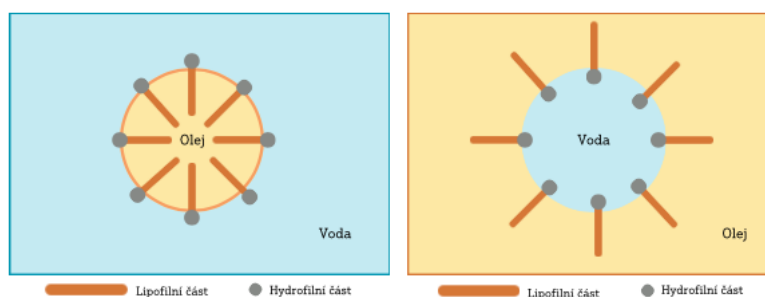
Většina emulzí je tvořena dvěma vzájemně nemísitelnými fázemi: vnitřní fází, která je tvořena kapkami dispergované látky (např. olejovými kapkami ve vodě), a kontinuální (vnější) fází, která je prostředím, ve kterém jsou kapky rozptýleny (např. voda v olejové emulzi). Mezi těmito fázemi je umístěno rozhraní, které odděluje obě složky a umožňuje jejich vzájemné interakce. Molekuly, které jsou obsaženy v emulzi se do těchto fází rozdělují dle polaritě a koncentrace. Nepolární molekuly se nacházejí v olejové fázi, polární molekuly naopak ve vodné fázi a amfifilní molekuly na rozhraní. Amfifilní molekuly se nacházejí na rozhraní, protože mají dvojí povahu – obsahují jak hydrofilní část, která má afinitu k vodě, tak hydrofobní část, která má afinitu k oleji. Tato struktura jim umožňuje snižovat mezifázové napětí mezi oběma nesmísitelnými kapalinami a tím stabilizovat emulzi. Díky této vlastnosti jsou amfifilní molekuly klíčové pro stabilitu emulzí, protože brání separaci fází a umožňují rovnoměrné rozložení dispergované fáze v kontinuální. [23]

Ke spojení nemísitelných fází je nezbytná přítomnost třetí složky – emulgátoru. Emulgátory snižují mezipovrchové napětí mezi dvěma nemísitelnými kapalinami, což vede ke snížení odpuzivé síly mezi nimi a zároveň k oslabení přitažlivosti mezi molekulami téže kapaliny. Díky těmto vlastnostem je emulze udržována stabilní, a proto je volba emulgátoru klíčová nejen pro její tvorbu, ale i pro její dlouhodobou stabilitu. Tato funkce je zajištěna právě amfifilními molekulami, které se na rozhraní orientují dle polaritě. Za stabilitu emulze je považováno zůstat homogenní a neoddělovat se na jednotlivé fáze. [22], [25]



Obrázek 1 - Fáze emulzního systému [26]

Obecně existují dva hlavní typy emulzí, a to emulze olej ve vodě (O/V) a emulze voda v oleji (V/O), jak je znázorněno na obrázku níže (viz. Obrázek 2).



Obrázek 2 - Emulze olej ve vodě (vlevo) a voda v oleji (vpravo) [26]

Příkladem emulze olej ve vodě může být například krém nebo mléko, naopak příkladem emulze vody v oleji je příkladem mast.

Existují však další dva typy emulzí, které mohou mít formu olej ve vodě v oleji (O/V/O) a voda v oleji ve vodě (V/OV), nazývají se emulzemi složenými. [26]

Složené emulze lze považovat za emulze emulzí, přičemž kapičky vody obsahující dispergovanou olejovou fázi jsou dále dispergovány v oddělené olejové fázi. Násobné (složené) emulze O/V/O vykazují díky své jedinečné a komplikované struktuře také jedinečné vlastnosti. V důsledku své složité struktury jsou termodynamicky nestabilní a jsou tedy náchylnější k rozpadu během skladování. Hydrofobní a hydrofilní emulgátory mohou vzájemně interagovat na rozhraní, což dále ovlivňuje vlastnosti rozhraní a nestabilitu emulzí. V těchto systémech může být dosaženo řízeného uvolňování látek. Násobné emulze O/V/O umožňují odstranění toxických nebo nezdravých látek, protože mohou sloužit jako vnitřní rezervoáry pro obnovu látek převedených z vnější kontinuální fáze do vnitřní omezené fáze. Vzhledem k výše zmíněným skutečnostem může být jejich využití v potravinářském, farmaceutickém, kosmetickém a environmentálním průmyslu velmi perspektivní. [27]

Emulzní systémy lze klasifikovat nejen dle typu disperze (olej ve vodě – OV/, voda v oleji – V/O, dvojité emulze), ale také na základě velikosti částic dispergované fáze. A podle tohoto kritéria se emulze dělí na:

- Makroemulze – termodynamicky nestabilní systémy s velikostí částic v rozmezí přibližně 100 až 1000 nm. Makroemulze mají mléčné zbarvení, protože rozptyl světla na relativně velkých částicích způsobuje optické zakalení;
- Mikroemulze – čiré, termodynamicky stabilní a izotropní kapalné směsi. Vznikají za přítomnosti oleje, vody a povrchově aktivní látky společně s její pomocnou složkou, tzv. ko-surfaktantem. Velikost částic mikroemulzí se

pohybuje mezi 10 až 100 nm. Díky své stabilitě a transparentnosti nacházejí využití v mnoha průmyslových a farmaceutických aplikacích;

- Nanoemulze – kineticky stabilní systémy s velikostí částic v rozmezí 50 až 200 nm. Na rozdíl od makroemulzí jsou často transparentní a mají lepší stabilitu vůči sedimentaci a koalescenci. Nanoemulze se využívají například v potravinářském, kosmetickém a farmaceutickém průmyslu. Kde umožňují efektivnější dodávání aktivních látek. [25]; [28]

Emulze jsou považovány za klíčovou složku v průmyslu a spotřebním zboží, a to především díky svým jedinečným vlastnostem. V potravinářském průmyslu jsou využívány při výrobě produktů, jako jsou dresinky, omáčky a nápoje. Ve farmaceutickém průmyslu jsou emulze používány spíše jako nosiče aktivních/účinných látek. Uplatnění emulzí je dále v agrochemii, nátěrových hmotách a výrobcích osobní péče, což podtrhuje jejich všestrannost a nezastupitelnou roli. Význam emulgace je rovněž zdůrazněn v oblasti čištění ropy. [29]

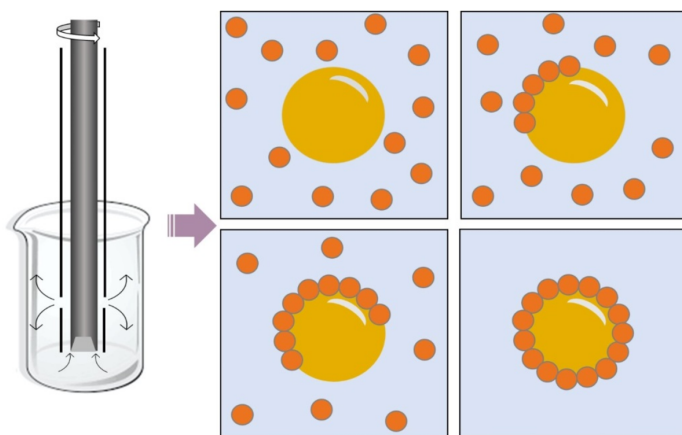
2.1 Příprava emulzí

Příprava emulzí neboli emulgace či emulzifikace je proces, při němž se dvě nemísitelné kapalné fáze spojují do stabilní směsi. Tento proces obvykle vyžaduje přítomnost emulgátoru a intenzivní mechanické dispergování, jako je třepání, míchání nebo ultrazvukové zpracování, které umožňuje vzájemné pronikání kapalin. V některých případech je výsledná emulze podrobena další homogenizaci, která zajišťuje rovnoměrnou disperzi a zvyšuje její stabilitu. Emulgátory mají nejen stabilizační účinek, ale také snižují mezifázovou energii mezi kapalinami, což usnadňuje vznik emulze. [30]

Při míchání dvou nemísitelných kapalin, jako je například voda a olej, vzniká mezi nimi rozhraní. Tento proces je spojen s energetickými náklady, jak vyplývá z Gibbsovy rovnice, což znamená, že pro vytvoření emulze je potřeba do systému vložit energii, například pomocí vysokotlaké homogenizace. I když emulze vznikne, může být její stabilita při dlouhodobém skladování ohrožena. Během doby skladování mohou v emulzi probíhat různé destabilizační procesy, mezi které patří gravitační separace, kdy se těžší částice shlukují na dně nebo naopak krémování, flokulace (shlukování částic), koalescence (spojování kapek do větších) a Ostwaldovo zrání, což je proces, při kterém se větší kapky zvětšují na úkor menších. Tyto mechanismy mohou vést k destabilizaci emulze, což je výzva pro udržení její dlouhodobé stability. [31]

2.1.1 Příprava emulzí pomocí homogenizátoru pracujícím na principu rotor-stator

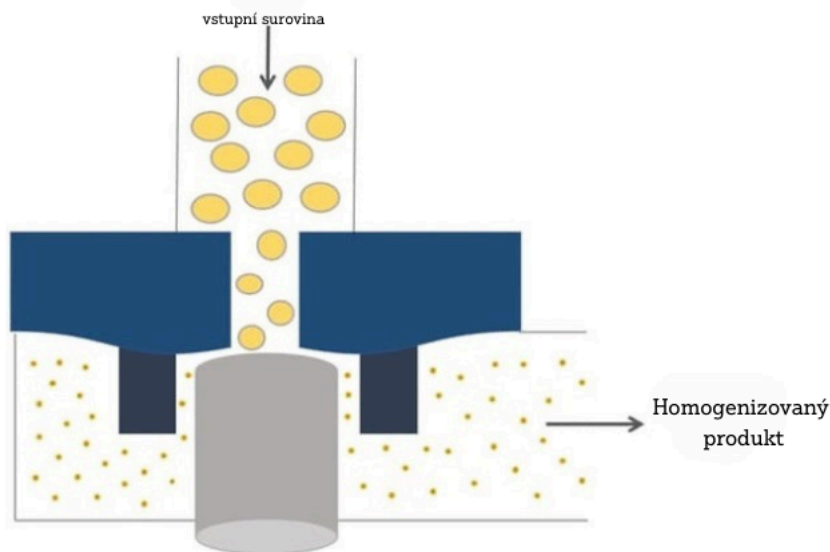
Homogenizátor rotor-stator využívá rotující rotor a stacionární stator k homogenizaci kapalin pomocí smykových sil a rozbití kapek a částic v dispergovaných fázích (viz. Obrázek 3). Vzorek je nasáván do zařízení a vysokou rychlostí potlačován skrz otvory statoru, což vytváří malé kapičky. Silnější smykové síly během procesu zmenšují kapky a zvyšují stabilitu emulze, ale nadměrná energie může způsobit jejich spojování. Velikost kapek ovlivňuje rychlost a doba homogenizace a také geometrie zařízení. Geometrie rotor-stator je běžně používána, a to především díky snadné obsluze, rychlé přípravě a schopností zpracovat velké objemy emulze. Nevýhodou je riziko polydisperzity kapiček, což vyžaduje optimalizaci procesu. Tvorba malých kapek a rychlá homogenizace probíhají díky hydraulickému řezání uvnitř zařízení. [32]



Obrázek 3 - Schematické znázornění procesu homogenizace pomocí geometrie rotor-stator [32]

2.1.2 Vysokotlaká homogenizace

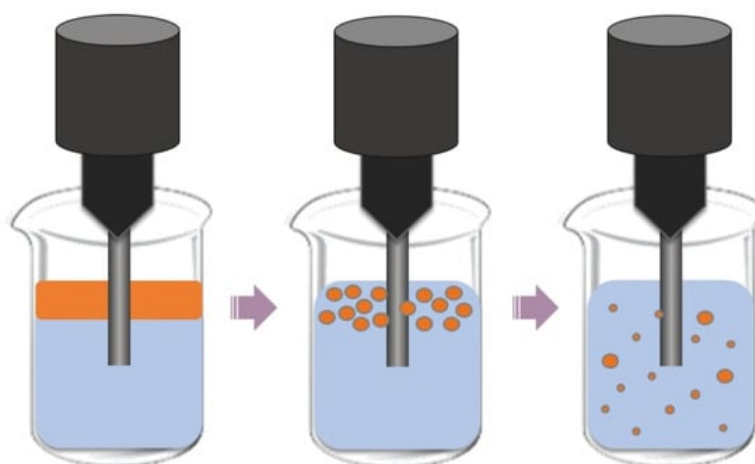
Vysokotlaká homogenizace je proces, při kterém je kapalina přeměněna na malé rovnoměrné kapky dispergované v druhé kapalině pomocí aplikace vysokého tlaku (viz. Obrázek 4). Tato metoda účinně rozbíjí olejovou vodní fázi, čímž jsou tvořeny drobné kapky emulze, které jsou menší než při rotor-statorové homogenizaci. Vliv na velikost a distribuci kapek mají tlak a doba homogenizace. Zařízení zahrnuje vysokotlaká čerpadla a homogenizační trysky, které generují turbulentní proudění a podporují rozpad velkých kapek na menší. Mezi výhody patří kontinuální výroba a tvorba malých kapek. Ačkoliv je vysokotlaká homogenizace nejběžněji využívána v kontinuálních emulgačních procesech v průmyslu, není považována za převládající techniku při přípravě Pickeringových emulzí. [32]



Obrázek 4 - Provozní schéma vysokotlakého homogenizátoru [32]

2.1.3 Ultrazvukové zařízení

Další metodou pro přípravu emulzí je použití ultrazvukového homogenizéru (viz. Obrázek 5). Toto zařízení využívá fenomén kavitace, který způsobuje rozpad kapek. Kavitace je definována jako rychlá tvorba a kolaps bublin v kapalině. Ultrazvuková energie se koncentruje v blízkosti sondy, což vede k vytvoření intenzivních tlakových změn, které způsobují kavitaci a mohou vést k přípravě emulze s menšími kapkami. Tato metoda je efektivní nejen pro tvorbu klasických emulzí, ale také pro přípravu Pickeringových emulzí, kde se používají pevné částice místo povrchově aktivních látek. [32]



Obrázek 5 - Schématické znázornění ultrazvukového zařízení pro emulgaci [32]

2.2 Emulgátory

Emulgátory jsou povrchově aktivní látky s amfifilní povahou, které umožňují jak stabilizaci, tak i destabilizaci emulzí. Tyto látky snižují mezifázové napětí a zpomalují flokulaci kapek, čímž brání separaci na makrofázi díky vytvoření filmu nebo bariéry na fázovém rozhraní. Díky povaze emulgátoru, která určuje stabilitu, je možné určit i typ emulze. Na emulgátory se vztahuje tzv. Bancroftovo pravidlo, které říká, že ve stabilizované emulzi je spojitě disperzní prostředí tvořeno tou fází, k níž má použitý emulgátor za daných podmínek větší afinitu, tj. u emulgátorů iontové a neiontové povahy, rozpustnost v dané fázi, u práškových emulgátorů ochotu ke smáčení. [33]

Fyzikálně-chemické vlastnosti proteinů (například prostorová konformace, hydrofobicita) a složení proteinů mohou také určovat stabilitu emulzí. Emulze stabilizované emulgátory a proteiny nezávisí pouze na těchto faktorech, ale mají také silný vztah ke vzájemné kombinaci a konkurenci mezi emulgátory a proteiny. Nestabilita a stabilita emulzí souvisí s faktory, jako jsou mezifázové interakce, reologická povaha rozhraní a přidaná povrchově aktivní látka. [34]

Emulgátory s malými molekulami obvykle obsahují hydrofilní skupiny (hydroxylové) a lipofilní skupiny (alkylové), které umožňují snadnou tvorbu adsorpční vrstvy na rozhraní mezi vodou a olejem nebo mezi plynem a vodou. Interakce mezi emulgátory a proteiny na rozhraní má významný vliv na stabilitu emulzí, přičemž jejich adsorpční struktura a vlastnosti na rozhraní jsou úzce spjaté se stabilitou emulzí. Vlastnosti a koncentrace emulgátorů mají značný vliv na stabilitu emulzí, například pozice solubilizace emulgátoru, rychlost solubilizace a maximální množství rozpuštěného materiálu na jednotku hmotnosti emulgátoru, což může vykazovat různé emulgační vlastnosti. Po přidání proteinu do olejovo- vodního systému, který obsahuje hydrofilní a lipofilní skupiny, se protein chová jako neiontové povrchově aktivní činidlo, přičemž plní roli ve stabilizaci emulze a dispergaci tuku. Role proteinů v emulzích závisí především na fyzikálně chemických vlastnostech proteinů a jejich frakcích. Struktura a vlastnosti proteinu, jako je jejich flexibilita a hydrofobicita, mají významný vliv na jejich emulgační vlastnosti, přičemž zajímavým jevem je i synergický účinek. Emulze, které byly původně stabilizovány proteiny, se postupně začnou stabilizovat především emulgátory, a to ve dvou hlavních krocích: první krok, kdy se emulgátor váže na proteinovou molekulu; druhý krok, kdy se emulgátor adsorbuje na rozhraní a soutěží s proteinovou molekulou o rozhraní; a nakonec je proteinová molekula desorbována z rozhraní. [34]

2.2.1 Klasifikace emulgátorů

Vlastnosti, typ a koncentrace emulgátorů určují stabilitu emulzí, přičemž emulgátory lze klasifikovat do různých typů (například iontové nebo neiontové, pevné nebo kapalné) podle jejich vlastností a zdrojů. [34]

Rostlinné a živočišné emulgátory

Rostlinné proteiny, podobně jako mnoho živočišných proteinů, mají amfifilní povahu a působí jako emulgátory. Na rozdíl od emulgátorů s menšími molekulami, které rychle difundují na rozhraní a vytvářejí emulze, proteiny jsou makromolekuly, které difundují pomaleji. Při adsorpci na rozhraní musí proteiny podstoupit částečnou denaturaci, aby došlo k vystavení hydrofobních aminokyselin, které se pak umístí do olejové fáze, zatímco hydrofilní aminokyseliny se umístí ve vodné fázi. Emulze stabilizované proteiny mají obvykle nižší kapacitu než ty stabilizované malomolekulovými emulgátory. Rostlinné proteiny se liší od živočišných proteinů v několika ohledech. Zatímco rostlinné proteiny obsahují více struktury β -vrstvy a fibrilárních proteinových struktur, živočišné proteiny obsahují více α -helixů. Tento rozdíl vede k tomu, že hydrofobní zbytky rostlinných proteinů jsou většinou skryté uvnitř struktury, což způsobuje, že jejich interakce s jinými proteiny jsou slabší a tuhost mezifázového filmu na rozhraní olej-voda je nižší. V důsledku toho jsou emulgační vlastnosti rostlinných proteinů považovány za horší než u živočišných proteinů. Rostlinné bílkoviny jsou náchylnější k vnějším faktorům. Mezi rostlinné emulgátory patří lecitin (pocházející ze sóji), proteiny z obilovin, luštěnin, gumové emulgátory (guarová guma, xanthanová guma) nebo fosfolipidy. Mezi živočišné emulgátory se řadí živočišné proteiny (vaječný albumin), kasein, kolagen, mléčný tuk a také lecitin (pocházející z vajec). [35]

2.2.2 Hydrofilně-lipofilní rovnováha

Tvorba emulzí je silně závislá na hydrofilně-lipofilní rovnováze (HLB), která je indikátorem pro stanovení chemické struktury molekul neiontových povrchově aktivních látek s jejich povrchovou aktivitou. Podle měřítka představuje horní škála (8–18) hydrofilní povrchově aktivní látky pro emulze O/V, zatímco škála nižší úrovně (3–6) představuje hydrofobní povrchově aktivní látky pro emulze V/O. Výběrem vhodné PAL (povrchově aktivní látka) bude tedy ovlivněna také stabilita emulze. [26]

2.3 Stabilita emulzí

Emulzní systémy mají v různých odvětvích širokou škálu aplikací, včetně kosmetiky (krémy, make-up), potravinářství (majonézy, omáčky, máslo), farmacie (léčiva) a průmyslu (emulzní barvy, maziva). Stabilita emulzí, stejně jako jejich reologické vlastnosti (jako je např. viskozita), jsou proto klíčovými faktory. [36]

Stabilita disperzních soustav je schopnost bránit se průběhu dějů, které vedou ke změně struktury emulzí nebo stupni disperzity. Většina emulzí má tendenci se rozpadat na původní fáze. Doba rozpadu emulzí závisí na celé řadě parametrů, např. na stabilitě kapalného filmu mezi kapkami, viskozitě jednotlivých fází, fázové inverzi či velikosti přitažlivých a odpuzivých sil mezi částicemi v emulzi. [36]

Van der Waalsovy síly patří mezi přitažlivé síly působící mezi molekulami. V emulzích jsou zodpovědné za vzájemnou přitažlivost kapek, což ovlivňuje jejich stabilitu. Tyto síly jsou univerzální, protože působí mezi všemi částicemi, a hrají klíčovou roli v jevech, jako je soudržnost plynů v kapalném a pevném stavu nebo adsorpce molekul na pevné povrchy bez vzniku chemických vazeb. Při větších vzdálenostech molekul se jejich účinek snižuje, avšak při vysokém počtu částic se jejich působení sčítá, což ovlivňuje chování emulzí. [37]

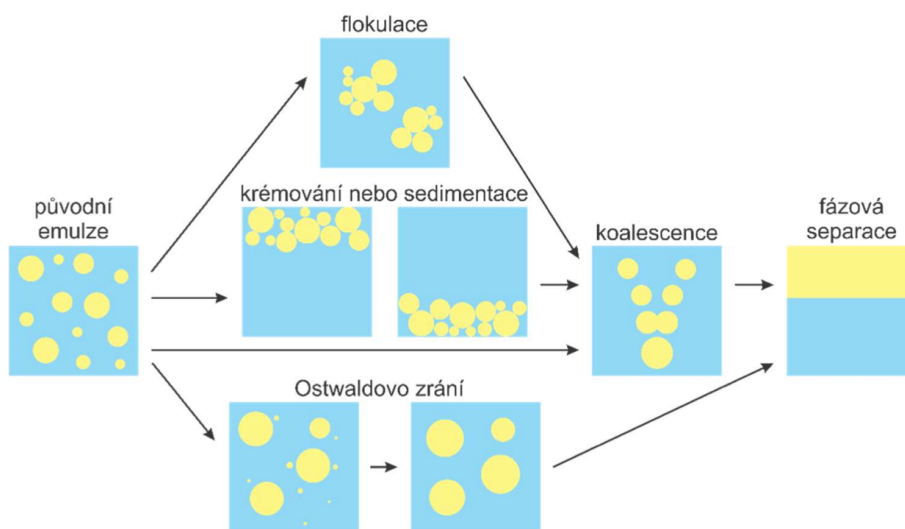
Emulze podléhají nevratné koalescenci, pokud se kapky k sobě přiblíží dostatečně blízko, aby splňovaly podmínku minima potenciální energie. Snížení mezipovrchového napětí je užitečné při vytváření emulzí, ale pouze tato vlastnost není dostačující pro zajištění stability emulze po celou dobu skladovatelnosti a použití produktu. Snížením rychlosti difúze kapek pouhým zvýšením viskozity spojité fáze je zpomalen Brownův pohyb a nástup koalescence je tímto oddálen. Stabilita emulze je zajištěna vytvořením dostatečně silného odpuzování mezi kapkami. Fyzická bariéra kapek může být vytvořena obalením lamelární fáze, což je běžný způsob stabilizace např. v produktech osobní péče o pokožku. Emulze mají tendenci vytvářet různé uspořádání, mezi které se řadí i lamelární struktury. Pokud emulze obsahuje dostatek povrchově aktivních látek, může být stabilizována tvorbou lamelárního tekutého krystalu. V takovém případě se molekuly aktivních látek uspořádávají do vrstev, mezi nimiž se nachází voda nebo olej. Tato struktura přispívá ke stabilitě emulze tím, že vytváří fyzickou bariéru mezi kapkami dispergované fáze, čím zpomaluje jejich koalescenci. Lamelární tekuté krystaly se v kosmetických a farmaceutických přípravcích běžně vyskytují a zlepšují jejich hydratační vlastnosti a také umožňují řízené uvolňování účinných látek. V lamelární struktuře mezi vrstvami povrchově aktivních látek existuje mez skluzu, což je prostor, který

zabraňuje těmto kapkám v jejich vzájemném spojování. Tato mez skluzu funguje jako bariéra proti koalescenci, čímž emulzi stabilizuje a brání tomu, aby se kapky spojily a emulze se tak následně rozpadla. Nedostatečná bariéra se odhalí, když emulze zmrznou. Vodná fáze zmrzne a olejová zůstává kapalná. Zmrazování fáze v podstatě koncentruje kapky oleje do menšího objemu, čím zvyšuje místní zatížení, což může vést k porušení bariéry a následné koalescenci. [23]

Emulze, které jsou kineticky stabilní (metastabilní) po přiměřenou dobu, je možné vytvořit pomocí přidání látek známých jako stabilizátory. Stabilizátor je jakákoliv složka, kterou lze použít ke zvýšení stability emulze, nebo jako modifikátory viskozity. Modifikátory viskozity lze rozdělit do dvou kategorií, a to dle způsobu jejich působení a reologických vlastností jejich roztoků jako zahušťovadla a gelotvorné látky. Zahušťovadla jsou látky, které se používají ke zvýšení viskozity kontinuální fáze emulzí, zatímco gelotvorné látky jsou složky, které se používají k vytvoření gelu v kontinuální fázi emulze. Modifikátory textury tedy zvyšují stabilitu emulze tím, že zpomalují pohyb kapek. [22]

Stabilita emulze se používá k popisu schopnosti odolávat emulzi změnám svých vlastností v čase. Existuje celá řada fyzikálně-chemických mechanismů, které jsou zodpovědné za změnu vlastností emulze. Hovoří se konkrétně o krémování, sedimentaci, flokulaci, koalescenci a fázové inverzi, všechny tyto mechanismy budou podrobněji popsány níže (viz. Obrázek 6). [23]

Procesy řízené gravitací (sedimentace a krémování) usnadňují procesy řízené rozhraním (flokulace, koalescence a Ostwaldovo zrání). Po emulzifikaci je vytvořena emulze, která je disperzní soustavou, ve které již není oddělená olejová a vodná fáze. V přítomnosti gravitace (buď za normálních nebo vysokých gravitačních podmínek, jako je například působení uměle zvýšené gravitace při použití centrifugy) je spuštěna rychlá separace (krémování nebo sedimentace) vodné fáze od fáze olejové. Pohyb kapiček a interakce kapiček se rychle vyvíjí a mechanismy koalescence a agregace probíhají příliš rychle. Během emulgace je účinek gravitace považován za dosti omezený, protože samotná emulgace je složitý a intenzivní energetický proces, který zahrnuje deformaci kapek, koalescenci a/nebo rozdělení kapek na menší části. Po ukončení emulgačního procesu a za nepřítomnosti gravitace však nedochází k separaci fází, pohyb kapiček a interakce kapiček se zpomaluje a v důsledku toho lze do hloubky studovat koalescenci a agregaci. [38]



Obrázek 6 - Destabilizace emulzních systémů [39]

2.3.1 Separace na základě gravitace

Při gravitační separaci, která nastává kvůli rozdílu v hustotě mezi vodnou a olejovou fází, je považována za klíčový faktor nestability. Tento proces navíc často působí společně s jinými mechanismy, což může výrazně urychlit rozpad emulze. Řadí se zde proces sedimentace a krémování. [31]

Sedimentace

Sedimentace popisuje pohyb kapek směrem dolů, protože vytvořené kapky mají vyšší hustotu než okolní kapalina. Sedimentace dispergované fáze je klíčovým parametrem pro určení celkové stability emulze. Rychlá separace je pro stabilitu emulzí nežádoucí, protože snižuje jejich životnost. Naopak rychlá sedimentace je žádoucí v zařízeních určených pro separaci kapalina-kapalina. Znalost rychlosti sedimentace umožňuje výpočet doby setrvání kapek v systému. Rychlost sedimentace může být popsána pomocí bezrozměrných parametrů, jako jsou součinitel odporu, Reynoldsovo číslo, poměr viskozit, poměr hustot nebo koncentrace dispergované fáze. Součinitel odporu určuje, jakým způsobem kapky interagují s prostředím během sedimentace. Reynoldsovo číslo ovlivňuje turbulentní nebo lamelární charakter proudění kolem kapek, což má vliv na jejich sedimentaci. Poměr viskozit vyjadřuje rozdíl ve viskozitách mezi dispergovanou fází a kontinuální fází, což ovlivňuje rychlost sedimentace. Koncentrace dispergované fáze zase vyjadřuje, jak vysoký je podíl kapek v emulzi, což ovlivňuje, jak se kapky při sedimentaci vzájemně ovlivňují. Tyto faktory mají zásadní vliv na chování emulzí při sedimentaci

a mohou být používány pro optimalizaci procesů v průmyslových aplikacích, jako je separace kapalin nebo stabilita emulzí. [40], [41]

Krémování

Krémování zase popisuje pohyb kapek směrem nahoru v důsledku toho, že mají nižší hustotu než okolní kapalina. Je to forma gravitační separace stejně jako výše zmíněná sedimentace. [39]

Stabilita proti krémování se zvyšuje několika způsoby, včetně zvýšení podílu dispergované fáze, snížení průměru kapek, snížení rozdílu hustoty mezi oběma fázemi nebo zvýšení viskozity spojité fáze. Rychlost krémování se může lišit v závislosti na velikosti kapek. [42]

2.3.2 Separace na základě agregace částic

Flokulace, koalescence a Ostwaldovo zrání vedou ke zvětšení velikosti kapek s časem, což není snadné rozlišit. Procesy řízené rozhraním, jako je koalescence (způsobená ztenčováním a narušením kapalného filmu mezi kapkami), agregace (tvorba shluku kapek) a Ostwaldovo zrání (v důsledku závislosti velikosti na rozpustnosti dispergované fáze v kontinuální fázi), vedou ke zvětšení velikosti kapek, a nakonec je systém rozdělen na dvě původní nemísitelné kapaliny. [43]

Flokulace

Flokulace je jedním z procesů fyzikální destabilizace emulzí, která zahrnuje vzájemnou agregaci kapek, ale na rozdíl od koalescence se kapky neshlukují do větších jednotek. Hlavní příčinou flokulace je nedostatečné elektrostatické a sterické odpuzování mezi kapkami, což umožňuje jejich přitahování a shlukování. K flokulaci dochází, když se dvě nebo více kapek spojí a vytvoří agregát, v němž si kapky zachovávají svou integritu. Vlastnosti rozhraní hrají klíčovou roli v tom, jak flokulace probíhá – důležité faktory zahrnují tloušťku rozhraní a povrchový náboj. Elektrostatická a sterická stabilizace pomocí biopolymerů snižuje destabilizaci emulzí, což zahrnuje i omezení flokulace. Různé způsoby adsorpce biopolymerů na rozhraní mohou ovlivnit stabilitu emulze a pravděpodobnost flokulace. Správná kombinace biopolymerů pomáhá minimalizovat flokulaci a jiné destabilizační procesy. [43]

Koalescence

Koalescenci je obtížné charakterizovat, protože probíhá velmi rychle a současně se prolíná s dalšími procesy, jako je gravitace (způsobující pohyb kapek směrem dolů nebo nahoru)

a dozrávání, které vede k jejich růstu. Je to proces, kdy se dvě nebo více kapek spojí a vytvoří jednu velkou kapku. Rychlost koalescence závisí na vlastnostech dispergované a spojitě fáze (například hustota, viskozita, pH) a fyzikálních podmínkách systému (teplota, tlak, vnější síly). Dále je ovlivněna chováním emulgátorů, které řídí mezifázové napětí, povrchový potenciál a frekvenci srážek kapek. Tento jev je klíčový pro návrh emulzí s požadovanými vlastnostmi. Pokud je koalescence rozsáhlá, tak může dojít k vytvoření samostatné vrstvy oleje na povrchu vzorku, což je známé jako tzv. oiling-off. Mikrofluidní technologie umožňuje přesněji studovat dynamiku a stabilitu koalescence emulzí. [44], [45]

2.3.3 Fázová inverze

Proces, při kterém je emulze O/V přeměněna na emulzi V/O nebo naopak, se označuje jako fázová inverze. Inverze emulze je úzce spojena s přítomností tukových krystalů, které při teplotách těsně nad jejich krystalizační teplotou fungují jako nukleační centra a výrazně urychlují přechod mezi typy emulze. Přítomnost krystalů zvyšuje rigiditu mezifázového filmu, omezuje deformaci kapek při kolizích a podporuje odvodnění filmu, což usnadňuje koalescenci. Fázová inverze je považována za samokatalytický proces, protože jakmile začne koalescence, rychlost inverze se zvyšuje. Při vysokém objemu dispergované fáze (např. 40 %) je voda zachycována uvnitř olejových kapek, což efektivně zvyšuje objem olejové fáze, snižuje vodivost systému a urychluje inverzi. Fázová inverze je výrazně ovlivněna chemickými faktory, především přítomností tukových krystalů v systému. [46]

K získání emulzí s úrovněmi stability vhodných pro průmyslové aplikace se používá několik metod. Mezi velmi populární metodu se řadí emulgace fázovou inverzí, která se vyznačuje svou nízkoenergetickou náročností. Zde se inverze dosahuje buď změnou teploty nebo složení, čím se získají jemně dispergované emulze udržitelnějším způsobem s ohledem na klasické vysokoenergetické míchací emulgační cesty. Tento jev je v průmyslu považován za velmi důležitý (výroba průmyslových produktů od potravin po léčiva). [47]

2.3.4 Ostwaldovo zrání

Ostwaldovo zrání je běžný proces, kterým je vyvolávána fyzikální nestabilita emulzí. Jedná se o nejběžnější mechanismus v emulzích obsahujících polární oleje, jako jsou aromatické nebo esenciální oleje. Pokud jsou v emulzi přítomny triglyceridy s krátkým řetězcem, které vykazují relativně vyšší rozpustnost ve vodě než triglyceridy se středním a dlouhým řetězcem, je emulze rovněž náchylná k Ostwaldovu zrání. Tento jev je charakterizován růstem velkých kapek na úkor malých, v důsledků transportu molekul oleje vodnou fází.

Ostwaldovo zrání emulze O/V obecně probíhá v několika fázích. Nejprve jsou molekuly oleje uvolňovány z kapek přes mezifázový film, následně dochází k jejich difúzi vodnou fází a poté jsou molekuly oleje přijímány do větších kapek přes mezifázový film. Pro umožnění difúze z menších kapek na větší, musí molekuly oleje nejprve projít mezifázovým filmem do vodné fáze. Rychlost Ostwaldova zrání je ovlivňována vlastnostmi mezifázového filmu. S rostoucím mezipovrchovým napětím se tento proces urychluje. Podle Lifshitz-Slyozov-Wagnerovy teorie může být Ostwaldovo zrání zpomaleno použitím emulgátorů, které snižují mezifázové napětí. Jak bylo uvedeno výše, během Ostwaldova zrání dochází ke zvětšování velkých kapek a současněmu zmenšování malých kapek. Pokud je mezifázový film kapek oleje vysoce odolný vůči změnám jejich povrchové plochy, může být Ostwaldovo zrání účinně zpomaleno. Emulze stabilizované biopolymery, jako jsou proteiny a polysacharidy, jsou vysoce stabilní vůči Ostwaldovu zrání, díky soudržným a pevným mezifázovým filmům, které brání deformaci kapek. Tento proces může být dále zpomalen zavedením dalších biopolymerních vrstev nebo zesíťováním mezifázové vrstvy pomocí enzymů, jako je transglutamináza či laktáza. Naopak u nápojových emulzí s vysokou transparentností jsou přednostně využívány povrchově aktivní látky s malými molekulami, které snižují velikost kapek, i když neposkytují dostatečnou odolnost vůči Ostwaldovu zrání. [48]

2.3.5 Faktory ovlivňující stabilitu emulze

Stabilita emulzí může být ovlivněna parametry, jako je obsah solí v systému, velikost kapek, teplota, pH, obsah oleje, obsah vody, doba míchání a koncentrace látek způsobující destabilizaci emulze a koncentrace modifikátorů viskozity. Povrchově aktivní látky (emulgátory) stabilizující emulze mají tendenci interagovat s vodou, což je klíčové pro jejich stabilitu. Když se zvyšuje obsah solí ve vodné fázi, tyto interakce slábnou, protože ionty soli mohou narušit strukturu mezifázového filmu. To vede k poklesu mezifázového napětí, což způsobuje větší sklony k destabilizaci emulze. Pro udržení stabilní emulze při vyšším obsahu solí je zvýšení koncentrace stabilizátoru emulze. Velikost kapek v emulzi má vliv na její stabilitu a viskozitu. Menší kapky vedou k větší stabilitě a viskozitě emulze, protože větší povrchová plocha mezi kapkami zvyšuje interakce mezi emulgátorem a dispergovanou fází. Naopak, větší kapky mají menší povrchovou plochu, což usnadňuje deemulgaci, tedy rozpad emulze, protože interakce mezi kapkami jsou slabší a mohou být snadněji spojeny. Zvýšením teploty dochází ke snížení viskozity emulze, což vede k destabilizaci mezifázového filmu kapek. Čím rychleji je film kapek odvodňován, tím snadněji dochází k deemulgaci, protože odvodnění filmu představuje klíčový krok v procesu oddělování fází

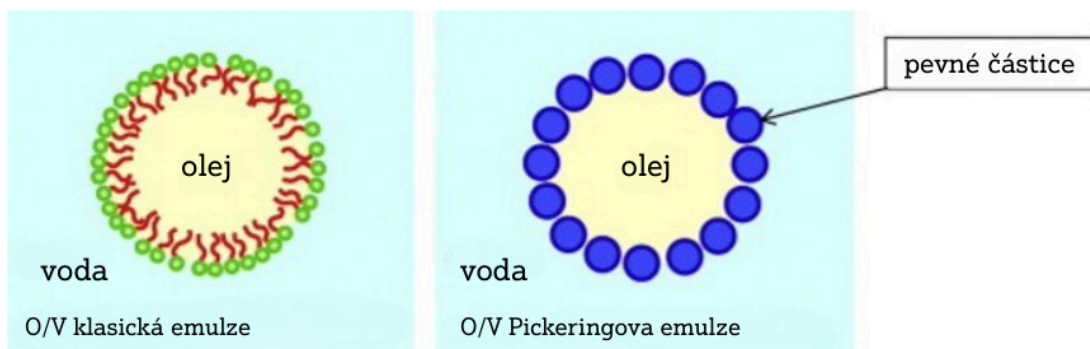
emulze. Z tohoto důvodu se tepelná úprava využívá jako jedna z účinných deemulgačních technik, jelikož přispívá k urychlení procesu koalescence kapek a následnému rozkladu emulze. pH emulze je určováno dispergovanou vodnou fází přítomnou v systému. Nižší pH svědčí o nižším obsahu vody v emulzi, což znamená, že vodná fáze je méně zastoupena. Emulze typu voda v oleji (V/O) se vyznačují nízkým, tedy kyselým pH, zatímco emulze typu olej ve vodě (O/V) obvykle vykazují vyšší, zásadité pH. Tento rozdíl vyplývá z odlišného uspořádání fází a jejich interakce s případnými ionty nebo látkami rozpustnými ve vodě. Zvýšená doba míchání nebo vyšší rychlost míchání u emulzí typu olej ve vodě (O/V) vede ke snížení celkového rozdělení velikosti dispergovaných kapek oleje. Tím je zároveň zajištěna vyšší stabilita emulze, protože je podporována lepší uspořádání částic, což je důsledkem zvětšené mezifázové oblasti. U emulzí s vyšším obsahem emulgátoru je pro dosažení požadovaného rozkladu emulze obvykle vyžadována vyšší koncentrace chemického deemulgátoru. To je způsobeno tím, že vyšší koncentrace emulgátoru zvyšuje stabilitu emulze, což činí její destabilizaci náročnější a vyžaduje přítomnost většího množství deemulgátoru k překonání této stability. [26]

Viskozita emulze je ovlivňována polarizací daného oleje, přičemž oleje s vyšší polaritou snižují mezifázové napětí, což vede ke zlepšení stability emulzí. U olejů s nižším stupněm nenasyacení dochází k posílení viskoelastického mezifázového filmu, čímž je stabilita emulzí zvýšena. Stabilita emulzí, které jsou stabilizovány různými emulgátory, je dále ovlivňována složením oleje, délkou jeho řetězce a viskozitou. [49]

Různé složení a vlastnosti oleje mohou způsobovat zjevné rozdíly v chování rozhraní olej-voda. Konkrétně jsou vlastnosti emulze (velikost kapiček, stabilita emulze) významně ovlivňovány rozdíly ve vlastnostech oleje, jako je délka uhlovodíkového řetězce, nasycení, viskozita, hustota, povrchové napětí a polarita. Mezifázové napětí může být obecně zvýšeno prodloužením uhlovodíkového řetězce, čímž je do určité míry inhibována disperze olejové fáze do vodné fáze. Avšak vyšší rozpustnost molekul esenciálního oleje ve vodě způsobuje, že k Ostwaldovu zrání dochází snadněji. Mechanismus vlivu různých olejů na stabilitu emulze zůstává stále nejasný. [31]

2.3.6 Pickeringovy emulze

Pickeringovy emulze jsou emulze jakéhokoliv typu (olej ve vodě, voda v oleji nebo násobné emulze), které jsou stabilizovány pevnými částicemi namísto povrchově aktivními látkami (viz. Obrázek 7).



Obrázek 7 - Pickeringovy emulze a klasické emulze (na bázi povrchově aktivní látky).
Pevné částice adsorbované na rozhraní olej-voda stabilizují kapičky místo molekul povrchově aktivní látky [50]

Pickeringové emulze si zachovávají základní vlastnosti emulzí stabilizovaných povrchově aktivními látkami, a proto mohou být v mnoha aplikacích použity jako náhrada za klasické emulze. Stabilizací pevnými částicemi jsou emulzím zajištěny specifické vlastnosti, přičemž hlavním přínosem je vysoká odolnost proti koalescenci. Systémy, ve kterých není vyžadováno použití povrchově aktivních látek, činí tyto produkty atraktivními pro několik oblastí použití, zejména kosmetické a farmaceutické aplikace, kde povrchově aktivní látky často vykazují nepříznivé účinky jako je např. dráždivost. Pevné stabilizační částice jsou menší než kapičky emulze. Dostupnost stabilních emulzí o velikosti částic v řádu mikrometrů je doplňkovou výhodou Pickeringových emulzí s ohledem na klasické emulze, což tato možnost vychází z jejich vysoké stability vůči koalescenci. [50]

Pickeringovy emulze, ve srovnání s tradičními emulzemi, mají vynikající stabilitu oproti Ostwaldovu zrání a koalescenci, což je široce používáno v odvětví potravin. I když Pickeringovy emulze mají teoreticky vysokou stabilitu, zůstávají termodynamicky nestabilními systémy. Pickeringovy emulze obsahující oleje s vyšší hustotou vzhledem k vodě, vykazují vyšší stabilitu ve srovnání s oleji s nižším poměrem hustoty vůči vodě. [31]

Stabilizace kapek emulze probíhá stejně jako v případě povrchových aktivních látek pomocí adsorpce pevných částic na povrchu kapek emulze. Mechanismus adsorpce je však velmi odlišný, protože pevné částice nemusí být amfifilní. Částečné smáčení povrchu pevných částic vodou a olejem je původcem silného ukotvení pevných částic na rozhraní olej-voda. Úspěšná příprava stabilních emulzí vyžaduje splnění dvou hlavních kritérií: emulze jsou dlouhodobě stabilní vůči jakémukoliv destabilizačnímu jevu (koagulace, koalescence, Ostwaldovo zrání); emulgační proces je možný. Dlouhodobá stabilita závisí

hlavně na formulaci, ale na procesu emulgace zaleží také, protože velikost kapek se často řídí smykovou rychlostí emulgačního procesu, stejně jako u jakékoli emulze na bázi emulgátoru. Výroba emulzí není pouze záležitostí samotného procesu, ale velkou mírou přispívají také stabilizátory. [50]

Hlavní procesy používané pro získání klasických emulzí mohou být také využity k výrobě Pickeringových emulzí. Pickeringova emulze může být připravena přidáním pevných částic do suspenze a následným použitím emulgačních technik, jako je vysokorychlostní homogenizace, vysokotlaká homogenizace nebo sonikace pomocí ultrazvukového homogenizéru. Podrobnosti o těchto emulgačních technikách pro emulze obecně, budou uvedeny v následující kapitole, kde jsou vysvětleny metodiky a aplikace používané v přípravě emulzí. [32]

2.4 Modifikátory viskozity

Viskozitu emulzí lze modifikovat pomocí různých látek, mezi které patří i hydrofilní polymery. Jedním z nich je xanthanová guma, dále hydroxyethylcelulóza, siligel, skleroglutan, algin apod. [51]

Xanthanová guma jako modifikátor viskozity

Xanthanová guma je přírodní hydrofilní polymer, který je řazen mezi aniontové extracelulární heteropolysacharidy s vysokou molekulovou hmotností. Je získáván aerobní fermentací cukrů mikroorganismem *Xanthomonas campestris* a je dostupný ve formě jemného prášku. Xanthanová guma je používána jako zahušťovadlo, stabilizátor emulzí, kondicionér a zvlhčující látka. Jedná se o negelující polymer, který umožňuje tvorbu vysoce viskoelastických roztoků i při nízkých koncentracích. Jeho struktura je stabilizována postranními řetězci manózy a kyseliny glukuronové. Xanthanová guma je široce využívána v kosmetických i potravinářských systémech, kde je aplikována zejména pro zvýšení stability emulzí a mírné zvýšení jejich viskozity. [51]

Hydroxyethylcelulóza

Hydroxyethylcelulóza je derivát rostlinné celulózy, který je používán jako vysoce efektivní zahušťovadlo. Jedná se o bílý prášek s jemnými částicemi, který se rozpouští ve studené i teplé vodě. Tato vlastnost je důsledkem zavedení hydroxyethylových skupin do struktury celulózy, což zvyšuje její rozpustnost ve vodě ve srovnání s nativní celulózou. Díky svým vlastnostem umožňuje tvorbu zcela čirých, transparentních a stabilních gelů.

Může být využita k přípravě homogenních systémů různé viskozity, přičemž nachází uplatnění v široké škále produktů. Tento polymer je často používán v gelech, šamponech a kondicionérech, stejně jako v kapalinách určených ke stabilizaci olejových a vodních emulzí. [52]

Skleroglukan

Skleroglukan je přírodní polysacharid, který je získáván fermentačním procesem. Tento kapsulární polysacharid je produkován některými nižšími houbami rodu *Sclerotium*. Díky své dobré rozpustnosti ve vodě jsou vytvářeny disperze s vysokou viskozitou, které zůstávají stabilní v širokém rozmezí hodnot pH i při zvýšených teplotách. Při koncentracích vyšších než 1,5 % dochází k tvorbě gelů. Skleroglukan, díky svým mukoadhezivní vlastnostem, je v kosmetických přípravcích, jako jsou krémy, séra, mléka a pleťové masky, využíván k vytvoření ochranné vrstvy, která pomáhá udržet vlhkost, podporuje regeneraci pokožky a zmírňuje její podráždění. Tímto způsobem jsou těmto přípravkům přisuzovány protizánětlivé a uklidňující účinky. Tento polysacharid je využíván jako zahušťovadlo a stabilizátor ve směsích povrchově aktivních látek, sérech a lotionech. [52], [53]

Algin TA 80-400

Algin je přírodní polysacharid, který je získáván z hnědých řas (*Phaeophyceae*). Tyto polysacharidy poskytují rostlinám pružnost a pevnost, což jim umožňuje odolávat extrémním podmínkám oceánského prostředí. Díky svým vlastnostem je využíván v kosmetických přípravcích, kde je aplikován pro své změkčující, zahušťující a stabilizační schopnosti. V přítomnosti dvojmocných kationtů je umožněna tvorba pevných a nevratných filmů. Algin je zpracováván za studena i za tepla a je rozpustný ve vodě. Jeho použití jako stabilizátoru a reologického modifikátoru přispívá k dosažení jasné, nelepivé struktury emulzí s příjemným pocitem na pokožce. Algin TA vykazuje účinnost zahušťování v širokém rozmezí pH. [52], [54]

Siligel™

Siligel™ je přírodní želírující složka, která je široce využívána pro zvýšení viskozity díky kombinaci polysacharidů a lecitinu. Tato optimalizovaná směs zajišťuje synergický účinek, jenž vede k 25% vyšší viskozitě, než by dosáhla každá složka samostatně. Siligel™ se používá jako gelující přípravek, koemulgátor, stabilizátor a suspendační činidlo. Vlastnosti zahrnují vysokou odolnost vůči elektrolytům a alkoholu, a také schopnost fungovat v širokém rozmezí pH. Díky své schopnosti snižovat transepidermální ztrátu vody

(TEWL) a zvyšovat penetraci aktivních látek, přispívá k lepším a rychlejším výsledkům. Jeho silikonový pocit na pokožce je rovněž ceněn. Tento modifikátor viskozity podporuje suspendování různých částic, včetně pigmentů, třpytek a dalších látek, a stabilizuje emulze. Siligel™ je vhodný pro použití v široké škále kosmetických produktů, včetně sér, pleťových vod, čistících přípravků, šampónů, exfoliačních gelů a make-upů. Výrobek je šetrný k životnímu prostředí a jeho výroba je ekologicky nezávadná. Tato složka, bez konzervačních látek, se doporučuje pro tvorbu vysoce účinných a esteticky příjemných formulací. [52], [55]

2.5 Využití emulzí

Emulze jsou široce využívány v různých odvětvích, a to především díky své schopnosti kombinovat nemísitelné kapaliny a vytvářet stabilní systémy. V kosmetice a farmacii jsou emulze používány pro přípravu produktů, jako jsou krémy, mléka, séra, pleťové masky a léčivé přípravky. Tyto systémy umožňují efektivní aplikaci aktivních látek na pokožku, zajišťují jejich lepší vstřebatelnost a prodlužují jejich účinek.

2.5.1 Kosmetika

V kosmetickém odvětví jsou emulze široce využívány, a to díky své schopnosti spojovat vodu a olej ve stabilní formy, což je klíčové pro výrobu různých produktů s požadovanými vlastnostmi. Emulze jsou používány pro zlepšení textury, účinnosti a stability produktů. Nejčastějšími formami emulzí v kosmetice, jak již bylo zmiňováno výše, jsou olej ve vodě a voda v oleji. Emulze olej ve vodě jsou využívány v pleťových krémech, mlécích, tonerech a osvěžujících sprejích, protože jsou ideální pro produkty určené k hydrataci a zklidnění pleti. Rychle se vstřebávají a nezanechávají mastný film. Emulze V/O tvoří základy jako mastnějších krémů a balzámů, které poskytují intenzivní výživu a ochranu pokožky před ztrátou vody. Složky jsou udržovány v homogenním stavu, čímž je zabráněno jejich separaci, což prodlužuje trvanlivost kosmetických produktů. Díky stabilnímu složení si kosmetické přípravky zachovávají své fyzikální a chemické vlastnosti po delší dobu, i za různých teplotních podmínek. Další výhodou využívání emulzí v kosmetice je zajištění lepší biologické dostupnosti účinných látek. Aktivní složky, jako jsou vitamíny, antioxidanty nebo hydratační složky, jsou efektivněji přenášeny do pokožky, což zvyšuje jejich absorpci a účinnost. Díky schopnosti efektivně transportovat aktivní látky do hlubších vrstev pokožky jsou emulze používány jako základní složka celé řady kosmetických přípravků – od pleťových krémů a sér až po tělová mléka. [56]

2.5.2 Farmacie

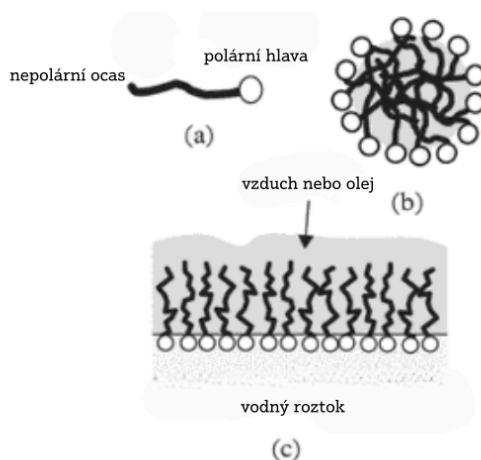
Ve farmacii se emulzní systémy používají například jako intravenózní emulze. Intravenózní emulze musí obsahovat malé kapky podobné velikosti červených krvinek. Tyto emulze se používají pro podávání vitamínů A, D, K a dalších v tucích rozpustných látek. Jako intravenózní emulze mohou být použity například vitamínové injekce a lipidové emulze, které jsou podávány pacientům, kteří nemohou přijímat potravu ústy. Dále se používají perorální emulze, které jsou používány pro maskování nepříjemné chuti a zápachu léčivých olejů. Tento typ emulze zlepšuje přijetí léků a jejich vstřebatelnost v těle. Například emulze ricinového oleje nebo rybího tuku jsou používány k podávání tukových vitamínů a omega-3 mastných kyselin. Emulze pro vnější použití jsou zase určeny pro aplikaci přímo na pokožku a mohou mít i polotuhou formu. Používají se pro topickou léčbu nebo kosmetické aplikace. Příkladem využití emulzí jsou mastné přípravky na bázi vody, jako jsou opalovací krémy, hydratační krémy nebo lokální léčivé masti určené k léčbě ekzémů a jiných kožních onemocnění. Mikroemulze, které jsou O/V nebo V/O typu s velmi malými kapkami, mají výhodu v lepší stabilitě a zvýšené biologické dostupnosti účinných látek. Například mikroemulze pro podání léčiv v dermatologii jsou aplikovány při místním použití protizánětlivých látek. Tento typ emulzí je používán pro dosažení vyšší účinnosti léčiv a zajištění jejich lepší absorpce do organismu. [57]

3 TENZIDOVÉ ROZTOKY

Povrchově aktivní látky jsou v roztocích (vodných nebo olejových) uspořádány do micel a adsorbovány na rozhraní s jinou fází (plynnou nebo pevnou), jak je znázorněno na Obrázku 8. Tyto vlastnosti jsou umožněny chemickou strukturou obsahující dvě odlišné funkční skupiny s různou afinitou v rámci jedné molekuly. Obvykle bývá přítomen alkylový řetězec s 8 až 12 uhlíky, který představuje hydrofobní (nebo také lipofilní) skupiny bez afinity k vodě. Dále je přítomna hydrofilní skupina, která se k vodě váže. Tato struktura, kombinující protichůdné vlastnosti, je označována jako amfifilní. [58]

Povrchově aktivní látky již neslouží pouze jako čisticí přípravky, ale jejich využití se rozšířilo na mnoho dalších funkcí, včetně solubilizačních činidel, emulgátorů, odpěňovacích a protizamlžovacích látek či činidel pro odstraňování tiskařské bravy. Díky svým rozmanitým vlastnostem se tyto látky používají nejen v průmyslu, ale i v kosmetickém odvětví, kde našly široké uplatnění. V kosmetice je význam povrchově aktivních látek zásadní, protože umožňují rovnoměrné promíchání nemísitelných kapalin, jako je olej a voda, usnadňují pronikání směsí do kůže a vlasů a zároveň zajišťují jejich dlouhodobou stabilitu. Vzhledem k tomu, že jejich funkce závisí na koncentraci, jsou nezbytné pro vývoj kosmetických produktů, kde ovlivňují vlastnosti přípravku i výsledný pocit při použití. [58]

Tenzidy jsou organické látky, které se již při nízkých koncentracích hromadí na fázovém rozhraní, čímž dochází ke snížení mezifázové energie, a označují se také jako povrchově aktivní látky. Oproti tomu, detergenty jsou směsi tenzidů a dalších složek, které podporují jejich detergenční účinek. [59]



Obrázek 8 - (a) zobrazení molekuly povrchově aktivní látky; (b) průřez sférickou micelou ve vodě; (c) adsorbovaná vrstva povrchově aktivních látek na rozhraní voda/vzduch nebo olej/voda [60]

3.1 Struktura a chemické vlastnosti tenzidů

Povrchově aktivní látky jsou rozdělovány na iontové a neiontové. Iontové povrchově aktivní látky se dále klasifikují jako aniontové, kde hydrofilní skupina ve vodném roztoku disociuje na aniony, kationtové, které se disociují na kationty, a amfoterní, jejichž disociace na aniony a kationty závisí často na pH prostředí. Neiontové povrchově aktivní látky ionty ve vodném roztoku nevytvářejí a jsou dále rozlišovány podle typu hydrofilní skupiny. Mezi běžné hydrofilní skupiny iontových povrchově aktivních látek patří karboxylát, sulfát, sulfonát, karboxybetain a sulfobetain. Například u mýdla je uhlovodíkový řetězec lipofilní složkou s afinitou k lipidům, zatímco karboxylátový anion plní funkci hydrofilní skupiny s afinitou k vodě. Ve vodném roztoku karboxylátový anion tvoří strukturu s protionty, jako je sodný, draselný nebo hořečnatý. U neiontových povrchově aktivních látek bývá hydrofilní složkou nejčastěji polyoxyethylenová skupina, avšak používány jsou také látky s glycerolovými nebo sorbitolovými skupinami, jejichž volba závisí na konkrétní aplikaci. Podle rozpustnosti se povrchově aktivní látky klasifikují jako hydrofilní, které se rozpouštějí ve vodě, nebo hydrofobní/lipofilní, jejichž rozpustnost se projevuje v lipidech. Obecně jsou iontové povrchově aktivní látky považovány za hydrofilní, zatímco u neiontových je rozpustnost ovlivněna rovnováhou mezi jejich hydrofilní a lipofilní složkou. K vyjádření tohoto poměru se využívá indikátor označovaný jako hydrofilně-lipofilní rovnováha (HLB). Při výběru povrchově aktivní látky pro konkrétní aplikace, například čisticí přípravky nebo emulgátory, se často používá právě HLB. Kromě tohoto indikátoru se však k popisu jejich vlastností využívají i bod zákalu u neiontových látek a Krafftův bod u iontových. [58]

Povrchově aktivní látky se ve vodných roztocích samovolně sdružují do agregovaných jednotek nazývaných micely. Tyto struktury vznikají na základě termodynamických interakcí mezi rozpouštědlem, nejčastěji vodou, a lyofobními (hydrofobními) částmi molekul tenzidů. [61]

3.2 Tenzidy v roztocích

Díky amfifilní struktuře povrchově aktivních látek mají negativní vztah k většině rozpouštědel, což vede k napětí mezi silami, které se snaží uspořádat molekuly v prostředí co nejefektivněji. Ve své energetické snaze minimalizovat nepříznivé interakce nebo maximalizovat příznivé interakce se svým prostředím jsou povrchově aktivní látky většinu času umístěny na rozhraních nebo vytvářejí asociace se stejnými molekulami. Povrchově aktivní látky jsou schopny spontánně vytvářet organizované struktury, které se

přizpůsobují svému prostředí. Tento proces sebeorganizace není řízen vnějším zdrojem energie, jako je tomu u jiných procesů (např. emulzifikace), ale je výsledkem energetických interakcí mezi molekulami povrchově aktivní látky a rozpouštědlem. Tvorba těchto struktur závisí na složitém souboru faktorů, které ovlivňují jejich velikost, tvar a povahu. Což je odlišné od krystalizačního procesu, kde jsou faktory jednodušší a více predikovatelné. To ukazuje, jak dynamické a flexibilní mohou být tyto struktury v závislosti na okolních podmínkách. Povrchově aktivní látky musí mít specifickou strukturu, která jim umožňuje adsorpci na rozhraních a snížení mezifázové volné energie. Pokud nejsou dostatečně rozpustné v dané fázi, nebudou schopné vykonávat požadované funkce. Strukturální rozdíly mohou výrazně ovlivnit jejich povrchovou aktivitu. [61]

Rozpustnost povrchově aktivních látek ve vodě závisí na několika faktorech, jako je délka hydrofobního řetězce molekuly, struktura hydrofilní části, náboj protiiontu, teplota systému a specifické podmínky roztoku. Teplota má vliv na rozpustnost, protože s jejím růstem se zvyšuje i rozpustnost některých látek ve vodě, což souvisí s fyzikálními vlastnostmi jejich pevné fáze (např. energií krystalové mřížky). To znamená, že povrchově aktivní látky mohou vykazovat odlišné chování v závislosti na teplotních a chemických podmínkách. Se zvyšující se teplotou je tvorba micel energeticky výhodnější než setrvání jednotlivých molekul v roztoku, a proto jsou micely za těchto podmínek častěji vytvářeny. [61]

Kritická micelární koncentrace (CMC) je koncentrace surfaktantu, při které začíná tvoření micel v roztoku. Je to bod, kdy surfaktant již není přítomen ve formě jednotlivých molekul, ale začíná se shlukovat do stabilních agregovaných struktur. Po překročení kritické micelární koncentrace dochází k termodynamicky výhodné tvorbě micel, čímž se zvyšuje celková rozpustnost surfaktantu v systému. Při těchto koncentracích jsou micely převládající formou, ve které se surfaktant v roztoku nachází. Kritická micelární koncentrace je důležitá, protože určuje, při jaké koncentraci surfaktant začne vykazovat své specifické vlastnosti, jako je zlepšení rozpustnosti a funkčnost v různých aplikacích. Micely mohou nabývat různých geometrických tvarů – například sférických, tyčinkovitých, diskovitých či hexagonálních – přičemž jejich konkrétní struktura je ovlivněna chemickou stavbou surfaktantních molekul a podmínkami prostředí. Kromě těchto struktur mohou micely vytvářet také lamelární struktury, které se skládají z několika vrstev, kde hydrofobní části molekul jsou uspořádány uvnitř a hydrofilní směrem ven. Tyto lamely se objevují při vyšších

koncentracích surfaktantů a hrají důležitou roli v různých aplikacích tenzidových roztoků, kde především ovlivňují jejich stabilitu. [62], [61]

3.3 Mechanismus účinku tenzidů

Tenzidy jsou v čistících přípravcích využívány k odstraňování nečistot prostřednictvím procesů, jako je detergence, emulgace a solubilizace. Jejich účinnost je dána amfifilní strukturou, díky níž je snižováno povrchové napětí, odstraňovány nepolární látky a usnadněna jejich dispergace ve vodném prostředí. Detergenční proces zahrnuje několik hlavních kroků – smáčení substrátu určeného k čištění, následnou interakci detergentu s nečistotou, její uvolnění z povrchu a stabilizaci v detergenční lázni. Tyto procesy mohou probíhat samostatně nebo současně. Tenzidy jsou zařazovány mezi detergenční přípravky, přičemž jejich hlavní funkcí je úprava vlastností rozhraní mezi dvěma fázemi. V čistících prostředích je zajišťováno smáčení povrchu a snižování mezifázového napětí mezi nečistotou a vodou, což umožňuje její následné odstranění ze substrátu a dispergaci ve vodné fázi. Většinu detergenčních přípravků tvoří anionické tenzidy, které se vyznačují vysokou účinností při odstraňování nečistot, a to především díky své schopnosti vytvářet stabilní micelární struktury ve vodném prostředí. [36]

3.4 Typy tenzidů a jejich použití

Tenzidy jsou klasifikovány podle povahy jejich hydrofilní části, která může být neionická, ionická nebo zwitterionická (amfoterní). Ionické tenzidy se dělí na anionické a kationické. [59], [60]

3.4.1 Anionické tenzidy

Anionické tenzidy jsou povrchově aktivní látky, které jsou charakterizovány negativně nabitou (anionickou) částí molekuly. Tyto látky snižují povrchové napětí na rozhraní mezi kapalinou a pevnou, kapalnou nebo plynnou fází. Anionické tenzidy mají široké využití v průmyslu, zemědělství, vědeckých studiích a každodenním životě, například čistící přípravky, kosmetika. Karboxylátové, sulfátové, sulfonátové a fosfátové skupiny jsou polární skupiny, které jsou přítomny v anionických tenzidech. Anionické tenzidy jsou využívány v mnohem větším objemu než jakákoliv jiná třída tenzidů. Mezi nejpoužívanější jednotlivé tenzidy patří mýdlo, následované lineárním alkylbenzensulfonátem. Celkově je anionickým tenzidům přisuzováno přibližně 70 % celkové spotřeby tenzidů. Jejich široké využití je přičítáno snadné a ekonomicky nenáročné výrobě. Anionické tenzidy jsou

zahrnuty do většiny detergentních formulací a nejvyšší účinnost při odstraňování nečistot je dosahována u alkylových a alkylarylových řetězců v rozsahu C12–C18. Mezi nejčastěji používané protionty patří sodík, draslík, amonium, vápník a různé protonované alkyaminy. Zatímco sodík a draslík přispívají k rozpustnosti ve vodě, vápník a hořčík podporují rozpustnost v oleji. Soli aminů nebo alkanolaminů umožňují dosažení rozpustnosti v oleji, tak ve vodě. [63], [64]

3.4.2 Kationické tenzidy

Kationické tenzidy jsou charakterizovány kladným nábojem a jejich adsorpce probíhá na záporně nabitých površích. Nejčastěji jsou zastoupeny kvarterními amoniovými solemi, např. cetyltrimethylamonium bromidem (CTAB), který je využíván ve studiích chování tenzidů. Kationické tenzidy jsou aplikovány v dezinfekčních přípravcích, kondicionérech na vlasy a jako antistatické přísady. Kromě kvarterních amoniových solí jsou známy i další kationické skupiny, například dialkylbenzylamoniové chloridy, které nacházejí uplatnění v dezinfekčních přípravcích. Díky své schopnosti interagovat s povrchy je kationickým tenzidům přisuzováno široké využití v průmyslu i každodenním životě. [60]

Kationické tenzidy vykazují odlišné asociační chování v nepolárních rozpouštědlech ve srovnání s anionickými tenzidy. Jejich agregace probíhá postupně a není dosud plně objasněna. Hlavní hnací silou agregace je polární hlava tenzidu, přičemž míra asociace se zvyšuje s klesajícím počtem uhlíkových atomů v alkylových skupinách. [65]

3.4.3 Amfoterní tenzidy

Amfoterní tenzidy jsou charakterizovány přítomností aniontové a kationtové skupiny v nedisociovatelné části své molekuly, což umožňuje jejich kombinaci s anionickými i kationickými tenzidy. Mezi nejčastěji používané amfoterní tenzidy patří betainy, které jsou ceněny pro svou schopnost snižovat dermální dráždivost, stabilizovat pěnivost a regulovat viskozitu. Kombinací betainu XII a alkylpolyglykolsulfátu je tvořen základ většiny kosmetických přípravků, jako jsou šampóny, tekutý mýdla a koupelnové pěny. Tyto látky se uplatňují také v přípravcích na mytí nádobí, kde slouží buď jako hlavní, nebo vedlejší tenzidový systém. Díky schopnosti regulovat viskozitu je umožněna výroba produktů s nižší koncentrací tenzidů, které však díky vysoké viskozitě působí jako koncentrované přípravky. [59]

Amfoterní tenzidy nesou náboj závislý na pH prostředí, který je při nízkém pH kladný a při vysokém pH záporný. Při určitém pH, nazývaném izoelektrický bod, je hlava molekuly považována za elektricky neutrální. Při vysokém pH se chovají jako anionické tenzidy, při nízkém pH jako kationické a při izoelektrickém bodě jako neionické. [60]

Izoelektrický bod je definován jako pH, při kterém nedochází k žádnému pohybu částic v elektrickém poli, čímž je dosaženo elektrické neutrality. Každý komponent směsi má svůj vlastní izoelektrický bod, přičemž směs jako celek tento bod nemá. Změna pH tedy ovlivňuje náboj tenzidů a jejich chování v roztoku. izoelektrický bod je tedy považován za klíčový pro pochopení změn v chování molekul v závislosti na pH a nábojích, které jsou těmito molekulami nesený. [66]

3.4.4 Neionické tenzidy

Neionické tenzidy obsahují hydrofilní skupiny, kterými jsou obvykle polyoxyethylenové řetězce. Tyto skupiny, připojené k přímým alkylovým řetězcům, vytvářejí alkoholové ethoxyláty. Pokud je hydrofobní část malá a hydrofilní část velká, hydrofilní část může být výrazně větší než hydrofobní. Alkylfenolové ethoxyláty, ve kterých jsou hydrofobní skupiny tvořeny alkylfenolovými zbytky, se široce používají jako silné čisticí detergenty. Monoctanové, dioctanové a trioctanové estery sorbitanu s karboxylovými kyselinami tvoří důležitou skupinu neionických tenzidů, označovanou jako Spany. Tyto látky mohou být ethoxylovány a vytvářejí tzv. Tweeny, které jsou obvykle ve vodě rozpustné, na rozdíl od Spanů, které jsou ve vodě nerozpustné. Tyto surfaktanty se používají jako emulgátory v kosmetických přípravcích a farmaceutických formulacích. Tenzidy s hydrofilními skupinami na bázi sacharidů získávají v poslední době na významu. Kromě sorbitanu může být esterifikována také glukóza nebo sacharóza, čímž vznikají alkylpolyglykosidy (APG), které se používají v detergitech, a sacharózové estery, jež nacházejí uplatnění především v potravinářství. Tato skupina tenzidů je často označována jako tzv. cukrové tenzidy. [60]

3.5 Aplikace tenzidových roztoků

Tato kapitola se bude zaměřovat na různé oblasti, kde nacházejí tenzidové roztoky své široké uplatnění. Tenzidy, díky své schopnosti měnit povrchové napětí a ovlivňovat vzájemnou mísitelnost kapalin, jsou klíčovými složkami v mnoha průmyslových a spotřebitelských aplikacích. Mezi nejčastější oblasti využití patří kosmetika, farmacie, potravinářství, čisticí prostředky, ale také nejrozumnější environmentální aplikace.

3.5.1 Kosmetika

Tenzidové roztoky jsou široce využívány v kosmetických produktech určených k čištění pokožky a vlasů, jako jsou sprchové gely, šampóny a pěny do koupele. Jejich hlavní funkcí je odstraňování nečistot a přebytečného mazu, přičemž ovlivňují také pěnící schopnost, šetrnost vůči pokožce a stabilitu formulace. V analýze sprchových gelů z různých typů trhů (Čína, Austrálie, Severní Amerika a Evropa) bylo zjištěno, že nejčastěji se používají sodium laureth sulfate (SLES) a cocamidopropyl betaine (CAPB), a to především díky jejich vysoké pěnivosti a účinnému čištění. Pro zmírnění agresivity tenzidů se přidávají látky, jako jsou glykosidy (např. cocoa glucoside, olive oil glucoside), které pocházejí z přírodních surovin. Dále se do formulací zařazují solubilizátory, jako je Pareth-9, zajišťující lepší rozptýlení vonných látek, a zahušťovadlo, např. Sucraclear HC-31, který upravuje konzistenci a stabilitu produktů. Často je také přítomno Polyquaternium-7, které snižuje vysušující účinek mycích složek a zjemňuje pokožku. Sprchové gely jsou formulovány tak, aby poskytovaly nejen účinné čištění, ale i příjemný senzorický zážitek, což ovlivňuje i jejich oblibu mezi spotřebiteli. [67], [68]

V kosmetických čistících přípravcích jsou stále častěji využívány probiotické kompozice, které podporují rovnováhu kožního mikrobiomu. Tyto formulace jsou tvořeny sprejově sušeným jogurtovým práškem, aniontovými a amfoterními tenzidy a mýdly mastných kyselin, čímž je umožněna inhibice nežádoucích bakterií a podpora růstu prospěšných mikroorganismů. Probiotické kompozice jsou nejčastěji aplikovány ve formě sprchových gelů nebo tenzidových roztocích, kde jsou využívány sarkosináty a glutamáty jako aniontové tenzidy a cocobetain nebo cocamidopropylbetain jako amfoterní složky. Pro ochranu pokožky je často přidáván již zmiňovaný kationtový polymer Polyquaternium-7. Dále jsou do těchto produktů zahrnuty PEG-40 (polyethylenglykol s průměrnou molekulární hmotností 40) hydrogenovaný ricinový olej nebo kokosový glukosid, čímž je zajištěna jemnější účinnost a lepší stabilita formulace. Díky tomuto inovativnímu složení je umožněno nejen účinné čištění pokožky, ale i podpora jejího přirozeného ekosystému. [54]

3.5.2 Farmacie

Solubilizace pomocí tenzidů je ve farmaceutických formulacích technika, která se používá ke zvýšení rozpustnosti málo rozpustných léčiv, což je klíčové zejména v raných fázích farmakologického hodnocení. Tenzidy umožňují inkorporaci léčiv do micel, čímž se zvyšuje jejich biologická dostupnost. Výhody využití tenzidů spočívají ve zvýšení rozpustnosti léčiv

bez nutnosti chemické modifikace účinné látky. Dále je možná aplikace pomocných rozpouštědel (látky, které zlepšují rozpustnost určité látky v hlavním rozpouštědle) a tenzidů namísto syntézy nových, lépe rozpustných sloučenin, což šetří čas a náklady. Tenzidy mohou sloužit také jako pomocné látky, např. pro stabilizaci formulace. Mezi omezení a potencionální rizika patří omezená kapacita micel pro léčivo, což může ovlivnit maximální dosažitelnou koncentraci účinné látky. Rovněž mohou nastat nežádoucí účinky tenzidů na organismus při krátkodobém i dlouhodobém užívání. Interakce s dalšími složkami formulace, jako jsou konzervační látky, aromata nebo barviva, mohou ovlivnit stabilitu a účinnost konečného produktu. [69]

II. PRAKTICKÁ ČÁST

4 CÍLE PRÁCE

Cílem této diplomové práce bylo připravit emulzní systémy a tenzidové roztoky obsahující různé koncentrace vybraného modifikátoru viskozity, identifikovat vhodný modifikátor a stanovit jeho optimální přídavek do kosmetické formulace. Součástí práce bylo provést základní fyzikální charakterizaci těchto systémů, zejména měření viskozity za definovaných podmínek a sledování stability při laboratorní teplotě. U emulzních vzorků bylo navíc provedeno senzorické hodnocení klíčových vlastností, jako jsou roztíratelnost, viskozita a vstřebatelnost. Výsledky byly následně vyhodnoceny na základě změn reologických vlastností a vizuální stability.

5 METODIKA

Tato kapitola popisuje postupy použité při přípravě emulzních systémů a tenzidových roztoků, které byly následně analyzovány z hlediska viskozity, stability a senzorických vlastností. Jsou zde uvedeny informace o použitých chemikáliích, přístrojích a pomůckách, podrobné metody přípravy vzorků a charakterizace použitých látek. Dále je popsán postup měření viskozity rotačním viskozimetrem MYR V2-L a metodika vyhodnocení výsledků, včetně sledování stability a senzorické analýzy emulzních systémů a tenzidových roztoků

5.1 Použité chemikálie, pomůcky a zařízení

V této části jsou uvedeny všechny chemikálie, pomůcky a zařízení, které byly použity při přípravě vzorků emulzí a tenzidových roztoků v rámci této diplomové práce. Tyto materiály byly pečlivě vybrány na základě jejich vlastností a vhodnosti pro experimentální postupy.

Pro experiment byly použity následující chemikálie:

- Destilovaná voda (Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně)
- Dermosoft® 1388 ECO; INCI: Aqua, Glycerin, Sodium Levulinate, Sodium Anisate (www.naturestore.cz)
- Slunečnicový olej 1000ml; High oleic (www.naturestore.cz)
- Olivoil; INCI: Potassium Olivoil, Hydrolyzed Avenate Protein, Cetearyl Alcohol, Glyceryl Oleate, Glyceryl Stearate, Potassium Hydroxid (KOSURO)
- Cetyl Alkohol; INCI: Cetyl Alkohol (www.naturestore.cz)
- Clearthix S; INCI: Cellulose Gum, Algin (www.naturestore.cz)
- Natrosol 250 HX; INCI: Hydroxyethylcelluse (www.naturestore.cz)
- Xanthanová guma - transparent (www.naturestore.cz)
- Siligel™ (www.naturestore.cz)
- Dermofeel Viscolid; INCI: Hydrogenated Rapeseed Oil (www.naturestore.cz)
- Algin TA (www.naturestore.cz)
- Sclerotium; INCI: Scleroglucan (www.naturestore.cz)
- Solagum AX; INCI: Acacia Senegal Gum, Xanthan Gum (www.naturestore.cz)

- SLES 27%; INCI: Sodium Laureth Sulfate (Enaspol a.s.)
- Flavol KDA 40%, INCI: Cocamidopropyl Betaine (Enaspol a.s.)
- Alfonal 92%; INCI: Cocomide DEA (Enaspol a.s.)
- Glycerol bezvodý (Ing. Petr Lukeš)
- Igepal® CA-520 (Sigma-Aldrich)
- Igepal® CA-720 (Sigma-Aldrich)
- Undekan > 99% (Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně)

Pro experiment byly použity následující pomůcky:

- Laboratorní sklo
- Nerezová misky s ručním šlehačem (metlou)
- Plastové vzorkovnice se šroubovacím uzávěrem (centrifugační zkumavky, 50 ml)
- Set spindlu Viscotech
- Adapter pro heliodální pohyb HELDAL – laboratorní potřeby a technika (MANEKO – Česká republika)

Pro experiment byly použity následující přístroje:

- Analytické váhy DENVER INSTRUMENT SI-234 (Velká Británie)
- Magnetické míchadlo s ohřevem Heidolph MR Hei-Standard (Německo)
- Viskozimetr rotační Myr V2-L (Polsko)
- Vařič ETA 2107 (Česká republika)
- Homogenizátor Ika T25 digital ULTRA TURRAX (Německo)

5.2 Charakterizace použitých látek

Tato kapitola shrnuje charakterizaci látek použitých při přípravě emulzí a roztoků tenzidů, popis jejich složení i vlastností modifikátorů a jejich optimálního použití.

5.2.1 Popis použitých surovin

V této části je uvedeno složení jednotlivých použitých látek, které byly použity v rámci experimentu.

Dermosoft® 1388 ECO je konzervační látka rozpustná ve vodní fázi, doporučené pH je 4–5,5, používá se v koncentraci 2,0–4,0 %, poskytuje ochranu proti plísním, bakteriím a kvasinkám. Je složen z organických kyselin rostlinného původu, má přírodní vůni a je schválen Ecocertem pro použití v přírodní kosmetice. [52]

Slunečnicový olej High Oleic je lehký, stabilní rostlinný olej vhodný pro použití v kosmetice. Vyniká vysokým obsahem kyseliny olejové (až 95 %), což mu zajišťuje dobrou oxidační stabilitu. Obsahuje vitamíny A, D a zejména E, který působí jako přírodní antioxidant. Díky nízkému obsahu nenasycených mastných kyselin je považován za zdravější variantu oproti běžným tukům. [52]

Olivoil je rostlinného původu (z olivového oleje) a slouží jako samoemulgující vosk do emulzí typu olej ve vodě. Používá se v koncentraci 3–10 %, roztavený v olejové fázi při teplotě okolo 65 °C. Vytváří stabilní emulze bez nutnosti přidání dalších emulgátorů a je vhodný i pro velmi citlivou pokožku. Výsledné emulze jsou jemné, dobře vstřebatelné, s hydratačním a změkčujícím efektem. Optimální pH pro stabilitu emulze je 5–8. [70]

Cetylalkohol je bílá, voskovitá látka rostlinného původu, používána jako koemulgátor v emulzních systémech typu olej ve vodě. Přispívá ke zpevnění emulzí a zlepšuje konzistenci. Je dobře snášený pokožkou a představuje vhodnou alternativu pro osoby alergické na včelí vosk. V kosmetických přípravcích se obvykle používá v koncentraci 0,5–10 %. [52]

Sodium Laureth Sulfate 242 (SLES) je jemný anionický tenzid založený na přírodním alkohol ethoxylátu C12–C14 s 2 moly EO (navázané dvě molekuly ethylenoxidu). Používá se zejména v přípravcích osobní hygieny a čistící kosmetice, díky své vysoké pěnivosti, výborným čistícím vlastnostem a schopnosti emulgace. Vyznačuje se nízkou dráždivostí vůči pokožce a velmi dobrou biologickou odbouratelností. Je dostupný i ve variantách konzervovaných benzoátem sodným nebo CMIT/MIT (směs dvou konzervantů – Chlormethylisothiazolinone/Methylisothiazolinone), což umožňuje jeho využití i v přírodní a šetrnější kosmetice. [71]

Flavol KDA je amfoterní tenzid, který zlepšuje pění, viskozitu, smáčení a má antistatické vlastnosti. Používá se v kosmetických přípravcích, jako jsou šampony, kondicionéry, tekutá mýdla a čistící přípravky. Vyniká výbornou snášenlivostí s pokožkou, stabilitou pěny i v tvrdé vodě a kondicionačními účinky na vlasy. [71]

Alfonal K je neionogenní tenzid používaný v kosmetických a čistících přípravcích jako smáčedlo, změkčující a antistatická přísada. Vyniká skvělými smáčecími, antikorozními a antistatickými vlastnostmi, což ho činí užitečným i v textilním a kovodělném průmyslu. [71]

Glycerol je hustá, bezbarvá kapalina, která je ideální pro kosmetiku díky svým hydratačním a emolientní vlastnostem. Pomáhá udržet pleť vláchnou a hydratovanou, je vhodný do krémů, gelů, sér a přípravků na vlasy. [72]

Clearthix S (INCI: Cellulose Gum, Algin) je směs alginátu sodného a celulózové gumy určená pro použití ve vodné fázi jako modifikátor viskozity nebo gelotvorná látka. Používá se v koncentraci 0,5–1 %. Je snadno dispergovatelná ve vodě, nevyžaduje neutralizaci a je stabilní vůči pH, teplu a alkoholu. Díky synergii s nízkými koncentracemi kyseliny hyaluronové umožňuje tvorbu čirých gelů podobných karbomerům, představuje tak jejich vhodnou alternativu. [52]

Natrosol 250 HX (INCI: Hydroxyethylcellulose) je zahušťovadlo rostlinného původu pro použití ve vodné fázi. V koncentraci 0,1–4 % vytváří čiré, stabilní gely bez lepivého pocitu. Je vhodný pro pleťová séra, gely, šampony, kondicionéry a řasenky. Rozpouští se ve studené i teplé vodě a slouží také ke stabilizaci emulzí. [52]

Xanthanová guma – transparent (INCI: Xanthan Gum) je přírodní zahušťovadlo a stabilizátor emulzí vhodný pro vodnou fázi. V koncentraci 0,2–2% zvyšuje viskozitu, podporuje stabilitu emulzí a působí jako zvlhčující látka a kondicionér. Má jemnou strukturu a je ideální pro gely, krémy či pleťová séra. [52]

SiligelTM (INCI: Xanthan Gum, Lecithin, Sclerotium Gum, Pullulan) je multifunkční gelotvorná látka pro vodnou fázi s dávkováním 0,5–2 %. Slouží jako přírodní zahušťovadlo, koemulgátor, stabilizátor a zlepšovač textury. Vytváří transparentní gely, zvyšuje stabilitu emulzí a zanechává sametový pocit na pokožce. Vhodný i pro vlasovou péči. [52]

Dermofeel Viscolid je přírodní zahušťovadlo olejové fáze s bodem tání 60 °C, které vytváří jemné, krémové oleogely. Stabilizuje emulze V/O, ve směsi s emulgátory zvyšuje viskozitu a zlepšuje stabilitu emulzí O/V. Je kompatibilní s rostlinnými i esterovými oleji a ideální pro masážní produkty – zachovává senzorický profil oleje a taje při kontaktu s pokožkou. Snadno se zapracovává při teplotách nad 60 °C. [52]

Algin TA je přírodní polysacharid z hnědých řas, certifikovaný organizacemi Ecocert a Cosmos. V kosmetice slouží jako zahušťovadlo, stabilizátor a reologický modifikátor. V koncentraci 0,1–2 % vytváří čiré, nelepivé textury s příjemným pocitem na pokožce. Je rozpustný ve vodě zpracovatelný za studena i tepla a stabilní v širokém rozmezí pH. [52]

Sclerotium (INCI: Sclerotium Gum) je přírodní polysacharid získaný fermentací hub rodu *Sclerotium*. V kosmetice se používá jako zahušťovadlo a stabilizátor v sérech, lotionech či maskách. V koncentraci nad 1,5 % tvoří gely. Je rozpustný ve vodě, stabilní při vyšších teplotách a v širokém rozmezí pH. Navíc má zklidňující a protizánětlivé účinky. [52]

Solagum AX (INCI: Acacia Senegal Gum, Xanthan Gum) je přírodní kombinace akáciové a xanthanové gumy. Slouží jako zahušťovadlo a stabilizátor vhodný jak pro emulze a krémy (0,1–0,5 %), tak i pro šampony, sprchové gely nebo vlasové produkty (1,5–2,5 %). Umožňuje vytvoření krémové konzistence i při nízké koncentraci. [52]

Na Obrázku 9 jsou zobrazeny modifikátory viskozity, které byly použity při přípravě kosmetických formulací. Na fotografii jsou zobrazeny vzorky těchto zahušťovadel ve své surové formě, což poskytuje lepší představu o jejich vzhledu a struktuře. Tyto zahušťovadla slouží k modifikaci viskozity emulzí a tenzidových roztoků.



Obrázek 9 - Různé typy zahušťovadel použitých v kosmetických formulacích

Igepal CA-520 je neionický tenzid patřící do skupiny oktfeno-ethoxylátů. Je navržen pro emulgaci nepolárních uhlovodíkových rozpouštědel a olejů, což z něj činí účinný emulgátor v různých průmyslových aplikacích. [73]

Igepal CA-720 je neiontový tenzid ze skupiny oktfenol-ethoxylátů s HLB hodnotou 14,6 určený při emulgaci a snižování povrchového napětí v různých průmyslových aplikacích. Díky své kompatibilitě s aniontovými a kationtovými látkami je vhodný pro použití v čistících prostředcích, zpracování textilu, papíru a zemědělství. [74]

Undekan je nenasycený alifatický uhlovodík patřící mezi lineární alkany. Jedná se o bezbarvou kapalinu s nízkou viskozitou, která je prakticky nerozpustná ve vodě a má nižší hustotu než voda. [75]

5.3 Příprava vzorků

V této kapitole budou popsány metody přípravy vzorků. Ta byla rozdělena do tří hlavních částí, které budou podrobně popsány v následujících podkapitolách.

5.3.1 Příprava emulzních systémů s HLB 11,5 pomocí zařízení Ultra-turrax

Pro experimentální část byly nejdříve připravovány emulzní systémy typu olej ve vodě (O/V) s cílem optimalizovat jejich stabilitu. Olejovou fází tvořil undekan, zatímco vodná fáze byla složena z destilované vody. Poměr obou fází byl stanoven na 5:95 a 30:70.

K emulgaci byly použity neiontové emulgátory Igepal 520 a Igepal 720, jejichž celková koncentrace činidla 3 % z celkového množství emulze. Poměr emulgátorů byl vypočítán podle HLB systému, přičemž výsledná hodnota byla nastavena na 11,5. Potřebná množství jednotlivých emulgátorů byla stanovena na základě rovnice 1:

$$HLB = x_1 \cdot HLB_1 + x_2 \cdot HLB_2 \quad (1)$$

kde je x_1 – hmotnostní zlomek olejové složky;

x_2 – hmotnostní zlomek vodné složky;

HLB_1 – HLB hodnota Igepal CA 520;

HLB_2 – HLB hodnota Igepal CA 720.

V tabulkách 1 a 2 jsou uvedena množství jednotlivých složek pro přípravu emulzí o HLB 11,5, včetně specifikace příslušného množství modifikátoru viskozity a 3% podílu emulgátorů (Igepal 520 a Igepal 720).

Tabulka 1 - Vypočtená množství olejové a vodné fáze, emulgátorů a 1 % modifikátoru viskozity pro emulzi o hodnotě HLB 11,5 a celkovém množství emulgátoru 3 %

Poměr	Olejová fáze [g]	Vodná fáze [g]	Igepal 520 [g]	Igepal720 [g]	Modifikátoru viskozity [g]
5:95	0,970	18,246	0,386	0,214	0,184
30:70	5,820	13,444	0,386	0,214	0,136

Tabulka 2 - Vypočtená množství olejové a vodné fáze, emulgátorů a 2 % modifikátoru viskozity pro emulzi o hodnotě HLB 11,5 a celkovém množství emulgátoru 3 %

Poměr	Olejová fáze [g]	Vodná fáze [g]	Igepal 520 [g]	Igepal720 [g]	Modifikátoru viskozity [g]
5:95	0,970	18,246	0,386	0,214	0,184
30:70	5,820	13,444	0,386	0,214	0,136

Postup přípravy emulzních systémů s HLB 11,5:

Emulgátory byly nejprve naváženy v odpovídajících množstvích podle stanovené HLB hodnoty. Olejová a vodná fáze byly smíchány a emulgace probíhala za použití homogenizátoru Ultra-turrax při dvou různých rychlostech – 13 400 ot/min a 3400 ot/min. Pro každý vzorek bylo připraveno 20 g emulze (viz. Obrázek 10).



Obrázek 10 - Homogenizátor Ika T25 digital ULTRA TURRAX

5.3.2 Příprava emulzních systémů za použití zahřívání ve vodní lázni

Pro experimentální část byly připraveny emulzní vzorky, přičemž každá formulace byla zhotovena v množství 30 g. Základní emulze byla připravena vždy ve stejném složení, přičemž jeden vzorek neobsahoval žádný modifikátor viskozity a další dva vzorky tvořily dvojice s přidavkem jednotlivých modifikátorů ve dvou koncentracích – 1 % a 2 %.

Vypočtená množství jednotlivých složek (Tabulka 3) byla vždy navážena s přesností na 0,0001 g a to tak, že olejová fáze složená ze slunečnicového oleje, emulgátoru Olivoil a cetylalkoholu byla navážena do jedné kovové misky. Do druhé kovové misky byly naváženy složky vodné fáze – destilovaná voda, konzervant Dermosoft a vybraný modifikátor viskozity. V případě modifikátoru, který je rozpustný v olejové fázi (Dermofeel Viscolid), byl tento modifikátor přidán do fáze olejové.

Olejová fáze byla následně zahřívána ve vodní lázni na teplotu přibližně 50 °C, tj. teplotu tání tukových složek. Během zahřívání byla směs látek kontinuálně promíchávána metličkou (viz. Obrázek 11). Po úplném rozpuštění tukových složek byla za stálého míchání postupně přilita vodná fáze. Následně byla emulze promíchávána po dobu přibližně 10 minut, dokud nedošlo k jejímu vychladnutí.



Obrázek 11 - Vzorek bezprostředně po homogenizaci, zachycený během procesu chladnutí

Hotové emulze byly přelity do plastových vzorkovnic a označeny podle typu použitého modifikátoru viskozity a jeho koncentrace. Vzorky byly následně uschovány při laboratorní teplotě a sloužily k dalším analýzám.

Tabulka 3 - Rámcové složení emulzí

Název složky	Množství [%]
Voda	85
Dermosoft	2
Zahušťovadlo	1 nebo 2*
Slunečnicový olej	10
Olivoil	2
Cetyl alkohol	1

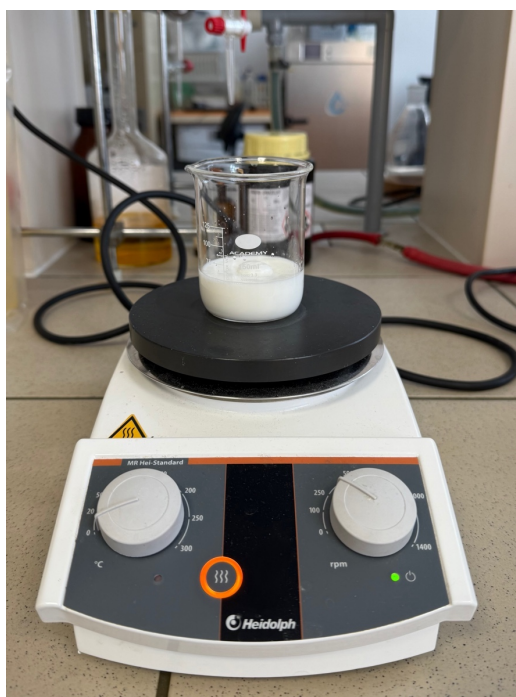
*Poznámka: koncentrace modifikátoru viskozity (1 % a 2 %) byla stanovena vzhledem k hmotnosti vodné fáze, nikoli celkové hmotnosti emulze., Pro výpočet množství zahušťovadla byla použita rovnice 2:

$$\text{Množství zahušťovadla} = \left(\frac{\text{Požadovaná koncentrace}}{100} \right) \cdot \text{hmotnost vodné fáze} \quad 2)$$

5.3.3 Příprava tenzidových roztoků za použití magnetického míchadla s ohřevem

Tenzidové roztoky byly připravovány v 50g množství. Příprava probíhala ve dvou fázích – vodná a tenzidová fáze a to tak, že na analytických váhách byly zvlášť naváženy složky vodné fáze (voda a modifikátor viskozity), které byly umístěny do kádinky. V některých případech byl modifikátor (například xanthanová guma) ponechán několik minut bobtnat.

Druhá část složení (viz. Tabulka 4) byla navážena do samotné kádinky a umístěna na magnetické míchadlo s ohřevem (viz. Obrázek 12). Při míchání byla do tenzidové fáze postupně přilévána vodná fáze s rozpuštěným modifikátorem viskozity. Po spojení obou fází byl roztok dále homogenizován a ponechán k vychladnutí. Následně byl přeléván do plastových vzornic určených k analýze.



Obrázek 12 - Tenzidový roztok během přípravy na magnetickém míchadle s ohřevem (Heidolph MR Hei-Standard)

Vzorky byly připravovány ve shodném složení (viz. Tabulka 4), přičemž jeden vzorek byl bez modifikátoru viskozity a další tvořily dvojice s přidavkem 1 % a 2 % modifikátoru viskozity (vypočítáno na základě hmotnosti vodné fáze). Modifikátor Dermofeel Viscolid byl z hodnocení vyloučen, protože je rozpustný pouze v olejové fázi a není vhodný pro použití v tenzidových systémech.

Tabulka 4 - Rámcové složení tenzidového roztoku

Název složky	Množství [%]
SLES 27%	10
Flavol 40%	5
Alfonal K 92%	3
Glycerol	1
Voda	do 100
Zahušťovadlo	1 nebo 2

*Poznámka: koncentrace modifikátoru viskozity (1 % a 2 %) byla stanovena vzhledem k hmotnosti vodné fáze, nikoli celkové hmotnosti emulze., Pro výpočet množství zahušťovadla byla použita rovnice 2.

5.4 Měření viskozity rotačním viskozimetrem MYR V2-L

Viskozita vzorků byla stanovena pomocí rotačního viskozimetru MYR V2-L (distributor: MANEKO – Česká republika), který pracuje na principu měření odporu vzorku proti otáčejícímu se vřetenu. Přístroj je vybaven LCD displeje, umožňuje volbu měřicího rozsahu, vřetena a otáček, a poskytuje přímý odečet viskozity v jednotkách mPa·s (miliPascal-sekundy) [76]. Měření byla prováděna při laboratorní teplotě 25 ± 1 °C po 24 hodinách, dále 7 dnech, 14 dnech, 21 dnech a 28 dnech. Použitý přístroj je znázorněn na Obrázek 13 - Rotační viskozimetr MYR V2-L



Obrázek 13 - Rotační viskozimetr MYR V2-L

5.4.1 Měření viskozity rotačním viskozimetrem MYR V2-L emulzních systémů

Měření viskozity emulzních vzorků probíhalo za použití rotačního viskozimetru MYR V2- L, ke kterému byl připojen adaptér HELDAL umožňující heliodální pohyb vřetene. Tento adaptér zajišťoval rovnoměrné promíchání během měření, a tím minimalizoval vznik mrtvých zón a zajišťoval reprezentativní výsledek i u viskóznějších nebo strukturálně méně stabilních vzorků (viz. Obrázek 14).



Obrázek 14 - Rotační viskozimetr MYR V2-L s adaptéry PD/PE při měření vzorku emulze

Pro měření vzorků emulzních systémů byla použita vřetena typu PD a PE ze sady HELDAL (viz. Obrázek 15). Výběr konkrétního vřetena byl vždy závislý na viskozitě vzorku.



Obrázek 15 - HELDAL adaptéry k rotačnímu viskozimetru MYR V2-L

Otáčky vřetene byly zvoleny individuálně dle předpokládané viskozity vzorku, přičemž počáteční otáčky byly stanoveny předběžně, a dále upravovány v rozsahu 1-12 ot/min na základě viskozity vzorku, aby byl dosažen stabilní chod a hodnoty v měřitelném rozsahu přístroje. Po zvolení vhodných parametrů bylo každé měření provedeno po dobu jedné minuty, přičemž výsledná hodnota viskozity byla odečtena po ustálení hodnot viskozity

na displeji přístroje. Mezi jednotlivými měřeními bylo zařízení důkladně očištěno destilovanou vodou.

5.4.2 Měření viskozity rotačním viskozimetrem MYR V2-L tenzidových roztoků

Viskozita tenzidových roztoků byla měřena pomocí rotačního viskozimetru MYR V2-L (distributor: MANEKO – Česká republika), a to za laboratorní teploty 25 ± 1 °C. Pro tato měření byl použit set spindlů Viscotech, konkrétně TL6 a TL7. Volba spindlu byla vždy přizpůsobena viskozitě daného vzorku, přičemž nejčastěji byl využit spindel TL7, které umožňuje měření i u vzorků s vyšší viskozitou (viz. Obrázek 16). Vzorky byly před samotným měřením jemně promíchány.



Obrázek 16 - Typy spindlů VISCOTECH u rotačního viskozimetru MYR V2-L

Každý tenzidový roztok byl připraven ve třech variantách – bez modifikátoru viskozity, dále pak s jednotlivými modifikátory viskozity v koncentraci 1 % a 2 %. U každého vzorku byly měřeny změny viskozity v časových intervalech 24 hodin, 7 dní, 14 dní, 21 dní a 28 dní od přípravy. Sledována byla nejen změna viskozity v čase, ale stejně jako u emulzních systémů byla pozorována i stabilita vzorků vizuálním hodnocením, tj. případné separace složek, zákal, změny struktury nebo známkem mikrobiální kontaminace.

5.5 Hodnocení viskozity u emulzních systémů a tenzidových roztoků

Tato kapitola bude shrnovat postupy hodnocení účinnosti jednotlivých zahušťovadel na základě měření viskozity a sledování stability vzorků. Bude zahrnovat jak emulzní systémy, tak tenzidové roztoky, přičemž hodnocení probíhalo pomocí reologických a vizuálních metod, včetně senzorického posouzení vybraných vzorků emulzních systémů.

5.5.1 Hodnocení výsledků měření viskozity emulzních systémů

Vývoj viskozity emulzních systémů v čase:

Pro vyhodnocení účinnosti jednotlivých zahušťovadel byla analyzována změna viskozity emulzních vzorků v čase. U každého vzorku (bez zahušťovadla, s 1% a 2% koncentrací zahušťovadla byla zaznamenávána viskozity v pěti časových intervalech (po 24 hodinách, 7 dnech, 14 dnech, 21 dnech a 28 dnech). Naměřené hodnoty byly následně graficky zpracovány.

Procentuální změna viskozity v čase

V rámci hodnocení emulzních systémů byla použita procentuální změna viskozity jako jedna z vyhodnocovacích metod. Pro každé zahušťovadlo (včetně jejich koncentrací 1 a 2 %) byla měřena viskozita v pravidelných 7 denních intervalech pomocí rotačního viskozimetru MYR V2-L. Měřené hodnoty viskozity byly zaznamenávány v jednotkách mPa·S pro každý vzorek. Procentuální změna viskozity byla vypočítána na základě počáteční hodnoty viskozity (24 hod) a hodnoty měřené v dalších 7 denní intervalech. Tento výpočet probíhal podle následujícího rovnice 3:

$$\text{Procentuální změna} = \frac{\text{Hodnota v daném intervalu} - \text{Hodnota po 24 hodinách}}{\text{Hodnota po 24 hodinách}} \cdot 100 \quad (3)$$

Například u vzorku Clearthix 1 % s výchozí viskozitou 5 366 mPa·S a hodnotou po 28 dnech 3 884 mPa·S byla změna vypočtena následovně:

$$\frac{3884 - 5366}{5366} \cdot 100 = -27,6$$

Výsledná hodnota tedy ukazuje pokles viskozity o 27,6 % oproti původní hodnotě.

Cílem tohoto výpočtu bylo zjistit, jak se viskozita vzorku měnila v průběhu času a posoudit stabilitu jednotlivých vzorků.

Sledování stability emulzních systémů a tenzidových roztoků

Stabilita emulzí a tenzidových roztoků byla sledována nejen na základě změn viskozity v čase, ale také vizuálním pozorováním. V rámci tohoto hodnocení byly zaznamenávány případné známky separace fází, vznik zákalu, změny barvy, konzistence nebo struktury. Dále bylo zohledněno i chování při nalévání či roztírání vzorku, tedy subjektivně vnímaná viskozita. Pozorování probíhalo opakovaně ve stanovených časových intervalech, tedy po 24 hodinách, 7 dnech, 14 dnech, 21 dnech a 28 dnech od přípravy emulzí a tenzidových

roztoků. Součástí vizuální kontroly bylo také sledování možných známek mikrobiální kontaminace. Každý vzorek byl připraven ve dvou variantách – s 1% a 2% přídavkem zahušťovadla a jeden vzorek bez zahušťovadla. Tím bylo umožněno posoudit vliv koncentrace na chování emulzí v čase, a to jak objektivně měřením viskozity, tak vizuálně.

5.5.2 Senzorické hodnocení emulzních systémů

Senzorické hodnocení bylo provedeno za účelem získání subjektivních informací o kvalitě a uživatelském komfortu jednotlivých vzorků. Hodnocení probíhalo v klimatizované místnosti při teplotě 25 ± 1 °C za přístupu denního světla. Pěti hodnotitelům byly připraveny označené vzorky se dvěma koncentracemi zahušťovadla (1 % a 2 %), jejichž rozdělení je znázorněno na fotografii níže (viz. Obrázek 17). K dispozici byly plastové tyčinky pro aplikaci, papírové ubrousky a senzorický dotazník (viz. Příloha I), do kterého hodnotitelé zaznamenávali svá hodnocení. Vzorky byly aplikovány na hřbet ruky pomocí tyčinky a následně hodnoceny podle předem stanovených instrukcí. Sledované parametry zahrnovaly roztíratelnost, vstřebatelnost, viskozitu (vnímání viskozity při aplikaci) a celkovou uživatelskou preferenci.



Obrázek 17 - Vzorky připravené pro senzorické hodnocení

Pro statistické vyhodnocení výsledků senzorického hodnocení byly použity dva přístupy, v závislosti na typu porovnání. Pro srovnání mezi dvěma různými koncentracemi zahušťovadla (1 % vs. 2 %) byl využit párový t-test, který umožňuje zjistit, zda mezi dvěma souvisejícími skupinami dat existuje statisticky významný rozdíl v průměru. Tento test byl aplikován pouze na parametr roztíratelnosti, a to na základě počtu preferencí jednotlivých zahušťovadlem při různých koncentracích. Párový t-test vyhodnocuje rozdíl

mezi jednotlivými páry hodnot a stanoví, zda je tento rozdíl náhodný, nebo statisticky významný. Testovací kritérium t bylo vypočteno dle vztahu 4:

$$t = \frac{\bar{d}}{s_d/\sqrt{n}} \quad (4)$$

kde $\bar{d}$ je průměr rozdílů mezi párovými hodnotami;

s_d je směrodatná odchylka těchto rozdílů;

n je počet pozorování.

Výsledná hodnota kritéria t byla následně převedena na p -hodnotu, která slouží jako rozhodovací kritérium pro přijetí či zamítnutí nulové hypotézy. Tento převod byl proveden na základě Studentova t -rozdělení, přičemž se zohledňuje počet stupňů volnosti vyplívající z počtu pozorování. P -hodnota vyjadřuje pravděpodobnost, s jakou by mohl takto výrazný rozdíl vzniknout náhodou. Čím je p -hodnota nižší, tím je rozdíl mezi porovnávanými skupinami pravděpodobněji statisticky významný.

Při porovnání vzorků v rámci jedné koncentrace byl využit Friedmanův test, neparametrická alternativa analýzy rozptylu pro opakovaná měření. Tento test slouží k posouzení, zda mezi jednotlivými vzorky existuje statisticky významný rozdíl v pořadí hodnocení přiděleném hodnotiteli. Testovací kritérium FR bylo vypočítáno dle vzorce 5:

$$FR = \frac{12}{nk(k+1)} \sum_{j=1}^k R_j^2 - 3n(k+1) \quad (5)$$

kde n označuje počet hodnotitelů;

k počet hodnocených vzorků;

R_j součet pořadí pro j -tý vzorek.

Výsledná hodnota testovacího kritéria byla porovnávána s kritickou hodnotou $FR_{krit} = 16,812$, odpovídající hladině významnosti $\alpha = 0,01$ a stupňů volnosti $df = 6$. Kritická hodnota byla vypočtena pomocí funkce $CHISQ.INV.RT$ v programu Microsoft Excel.

V případě překročení této kritické hodnoty byla nulová hypotéza zamítnuta a následně proveden Nemenyiho test jako analýza pro identifikaci konkrétních dvojic vzorků mezi nimiž existuje významný rozdíl v hodnocení. Statistická významnost byla posuzována dle vztahu 6:

$$|T_i - T_j| \geq CD = q_\alpha \cdot \sqrt{\frac{k(k+1)}{6n}} \quad (6)$$

kde T_i a T_j jsou průměrná pořadí hodnocení daných vzorků;

CD je kritická hodnota rozdílu, která pro dané parametry ($\alpha = 0,01$; $k = 7$; $n = 5$) činidla 5,39.

Všechny výpočty byly provedeny v programu Microsoft Excel.

6 VÝSLEDKY A DISKUSE

V této kapitole budou shrnuty a diskutovány zásadní výsledky získané při přípravě a hodnocení emulzních systémů a tenzidových roztoků. Budou zahrnovat jak analýzu viskozity, tak vizuální stabilitu vzorků v čase. Výsledky budou dále diskutovány s údaji z odborné literatury s cílem posoudit vhodnost jednotlivých zahušťovadel.

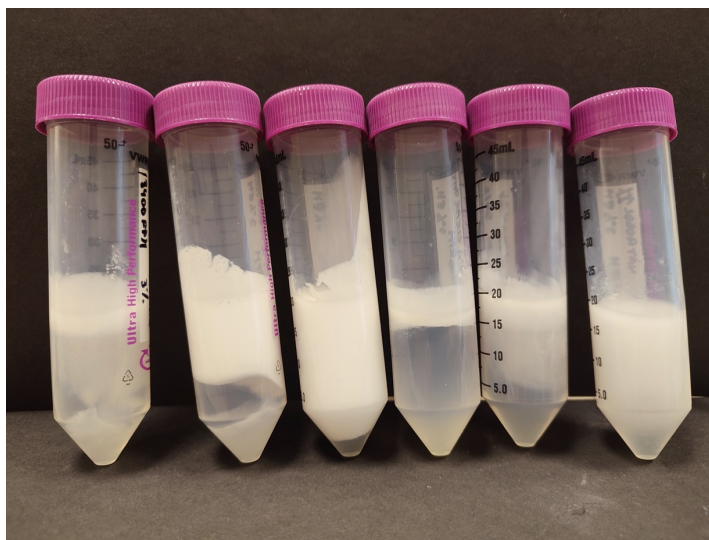
6.1 Chování a fyzikální stabilita emulzních systémů během přípravy a skladování

Tato kapitola se zaměřuje na pozorování emulzních vzorků během jejich přípravy, měření a následného skladování po dobu 28 dnů. Cílem bylo zhodnotit nejen snadnost zpracování jednotlivých formulací, ale také jejich fyzikální stabilitu na základě vizuálních změn v čase. Tyto aspekty hrají důležitou roli při posuzování reálné použitelnosti emulzního systému – ovlivňují jak uživatelský komfort, tak i trvanlivost výrobku.

6.1.1 Výsledek přípravy emulzních systémů s HLB 11,5 pomocí zařízení

Ultra- turrax

Připravené emulze (viz. 5.3.1) byly uchovány při laboratorní teplotě a po týdnu skladování byla vizuálně zhodnocena jejich stabilita. Ve všech vzorcích došlo k úplné separaci fází (viz. Obrázek 18). Na základě těchto výsledků bylo složení emulzí upraveno a byl změněn i postup přípravy, aby se dosáhlo lepší stability systémů. V následujících kapitolách se budeme podrobněji věnovat právě této upravené formulaci.



Obrázek 18 - Emulze po týdnu skladování a separaci fází

6.1.2 Chování vzorků při vlastní přípravě

Při přípravě emulzních vzorků byla pozornost zaměřena na zpracovatelnost jednotlivých zahušťovadel – tedy jejich rozpustnost, tvorbu hrudek, vznik gelu a celkovou manipulaci během přípravy. Níže jsou shrnuty poznatky získané při této fázi experimentu.

Během přípravy emulzních vzorků (viz. 5.3.2) bylo patrné, že jednotlivá zahušťovadla se výrazně liší ve své rozpustnosti ve vodní fázi, viskozitě roztoků a celkové zpracovatelnosti. Zatímco některé látky se bez problémů rozpustily a vytvořily homogenní emulzní systém, jiné vykazovaly tendenci k tvorbě hrudek či vyžadovaly specifické podmínky pro své zpracování. Na fotografii níže jsou zobrazeny vyrobené vzorky emulzních systémů (viz. Obrázek 19).



Obrázek 19 – Vyrobené vzorky zahrnující jednotlivé modifikátory viskozity a kontrolní vzorek bez přídavku modifikátoru

6.1.3 Vizuální pozorování stability a viskozity emulzních systémů v čase

Vizuální pozorování stability a viskozity emulzních systémů po 24 hodinách

Po 24 hodinách od jejich přípravy byly emulzní vzorky hodnoceny z hlediska jejich vzhledu. Pozorování se zaměřovalo především na homogenitu, viskozitu, přítomnost hrudek, bublin a případných nerozpuštěných částic. Výsledky byly doplněny fotografiemi (viz. Obrázek 20), které dokumentují stav všech vzorků. Tyto záznamy poskytují vizuální podporu pro hodnocení výchozí stability a dalších fyzikálních vlastností jednotlivých systémů. Níže bude uveden podrobnější popis daných vzorků po 24 hodinách od přípravy (viz. Tabulka 5).

Tabulka 5 - Popis vzorků emulzních systémů po 24 hodinách od přípravy

Zahušťovadlo	c [%]	Pozorování
Kontrolní vzorek		jasně tekutý, bez pěny, bez separace, vzhledově homogenní
Clearthix	1	tekutý, s přítomností drobných bublinek, nízká viskozita, mírně viskózní konzistence, bez separace
	2	výrazně hustší než u 1 %, stabilní a homogenní bez bublinek, konzistence již výrazně viskózní
Natrosol	1	středně viskózní, pomalu tekoucí, homogenní bez viditelných defektů.
	2	velmi viskózní, přítomnost hrudek a bublinek, přesto vizuálně působí stabilně
Xanthanová guma	1	velmi hutný, nehybný, viskózní konzistence, homogenní bez separace
	2	stejně jako u Natrosol 2% - velmi viskózní, přítomnost bublinek a lehkých hrudek, jinak stabilní a homogenní
Dermofeel Viscolid	1	tuhý, viskózní, ale vizuálně kompaktní a bez defektů
	2	znatelně tekutější než 1%, přítomnost malých zrnitých částecek – pravděpodobně nedostatečně zapracované zahušťovadlo
Sclerotium	1	viskózní, stabilní, bez viditelných bublin či oddělení složek
	2	extrémně hustý, stabilní bez známek separace
Solagum	1	mírně viskózní, bez defektů
	2	výrazně hustý, homogenní, bez hrudek a separace
Algin TA	1	nízká viskozita, ale bez hrudek či sedimentu, homogenní
	2	mírně hustší než 1%, jinak stabilní bez vizuálních nedostatků

Siligel	1	mírně viskózní, vizuálně čistý
	2	podobné vlastnosti jako 1%, mírně hutnější, bez hrudek nebo defektů



Obrázek 20 - Emulzní vzorky po 24 hodinách - kompletní vizuální přehled

Většina vzorků se po 24 hodinách jevila jako vizuálně stabilní. U některých zahušťovadel (např. Natrosol 2 %, Xanthanová guma 2 %) byly patrné drobné bubliny a hrudky, což mohlo souviset s jejich vyšší viskozitou a technikou zapracování. Naopak Sclerotium 2 %, Solagum 2 % a Siligel se již od počátku ukázaly jako velmi stabilní systémy bez viditelných známek nestability. Dermofeel 2 % byl jediným vzorkem, kde byly zaznamenány výraznější zrnitosti, což mohlo poukazovat na špatný postup při přípravě vzorku.

Vizuální pozorování stability a viskozity emulzních systémů po 7 dnech skladování

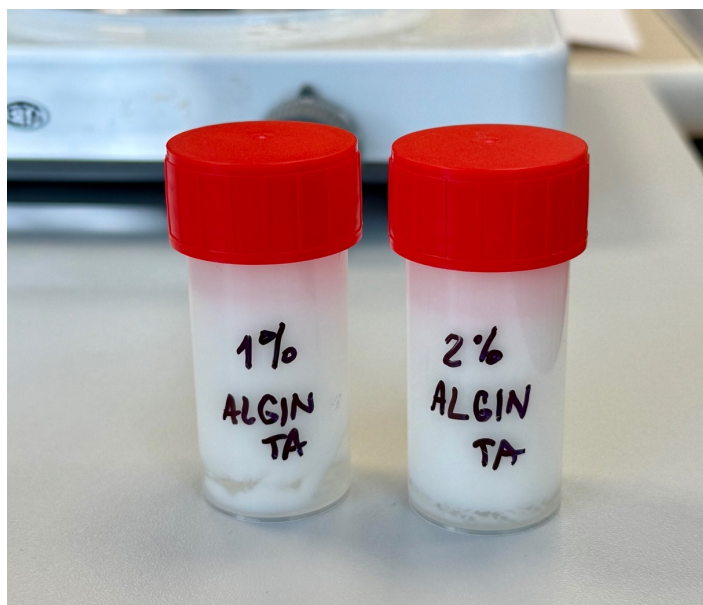
Po 7 dnech skladování byly emulzní vzorky opět vizuálně hodnoceny. Hodnocení se zaměřilo zejména na případné změny oproti předchozímu stavu – tedy výskyt separace fází, hrudkovitost, přítomnost bublinek nebo změny konzistence. Pro dokumentaci byl pořízen fotografický záznam (viz. Obrázek 21), který zachycuje vzorky po 7 dnech od přípravy. Detailní vzhled separace vzorků u Algin TA je zaznamenán na dalším snímku (viz. Obrázek 22). Níže budou uvedeny zaznamenané změny u připravených vzorků (viz. Tabulka 6).

Tabulka 6 - Přehled změn vzorků emulzních systémů po 7 dnech skladování

Zahušťovadlo	c [%]	Pozorování
Clearthix	2	výrazně hustší než po 24 hodinách, lepkavý, přítomnost bublinek
Natrosol	2	výrazné zhoustnutí, pevná krémová konzistence
Xanthanová guma	2	hutnější, s přítomností bublinek, ale bez separace
Dermofeel Viscolid	2	zůstává tekutý, stále přítomny vizuálně patrné částčky zahušťovadla
Algin TA	1; 2	separace fází ve spodní části; emulze ztratila svou homogenitu (viz. Obrázek 22)
Sclerotium	2	mírně hrudkovitá vzhled, jinak beze změn
Solagum	2	začínající hrudkovitost při zachování stability



Obrázek 21 - Emulzní vzorky po 7 dnech skladování



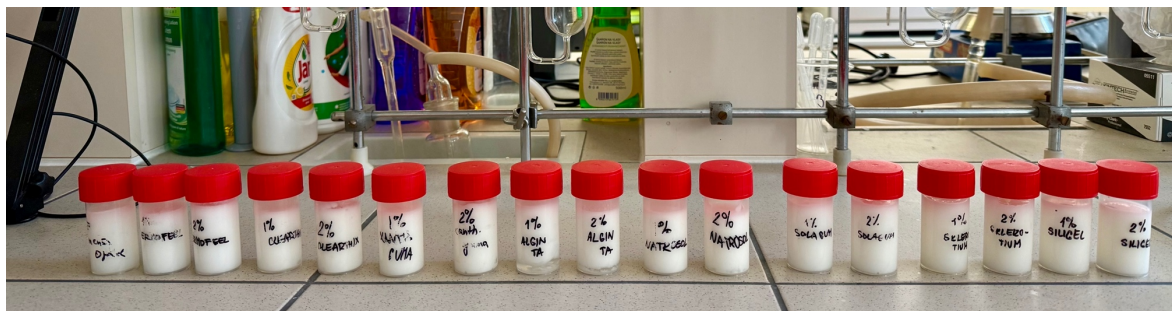
Obrázek 22 - Detailní pohled na vzorek s zahušťovadlem Alginem TA (1% a 2%) - separace po 7 dnech skladování

Vizuální pozorování stability a viskozity emulzních systémů po 14 dnech skladování

Po 14 dnech skladování byly u některých vzorků pozorovány první výraznější změny vzhledu a konzistence. Hodnocení se opět zaměřilo na změny viskozity, přítomnost hrudek, bublinek, případnou separaci fází a známky mikrobiální kontaminace. Kompletní přehled vzorků je zobrazen na fotografii (viz. Obrázek 23), kontaminované vzorky Siligelu pak detailně na další přiložené fotografii (viz. Obrázek 24). Zaznamenané změny jsou přiblíženy níže (viz. Tabulka 7).

Tabulka 7 - Přehled změn vzorků emulzních systémů po 14 dnech skladování

Zahušťovadlo	c [%]	Pozorování
Clearthix	2	došlo ke zhoršení struktury, hrudkovitost, přítomnost bublinek, výrazně lepivá konzistence
Xanthanová guma	2	změna konzistence, nyní hrudkovité a velmi husté
Siligel	1; 2	výskyt mikrobiální kontaminace , zřetelně patrná plíseň; z tohoto důvodu byly oba vzorky vyřazeny ze sensorického hodnocení (viz. Obrázek 24)
Sclerotium	2	zvýšená hrudkovitost, i přes zachovanou hustotu
Solagum	1; 2	stále homogenní, ale 2 % zůstává výrazně hutné a netečné



Obrázek 23 - Emulzní vzorky po 14 dnech skladování



Obrázek 24 - Mikrobiální kontaminace vzorků Siligel 1 % a 2 % po 14 dnech skladování

Vizuální pozorování stability a viskozity emulzních systémů po 21 dnech skladování

Po 21 dnech skladování emulzí již nebyly zaznamenány zásadní změny u většiny vzorků. Přesto byly v některých případech pozorovány postupující změny vzhledu, především v podobě zhoršení struktury, přítomnost hrudek nebo neobvyklých vizuálních jevů. Kompletní přehled vzorků po 21 dnech skladování je uveden na fotografii (viz. Obrázek 25). Doplnující fotografie zachycují výskyt částic ve vzorku se zahušťovadlem Dermofeel (viz. Obrázek 26) a změnu zbarvení vzorku s obsahem Natrosolu (viz. Obrázek 27). Níže jsou uvedeny zaznamenané změny ve formě tabulky (viz. Tabulka 8).

Tabulka 8 - Přehled změn vzorků emulzních systémů po 21 dnech skladování

Zahušťovadlo	c [%]	Pozorování
Clearthix	2	konzistence výrazně hutná, přítomnost hrudek
Natrosol	2	Nově se objevilo žluté zabarvení a výrazné zhoustnutí (viz. Obrázek 27). Přístroj pro měření viskozity se obtížně otáčel a musely být použity nízké otáčky.
Xanthanová guma	2	patrné bubliny a hrudky; struktura se postupně zhoršuje
Siligel	1; 2	stále přítomna plíseň, vizuálně homogenní, s mírným poklesem viskozity
Dermofeel Viscolid	1; 2	stále přítomné nerozpuštěné částice zahušťovadla, konzistence stabilní (viz. Obrázek 26)
Sclerotium	1	má lehce písčitou strukturu
	2	hutné a hrudkovité
Solagum	2	lehce bublinkovitý vzhled, jinak stabilní



Obrázek 25 - Emulzní vzorky po 21 dnech skladování



Obrázek 26 - Detail nerozpuštěných částic ve vzorku s Dermofeel zahušťovadlem (stav přetrvává od počátku pozorování)



Obrázek 27 - Zbarvení vzorku s přídavkem Natrosolu 2 % do žluta

Vizuální pozorování stability a viskozity emulzních systémů po 28 dnech skladování

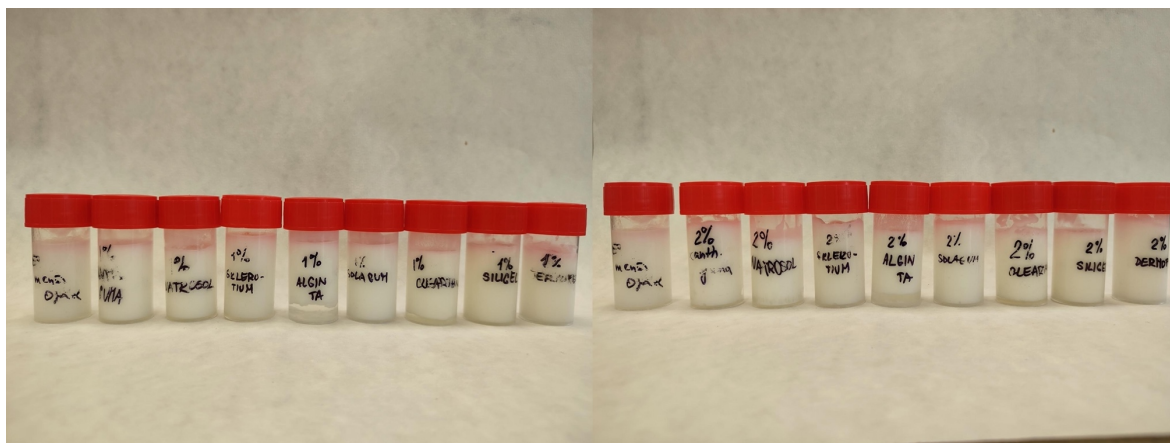
V posledním časovém intervalu (28 dnů) sledování emulzních systémů bylo možné pozorovat přetrvávající trendy ve stabilitě jednotlivých vzorků. U většiny emulzí nedošlo k výrazným vizuálním změnám oproti přechodným týdnům s výjimkou několika případů,

kde došlo k zřetelnému rozdělení fází nebo jiným známkám destabilizace. Pozorované změny jsou popsány níže (viz. Tabulka 9).

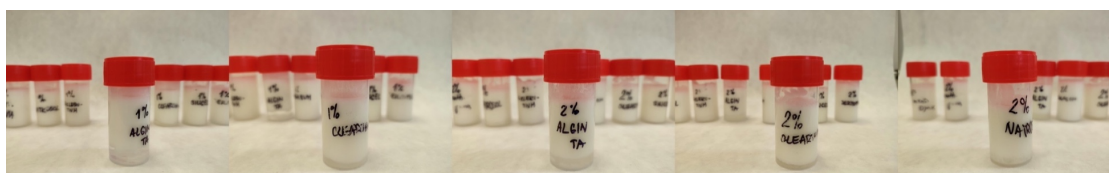
Tabulka 9 - Přehled změn vzorků emulzních systémů po 28 dnech skladování

Zahušťovadlo	c [%]	Pozorování
Algin TA	1; 2	Emulze zůstaly výrazně rozdělené na dvě fáze, což potvrzuje jejich dlouhodobou nestabilitu. Tento jev byl patrný již dříve a v čase se nezlepšil (viz. Obrázek 29).
Clearthix	1	Byl zaznamenán rozpad ve spodní části vzorku, což značí destabilizaci emulze (viz. Obrázek 29).
	2	Také došlo k rozdělení do vrstev, přičemž ve spodní části byla patrná oddělená fáze (viz. Obrázek 29).
Sclerotium	1	Ukázalo známky částečného rozpadu (viz. Obrázek 29).

Ostatní vzorky zůstaly vizuálně stabilní, bez patrného rozdělení fází, hrudek nebo změn konzistence (viz. Obrázek 28).



Obrázek 28 - Emulzní vzorky po 28 dnech skladování



Obrázek 29 - Separace fází emulzních systémů po 28 dnech skladování

Na základě dvacetiosmidenního sledování emulzních systémů bylo možné identifikovat významné rozdíly ve fyzikální stabilitě mezi jednotlivými zahušťovadly i jejich

koncentracemi. Nejvýraznějším problémem byla fázová separace, která se projevila především u vzorku s přídatkem zahušťovadla Algin TA (1 % a 2 %) již od prvního týdne a postupně se zhoršovala, což vedlo k úplnému rozdělení emulze. K obdobnému jevu docházelo v omezené míře i u Clearthixu (1 % i 2 %) a Natrosolu 2 %, kde byla separace zřetelná zejména na dně vzorků po 28 dnech skladování. Natrosol 2% se projevoval tvorbou hrudek a změnou zbarvení do žluta (viz. Obrázek 27). Tento jev může být přičítán oxidaci nebo enzymatickému rozkladu hydroxyerhylcelulózy, jak je popsáno ve studiích o degradaci přírodních polymerů při nedostatečné konzervaci. [77]

Dalším sledovaným aspektem byla mikrobiální kontaminace, která se výrazně projevila u Siligelu (obě koncentrace) již po 14 dnech od přípravy, a to ve formě povrchové plísně (viz. Obrázek 24). Vzhledem k této degradaci byly tyto vzorky následně vyřazeny ze senzorického hodnocení. Literatura doporučuje pečlivé zakonzervování systémů obsahující Siligel, neboť bez antimikrobiální ochrany dochází k enzymatické degradaci jeho polymerní struktury. [78]

Co se týká vizuální konzistence, nejstabilnější a vizuálně homogenní vzorky byly pozorovány u Solagumu a Sclerotia, zejména v 1% koncentracích. Tyto vzorky si dlouhodobě uchovaly svou konzistenci, barvu i texturu bez viditelných známek oddělování fází či kontaminace. V některých případech, jako u Dermofeelu, byla přítomnost částeczek pozorována již při přípravě a přetrvávala po celé období sledování. Z hlediska vizuální stability tak lze za nejvhodnější zahušťovadla pro emulzní systémy považovat Sclerotium a Solagum, která si v daných podmínkách skladování uchovala stabilní vzhled a konzistenci bez známek fyzikální degradace.

6.2 Vyhodnocení viskozity a stability emulzních systémů

Pro vyhodnocení stability emulzních systémů byla klíčová analýza změn viskozity v čase. Tato část se zaměřuje na sledování rozdílů mezi jednotlivými vzorky s použitými zahušťovadly.

6.2.1 Vývoj viskozity emulzních systému v čase

Tato část se zaměřuje na sledování vývoje viskozity jednotlivých emulzních vzorků v průběhu 28 dní. Cílem bylo posoudit, jak se reologické vlastnosti systémů mění v závislosti na typu zahušťovadla a jeho koncentraci. Pro každý vzorek byly zaznamenány

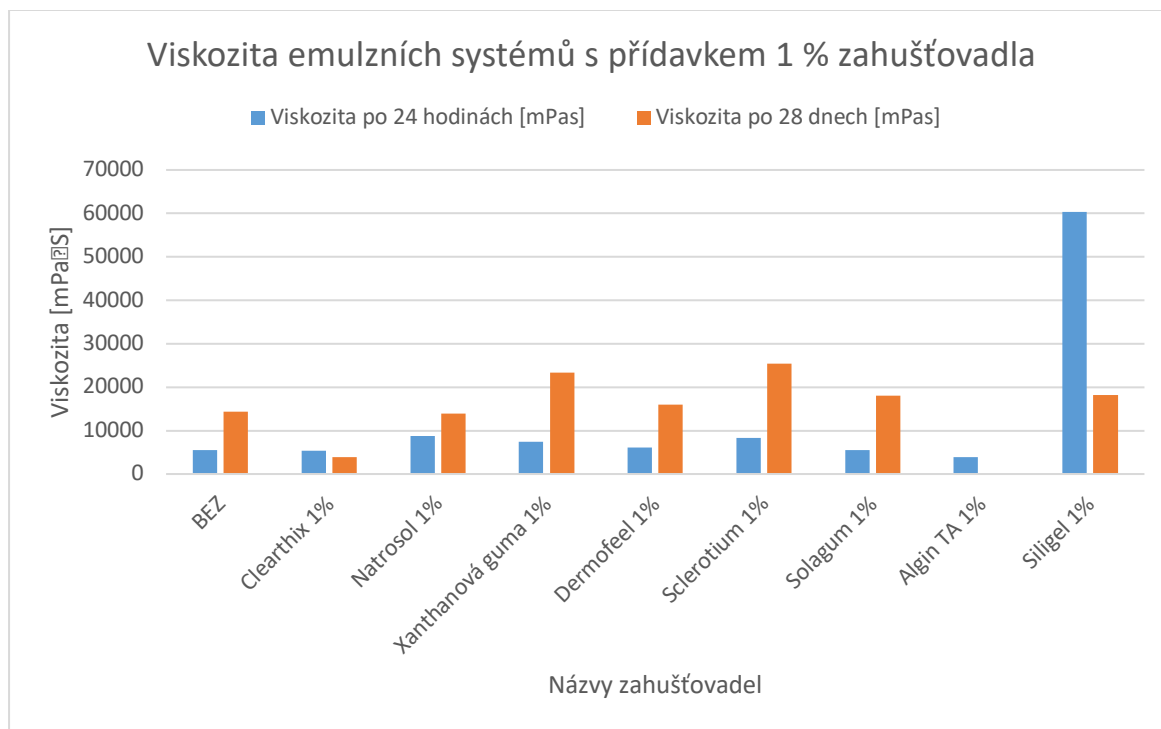
hodnoty viskozity v jednotkách mPa·S. První měření bylo provedeno po 24 hodinách od přípravy vzorků, a dále pak každých sedm dní ve čtyřech opakováních.

Naměřené hodnoty viskozity jsou uvedeny v Tabulce 10, která slouží jako výchozí podklad pro následnou grafickou a textovou analýzu.

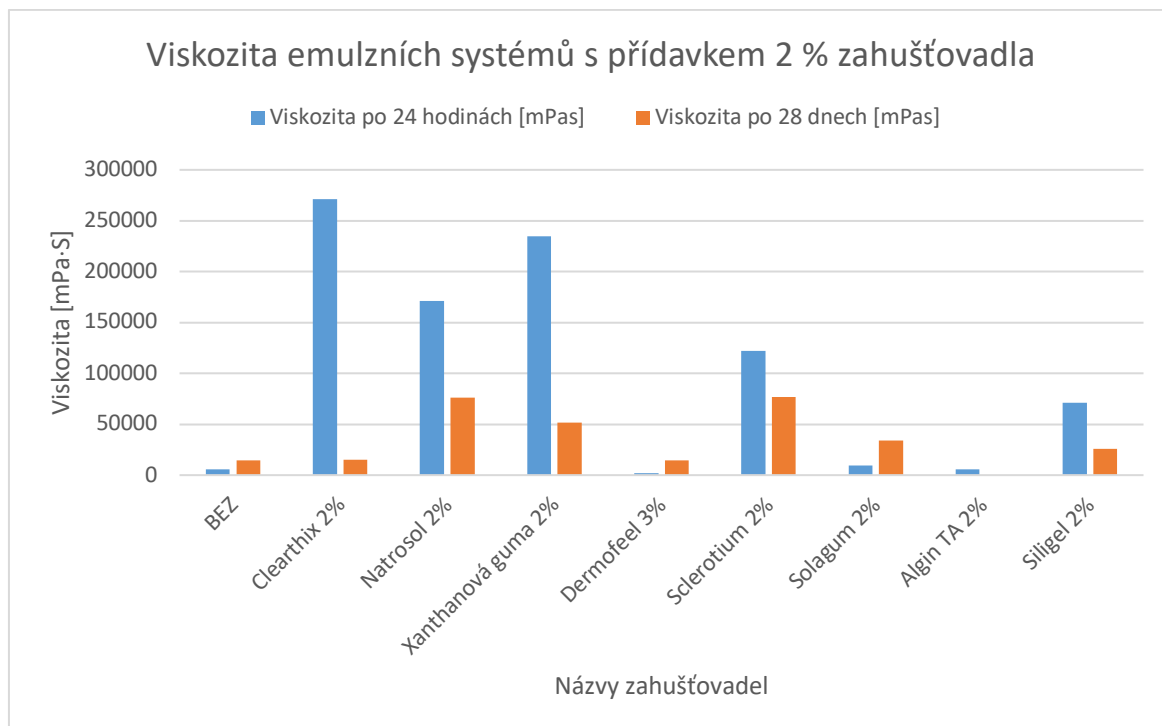
Tabulka 10 - Naměřené hodnoty viskozity emulzních vzorků v čase

Zahušťovadlo	c [%]	Viskozita po 24 hod [mPa·S]	Viskozita po 7 dnech [mPa·S]	Viskozita po 14 dnech [mPa·S]	Viskozita po 21 dnech [mPa·S]	Viskozita po 28 dnech [mPa·S]
BEZ		5519	6442	9336	15202	14297
Clearthix	1	5366	6068	5606	13057	3884
	2	271271	109317	134768	75106	15303
Natrosol	1	8700	38610	15656	50653	13852
	2	171451	428890	307078	180819	75847
Xanthan gum	1	7410	25318	24219	23251	23376
	2	235021	54311	50458	49155	51721
Dermofeel	1	6149	20841	17128	34140	15990
	2	1900	9945	11559	14570	14313
Sclerotium	1	8339	29265	28293	25543	25395
	2	122062	80496	78600	63609	76681
Solagum	1	5500	18696	19383	16707	18080
	2	9450	34343	33711	31083	34070
Algin TA	1	3949	8509	7675	9477	
	2	5441	11193	8065	13041	
Siligel	1	60348	19531	20373	23829	18197
	2	70824	23470	25045	23875	26083

Na základě naměřených hodnot uvedených v tabulce (viz. Tabulka 10) byly sestaveny dva samostatné grafy. První graf (viz. Obrázek 30) znázorňuje vývoj viskozity emulzních systémů s přídavkem 1 % zahušťovadla, druhý graf (viz. Obrázek 31) pak ukazuje změny viskozity při 2% koncentraci. Tyto grafy umožňují lépe vizuálně porovnat rozdíly mezi jednotlivými systémy a vyhodnotit viskozitu v čase.



Obrázek 30 - Viskozita emulzních systémů s přídavkem 1 % zahušťovadla 24 hod a 28 dní od přípravy



Obrázek 31 - Viskozita emulzních systémů s přidavkem 2 % zahušťovadla 24 hod a 28 dní od přípravy

Clearthix

Na základě údajů uvedených v tabulce (viz. Tabulka 10) a grafech (viz. Obrázek 30; Obrázek 31) lze hodnotit chování Clearthix v koncentracích 1 % a 2 % během 28 dní sledování. U koncentrace 1 % docházelo v průběhu času k mírnému kolísání viskozity s určitou tendencí k nárůstu během 21. dne, ale nakonec k poklesu pod počáteční hodnotu po 28 dnech. Naproti tomu 2% koncentrace vykázala extrémně vysokou počáteční viskozitu, která však velmi rychle klesla – už během prvního týdne se snížila více než o polovinu a na konci sledovaného období klesla ještě více. Vyšší koncentrace tedy sice přinesla výrazný počáteční zahušťovací efekt, ale zároveň vedla k rychlé ztrátě stability a konečné viskozity. Podle odborné literatury jsou hydroxypropylované škroby a jejich deriváty, jako je Clearhix, obecně méně stabilní než polysacharidová zahušťovadla (například xanthanová guma). Tento typ materiálu má tendenci degradovat viskozitu v čase vlivem rekrystalizace škrobových řetězců, což vede k destabilizaci gelové sítě. [79]

Další studie uvádějí, že kombinace karboxymethylcelulózy a alginátu, které jsou součástí Clearthixu, může přinášet velmi dobré počáteční výsledky, ale dlouhodobá stabilita silně závisí na koncentraci a iontovém prostředí; příliš vysoké koncentrace mohou vést k nadměrnému síťování a následnému rozpadu struktury. [80]

Podle technických údajů dostupných na stránkách distributora NatureStore.cz a výrobce Alchemy Ingeridents se doporučuje dávkování maximálně do 2 %, přičemž vyšší koncentrace sice výrazně zvyšují viskozitu, ale zvyšují také riziko nestability. [52], [81]

Celkově lze tedy říci, že výsledku experimentu odpovídají literárním údajům: vyšší koncentrace Clearthix sice přináší silný počáteční zahušťovací efekt, ale dlouhodobě systém ztrácí stabilitu. Pro technologickou praxi to znamená, že je třeba pečlivě optimalizovat koncentraci a případně použít stabilizátory nebo kombinace s jinými zahušťovadly, aby bylo dosaženo nejen požadované viskozity.

Natrosol

Na základě údajů z tabulky (viz. Tabulka 10) a grafů (viz. Obrázek 30; Obrázek 31) lze shrnout, že Natrosol (hydroxyethylcelulóza) v koncentracích 1 % a 2 % během 28 dní sledování vykazoval u obou koncentrací znatelný nárůst viskozity v prvním týdnu, přičemž 2% koncentrace dosáhla výrazně vyššího maxima. Následoval pokles, který byl u 2% koncentrace spojen s vizuálně pozorovaným rozfázováním emulze, což naznačuje počínající destabilizaci systému. I přes pokles zůstávala viskozita po 28 dnech vyšší než u kontrolního vzorku bez zahušťovadla, ale systém už neudržel původní úroveň. Podle odborné literatury je hydroxyethylcelulóza, komerčně známá jako Natrosol, ceněna pro svou schopnost tvořit stabilní, vysoce viskózní roztoky s pseudoplastickým chováním, což znamená snížení viskozity při mechanickém zatížení, ale návrat do původního stavu po klidu. Studie ukazují, že v nízkých koncentracích je hydroxyethylcelulóza velmi stabilní, ale vyšší koncentrace mohou vést k agregaci a fázovému oddělení, které snižuje konečnou viskozitu systému. [82]

Dále je doloženo, že hydroxyethylcelulóza má dobrou teplotní stabilitu a její viskozita se při běžném skladování výrazně nemění. [83]

Celkově výsledky odpovídají literárním údajům a potvrzují, že Natrosol je vhodným zahušťovadlem pro systémy, kde je požadována stabilita, avšak je nutné hlídat správnou koncentraci, aby se předešlo destabilizaci a poklesu viskozity v čase.

Xanthanová guma

Na základě údajů z tabulky (viz. Tabulka 10) a grafů (viz. Obrázek 30; Obrázek 31) lze shrnout, že xanthanová guma v koncentracích 1 % a 2 % během 28 dní sledování vykazovala stabilní viskozitu s mírným nárůstem v čase. Obě koncentrace dosáhly vyšších hodnot viskozit než kontrolní vzorek bez zahušťovadla, přičemž 2% koncentrace měla vyšší

hodnoty než 1% koncentrace. Po 28 dnech zůstávala viskozita u obou koncentrací relativně stabilní, což naznačuje dobrou stabilitu systému. Xanthanová guma je známá svými vynikajícími reologickými vlastnostmi a schopností stabilizovat emulze. Studie ukazují, že přidání xanthanové gumy do emulzí olej ve vodě zvyšuje jejich viskozitu a stabilitu, čímž zabraňuje separaci fází. Například studie publikovaná v Journal of Food Science zjistila, že xanthanová guma je nezbytná pro prevenci krémování v emulzích s obsahem oleje až 60 %. [84]

Další výzkum publikovaný v časopise Food Hydrocolloids demonstroval, že xanthanová guma může udržet viskozitu emulzí konstantní v širokém rozsahu teplot a pH, což je výhodné pro produkty vystavené různým podmínkám skladování nebo použití. [85]

Závěrem lze říci, že xanthanová guma je hodným zahušťovadlem pro formulace, kde je požadována stabilní viskozita a dobré aplikační vlastnosti. Její schopnost udržet stabilní viskozitu v čase a při různých teplotách ji činí ideální volbou pro širokou škálu produktů.

Dermofeel

Podle údajů z tabulky (viz. Tabulka 10) a grafů (viz. Obrázek 30; Obrázek 31) vykazoval Dermofeel při koncentracích 1 % a 2 % odlišné chování. U 1% koncentrace došlo k rychlému nárůstu viskozity během prvního týdne, poté k mírnému poklesu a dalšímu vzestupu kolem 21. dne, kdy bylo dosaženo maxima. Na konci sledovaného období pak viskozita prudce klesla, ale zůstala vyšší než u kontrolního vzorku. Naproti tomu 2% koncentrace začínala překvapivě s nízkou viskozitou, která rostla postupně až do 21. dne, ale i po 28 dnech zůstala srovnatelná s kontrolním vzorkem, což pravděpodobně souvisí s problémem neúplného rozpuštění nebo sražení zahušťovadla. Podle odborné literatury je Dermofeel (komerční označení pro přírodní emulgátory, zejména na bázi lecitinu a polyglycerolesterů mastných kyselin) známý schopností zlepšovat senzorické vlastnosti a stabilitu emulzí. Výzkumy ukazují, že přírodní emulgátory jsou citlivější na správné dávkování a zpracování než syntetické varianty a špatná homogenizace může vést k poklesu viskozity a destabilizaci systému. [86]

Zároveň se ví, že přírodní emulgátory reagují na změny pH a iontové síly, což ovlivňuje jejich schopnost vytvářet stabilní síť. [87]

Celkově výsledky ukazují, že Dermofeel má potenciál jako přírodní zahušťovadlo, ale jeho účinnost je silně závislá na přípravě a správné koncentraci, protože jinak může dojít

k výraznému snížení viskozity a stability systému, což jsme mohli pozorovat v průběhu tohoto experimentu.

Sclerotium

Podle údajů z tabulky (viz. Tabulka 10) a grafů (viz. Obrázek 30; Obrázek 31) Sclerotium gum v koncentracích 1 % a 2 % výrazně ovlivnil viskozitu emulzního systému, přičemž každá koncentrace vykazovala odlišné změny. U 1% koncentrace došlo během prvního týdne k prudkému nárůstu viskozity, která si následně udržela vysoké hodnoty po většinu sledovaného období. V závěrečném období (21.–28. den) však byly pozorovány známky částečné destabilizace systému. Naproti tomu 2% koncentrace začínala s velmi vysokou viskozitou, která ale během prvních 14 dní výrazně klesla, a poté se částečně stabilizovala, aniž by se vrátila na výchozí hodnotu. Obě koncentrace tak sice výrazně překračovaly hodnoty kontrolního vzorku, ale vykazovaly rozdílné dynamické chování v čase.

Podle odborné literatury je Sclerotium gum (též Scleroglucan) známý svými vynikajícími reologickými vlastnostmi a schopností stabilizovat emulze. Studie ukazují, že přidání tohoto polysacharidu do emulzí O/V významně zvyšuje jejich viskozitu a zabraňuje separaci fází. [88]

Studie potvrzuje, že tento materiál je schopen udržet viskozitu v širokém rozsahu teplot a pH, což odpovídá i našim výsledkům, kdy obě koncentrace vykazovaly vysoké hodnoty viskozity, ale rozdíly mezi nimi naznačují, že vyšší koncentrace nemusí vždy zaručit lepší stabilitu. [89]

Celkově lze tedy říci, že Sclerotium gum představuje velmi účinné zahušťovadlo s dobrými stabilizačními vlastnostmi, ale jeho správná koncentrace a kontrola procesu přípravy jsou klíčové pro dosažení očekávané dlouhodobé viskozity.

Solagum

Podle údajů z tabulky (viz. Tabulka 10) a grafů (viz. Obrázek 30; Obrázek 31) Solagum při koncentracích 1 % a 2 % vykazoval stabilní a konzistentní chování v čase. U 2% koncentrace došlo již po 24 hodinách k výraznému nárůstu viskozity, která se po prvním týdnu ustálila na vysoké úrovni a zůstala prakticky neměnná po celé sledované období. Tento průběh ukazuje na velmi dobrou stabilitu při vyšším dávkování. Naopak 1% koncentrace vykazovala rovnoměrný nárůst viskozity až do 14. dne, poté mírně poklesla a následně se opět zvýšila v posledním sledovaném období. I přes tyto mírné výkyvy si

systém udržel vysoké hodnoty viskozity a působil stabilně. Obě koncentrace překonaly viskozitu kontrolního vzorku, který sice postupně rostl, ale zůstal pod úrovní vzorku se zahušťovadlem. Celkově lze Solagum považovat za velmi účinné zahušťovadlo s dobrou stabilitou i při vyšším dávkování. Podle literatury je Solagum (přírodní směs acylovaných gum a polysacharidů) ceněno pro svou vysokou účinnost a stabilitu v emulzních systémech. Studie ukazují, že tento typ přírodního polymeru vykazuje pseudoplastické chování a dobrou stabilitu viskozity v čase i při změnách pH a teplota. [90]

Tyto výsledky odpovídají našim pozorováním, kdy byla stabilita systému velmi dobrá, a to i při vyšším dávkování, bez známek destabilizace. Celkově lze Solagum doporučit jako účinné zahušťovadlo s vysokou stabilitou a spolehlivým výkonem v emulzních systémech.

Algin TA

Na základě údajů z tabulky (viz. Tabulka 10) a grafů (Obrázek 30; Obrázek 31) lze shrnout, že Algin TA v koncentracích 1 % a 2 % vykazoval odlišné chování během 28 dní sledování. U 1% koncentrace došlo k postupnému nárůstu viskozity během prvních 14 dnů, po kterém následovalo mírné kolísání, ale celkově si systém udržel stabilní viskozitu. Naproti tomu 2% koncentrace vykazovala vyšší počáteční viskozitu, která však během sledovaného období postupně klesala, což může naznačovat určitou destabilizaci systému při vyšší koncentraci. Podle odborné literatury je sodná sůl alginátu známá svými reologickými vlastnostmi a schopností tvořit gely v přítomnosti dvoumocných kationtů, jako je vápník. Studie ukazují, že viskozita alginátových roztoků závisí na koncentraci a molekulové hmotnosti alginátu, přičemž vyšší koncentrace mohou vést k vyšší viskozitě, ale také k potenciální destabilizaci systému. [91]

Další výzkum naznačuje, že přítomnost iontů a pH prostředí může ovlivnit tvorbu gelu a stabilitu alginátových systémů. [92]

Naše experimentální výsledky ukazují, že při 1% koncentraci si Algin TA udržuje stabilní viskozitu po celé sledované období, což je v souladu s literaturou. Naopak 2% koncentrace vedla k postupnému poklesu viskozity, což může být důsledkem nadměrné koncentrace alginátu a následné destabilizace systému. Celkově lze říci, že Algin TA je vhodným zahušťovadlem pro systémy, kde je požadována stabilní viskozita, avšak je důležité optimalizovat jeho koncentraci, aby nedošlo k destabilizaci systému při vyšších koncentracích.

Siligel

Podle údajů z tabulky (viz. Tabulka 10) a grafů (viz. Obrázek 30; Obrázek 31) Siligel při koncentraci 1 % a 2 % vykazoval poměrně stabilní chování během 28 dní sledování. U 2% koncentrace byla na začátku naměřena výrazně vyšší viskozita, která ale po 7 dnech klesla a následně se stabilizovala na nižší hodnotu. Vzorek s 1% koncentrací vykazoval postupný nárůst viskozity mezi 7. a 14. dnem, následný pokles po 21. dni, po kterém se systém ustálil na hodnotách blízkých kontrolnímu vzorku. Celkově obě koncentrace působily relativně stabilně, i když s mírnými změnami v čase, přičemž vyšší koncentrace měla výraznější počáteční efekt, ale nakonec se rozdíly mezi oběma koncentracemi snížily. Podle odborné literatury je Siligel přírodní multifunkční zahušťovadlo, které kombinuje reologické a senzorické vlastnosti. Technické listy uvádějí, že díky své specifické kombinaci modifikovaných polysacharidů a minerálních složek má Siligel schopnost rychle zvyšovat viskozitu, ale zároveň může při vyšších koncentracích docházet k určitému síťování, které následně ovlivňuje dlouhodobou stabilitu. [78]

Celkově lze tedy říci, že Siligel je efektivní zahušťovadlo s výrazným počátečním účinkem, avšak při vyšších koncentracích je třeba počítat s možnými změnami viskozity a stability v čase. Optimální dávkování je proto klíčové pro dosažení rovnováhy mezi okamžitým zahušťovacím efektem a dlouhodobou stabilitou.

Výsledky měření viskozity ukázaly, že zahušťovadla mají významný vliv na vývoj viskozity emulzních systémů v čase. Vysoké koncentrace zahušťovadel (2 %) obvykle vedly k vyšší a stabilnější viskozitě, zatímco nižší koncentrace (1 %) vykazovaly větší výkyvy, včetně částečných nebo úplných rozpadů emulzí. Tyto rozdíly naznačují, že optimální koncentrace zahušťovadel hraje klíčovou roli v udržení stability emulzního systému. Doplněním výsledků z odborné literatury bylo potvrzeno, že chování jednotlivých zahušťovadel závisí nejen na jejich koncentraci, ale také na jejich chemickém složení a reologických vlastnostech. Například polysacharidová zahušťovadla, jako je xanthanová guma nebo Sclerotium, vykazují dobrou dlouhodobou stabilitu i při vyšších koncentracích, zatímco škrobové nebo alginátové systémy mohou při vyšším dávkování vykazovat pokles viskozity vlivem destabilizace. Celkově tedy experimentální výsledky odpovídají literárním poznatkům a potvrzují, že volba zahušťovadla a jeho optimalizace jsou klíčové pro dosažení požadovaných technických vlastností a stability emulze.

6.2.2 Procentuální změna viskozity emulzních vzorků v čase

Za účelem posouzení vlivu použitých zahušťovadel a jejich koncentrací na reologické vlastnosti systému byla sledována i procentuální změna viskozity v čase. Viskozita, jakožto jeden ze základních fyzikálních parametrů, významně ovlivňuje nejen texturu, aplikaci, ale i chování přípravku během skladování. I když viskozita přímo neurčuje stabilitu systému, její změny v čase mohou sloužit jako nepřímý ukazatel fyzikální stability. Například výrazný pokles viskozity může být známkou rozpadu emulzní struktury. [36]

Tabulka 11 uvádí procentuální změnu viskozity oproti výchozí hodnotě. Tento přístup umožňuje sledovat dynamiku změn a posoudit případný růst nebo pokles viskozity v čase.

Tabulka 11 - Procentuální změna viskozity vzorků v čase

Zahušťovadlo	c [%]	% změna po 7 dnech	% změna po 14 dnech	% změna po 21 dnech	% změna po 28 dnech
Kontrolní vzorek		16,72	69,14	175,45	159,05
Clearthix	1	13,08	4,47	143,33	-27,62
	2	-59,4	-50,32	-72,31	-94,36
Natrosol	1	343,79	79,95	482,22	59,22
	2	150,15	79,11	5,46	-55,76
Xanthanová guma	1	241,67	226,84	213,78	215,47
	2	-76,89	-78,53	-79,08	-77,99
Dermofeel	1	238,93	178,55	455,21	160,04
	2	423,42	508,37	666,84	653,32
Sclerotium	1	250,94	239,29	206,31	204,53
	2	-34,05	-35,61	-47,89	-37,18
Solagum	1	239,93	252,42	203,76	228,73
	2	263,42	256,73	228,92	260,53
Algin TA	1	115,47	94,35	139,68	
	2	105,72	48,23	139,68	

Siligel	1	-67,64	-66,24	-60,51	-69,85
	2	-66,86	-64,64	-66,29	-63,17

Z výsledků (Tabulka 11) je patrné, že jednotlivá zahušťovadla vykazují odlišné chování z hlediska vývoje viskozity v čase. Některé vzorky dosahovaly výrazného nárůstu viskozity, zatímco jiné měly tendenci ke kolísání nebo poklesu. Pro lepší přehlednost a interpretaci byly vybrané vzorky komentovány níže:

Pozn.: Vzorek Algin TA byl po třech týdnech vyřazen z měření z důvodu separace systému – viskozita již nebyla určena (viz. Obrázek 22).

Clearthix 1 %

Vzorek vykazoval kolísavý průběh viskozity – z počáteční hodnoty došlo nejprve k mírnému nárůstu a následně k výraznému poklesu. Po 28. dni viskozita klesla pod výchozí hodnotu, což může znamenat narušení struktury systému. Ve 28. dni byla navíc ve spodní části vzorku pozorována separace fáze.

Clearthix 2 %

I přes velmi vysokou počáteční viskozitu (271 271 mPa·S) došlo během prvních 7 dnů k prudkému poklesu, který pokračoval až k téměř 95 % ztrátě viskozity. Tento vzorek se jeví jako nestabilní a nevhodný pro dlouhodobé zahuštění. Ve 28. dni byla navíc pozorována výrazná separace fází ve spodní části, čímž se potvrdila nízká stabilita systému.

Natrosol 1 %

Silný nárůst viskozity až o 482 % po 21 dnech. Ve 28. dni následoval pokles na 13 852 mPa·S, což však stále představovalo nárůst o 59 % oproti výchozí hodnotě. Vzorek tak lze hodnotit vzhledem k nárůstu viskozity jako účinný zahušťovací systém.

Natrosol 2 %

Vzorek Natrosol 2 % vykazoval výrazný nárůst viskozity po prvních 7 dnech (+ 150 %), který posupně klesal až na -56 %. I přes tento pokles patřil mezi vzorky s nejvyšší absolutní viskozitou. Ve 28. dni byla pozorována separace ve spodní části vzorku.

Xanthanová guma 1 %

Vzorek vykazoval velmi výrazný a stabilní nárůst viskozity po celou dobu sledování – po prvních 7 dnech o 241 %, ve 28. dni o 215 %. Výsledky ukazují na účinný a stabilní zahušťovací efekt bez známek kolapsu struktury.

Xanthanová guma 2 %

Vzorek s 2 % Xanthanové gumy naopak vykazoval po celou dobu výrazný pokles viskozity (-77 % až -79 %), bez známek zlepšení. Tento vývoj může svědčit o přetížení systému a nedostatečné strukturní stabilitě z hlediska nárůstu viskozity.

Dermofeel 1 %

Po prvních 7 dnech viskozita vzrostla o 239 % a dále narůstala až do 21. dne, kdy dosáhla maxima (+455 %). Mírný pokles ve 28. dni nepředstavoval ztrátu účinku – zahuštění zůstalo výrazné a stabilní.

Dermofeel 2 %

Zahuštění bylo mimořádně účinné – již po prvních 7 dnech došlo k nárůstu o více než 420 %, ve 21. dni hodnota se zvýšila o 660 % a v závěru zůstala prakticky nezměněná.

Solagum 1 %

Viskozita se od počátku držela na vysokých hodnotách, nárůst přes 200 % přetrval po celou dobu sledování. Nejnižší hodnota byla ve 21. dni (+204 %), následně opět mírně vzrostla.

Solagum 2 %

Viskozita vykazovala po celou dobu rovnoměrné vysoké hodnoty. Po prvních 7 dnech narostla o 263 %, ve 28. dni dosahovala hodnoty vyšší o 261 % oproti výchozí hodnotě. Vzorek ukazuje stabilní zahušťovací účinek bez výrazných výkyvů.

Algin TA 1 %

Po prvních 7 dnech došlo k nárůstu viskozity o 115%, následovaný poklesem po 14 dnech od přípravy (+94 %) a následným navýšením ve 21. dni (+140 %). Vývoj byl kolísavý, bez jednoznačné tendence k růstu nebo poklesu. Od 14. dne se začala objevovat oddělená fáze ve spodní části systému.

Algin TA 2 %

Hodnoty viskozity rostly méně výrazně než u 1% koncentrace. Po 21. dni zůstala viskozita na +140 %, avšak v průběhu sledování byl zaznamenán postupný rozpad systému, který vyvrcholil v úplnou separaci ve 28. dni.

Siligel 1 %

Viskozita od počátku klesala – ve 28. dni byla o téměř 70 % nižší než výchozí hodnota. Výsledky ukazují na slabý zahušťovací efekt a ztrátu účinnosti v čase.

Siligel 2 %

Hodnoty viskozity byly po celou dobu sledování nízké, s poklesem kolem -63 %. I když koncentrace 2 % nezajistila výrazný zahušťovací efekt, systém zůstal stabilní bez známek kolísání.

Na základě analýzy procentuální změny viskozity jednotlivých emulzních vzorků v čase lze konstatovat, že účinnost zahušťovadel se značně liší v závislosti na koncentraci i typu použitých látek. Zatímco některé vzorky, jako je Natrosol 1 % a Dermofeel 2 %, vykazovaly stabilní nárůst viskozity, což svědčí o jejich účinnosti a stabilitě, jiné vzorky jako Clearthix 2 % zase ukázaly výrazný pokles viskozity po několika týdnech, což naznačuje jejich nestabilitu v dlouhodobějším časovém horizontu. Byl rovněž patrný rozdíl v účinnosti použitých koncentrací. Vyšší koncentrace většiny zahušťovadel, jako byl například Natrosol nebo Dermofeel, vykazovaly výrazně vyšší viskozitu a stabilitu, v porovnání s nižšími koncentracemi, což naznačuje, že vyšší koncentrace mohou zajišťovat lepší strukturu a stabilitu emulzního systému.

6.3 Vyhodnocení senzorická analýzy emulzních systémů

Senzorická analýza emulzních systémů poskytuje důležité informace o vnímatelných vlastnostech vzorků. Byla provedena s cílem propojit fyzikální parametry se subjektivním hodnocením.

6.3.1 Pořadová zkouška

U připravených emulzních formulací obsahujících 1 nebo 2 % zahušťovadla byla provedena senzorická analýza. Pro hodnocení byly využity pořadové zkoušky, přičemž byly sledovány celkem 4 senzorické znaky: roztíratelnost, vstřebatelnost, viskozita a celkové uživatelské preference. Vzorky obsahující 1 % zahušťovadla byly hodnotitelům označeny písmeny C–CH (vzorky B a A byly z analýzy vyřazeny: vzorek B z důvodu mikrobiální kontaminace, vzorek A jako kontrolní vzorek bez zahušťovadla). Vzorky s obsahem 2 % zahušťovadla byly označeny písmeny J–P, přičemž vzorek I byl rovněž vyřazen kvůli mikrobiální kontaminaci (viz. Obrázek 17). Každý vzorek byl hodnocen pěti hodnotiteli,

kteří přiřazovali pořadí jednotlivým vzorkům na základě subjektivního vjemu u každého sledovaného znaku (viz. Tabulka 12).

Tabulka 12 - Označení vzorků a typ použitého zahušťovačla při senzorickém hodnocení (koncentrace 1 % a 2 %)

Označení vzorku	Typ zahušťovačla 1 %	Označení vzorku	Typ zahušťovačla 2 %
A	Kontrolní vzorek		
B	Siligel	I	Siligel
C	Clearthix	J	Clearthix
D	Solagum	K	Solagum
E	Sclerotium	L	Sclerotium
F	Natrosol	M	Natrosol
G	Xanthanová guma	N	Xanthanová guma
H	Dermofeel	O	Dermofeel
CH	Algin TA	P	Algin TA

Pro vyhodnocení výsledků pořadových zkoušek byl použit Friedmanův test, který sloužil k analýze rozdílů mezi více než dvěma skupinami při opakovaném hodnocení. Byla stanovena nulová hypotéza H_0 , která říká, že mezi porovnávanými vzorky neexistuje statický významný rozdíl. Dále byla stanovena alternativní hypotéza H_1 , která tuto hypotézu neguje a tvrdí, že alespoň jeden vzorek se statisticky významně liší od ostatních. Výsledkem Friedmanova testu byla testová statistika FR vypočtená pro každý jeden hodnotící znak souboru testovaných formulací (viz. Tabulka 13). Pro výpočet byla zvolena hladina významnosti $\alpha = 0,01$, což odpovídá 99% hladině spolehlivosti. Na základě počtu porovnávaných vzorků $k = 7$ byl určen počet stupňů volnosti $df = 6$. Kritická hodnota testu FR_{krit} byla vypočtena dle rozdělení chí-kvadrát pomocí funkce CHISQ.INV.RT v Excelu a činila 16,812. Bylo-li splněno, že $FR \geq FR_{krit}$ byla nulová hypotéza zamítnuta a byla přijata alternativní hypotéza, že mezi hodnocenými vzorky existuje statistický významný rozdíl. Hodnoty testovacích kritérií uvádí Tabulka 13.

Tabulka 13 - Přehled hodnot testovacích kritérií FR

Sledovaný znak	Testovací kritérium FR	
	1 % zahušťovadla	2 % zahušťovadla
roztíratelnost	6,857	18,857
vstřebatelnost	21,600	13,971
viskozita	21,943	25,800
celková uživatelská preference	14,486	7,029

Výsledky Friedmanova testu podle sledovaných znaků:

Roztíratelnost

- 1 % zahušťovadla: Hodnota testové kritéria FR = 6,857 byla nižší než kritická hodnota FR_{krit} . Nulová hypotéza tedy nebyla zamítnuta a rozdíly mezi vzorky nebyly statisticky významné.
- 2 % zahušťovadla: Hodnota testovacího kritéria FR = 18,857 byla vyšší než kritická hodnota. Nulová hypotéza byla zamítnuta a rozdíl mezi vzorky byl statisticky významný. Následně byl proveden Nemenyiho test.

Vstřebatelnost

- 1 % zahušťovadla: Byla zjištěna hodnota FR = 21,600, která překročila kritickou mez. Nulová hypotéza byla zamítnuta a následně byl proveden Nemenyiho test.
- 2 % zahušťovadla: Hodnota FR = 13,971 nedosáhla kritické hodnoty. Nulová hypotéza nebyla zamítnuta, rozdíly mezi vzorky nebyly statisticky významné.

Viskozita

- 1 % zahušťovadla: Hodnota testovacího kritéria FR = 21,943 překročila kritickou mez, nulová hypotéza byla tedy zamítnuta a byl proveden Nemenyiho test.
- 2% zahušťovadla: I zde došlo k překročení kritické hodnoty (FR = 25,800). Nulová hypotéza byla zamítnuta, a byl též prováděn Nemenyiho test.

Celková uživatelská preference

- 1 % a 2 % zahušťovadla: Hodnoty testovacího kritéria ($FR = 14,486$ a $FR = 7,029$) byly nižší než kritická hodnota. V obou případech tedy nebyla nulová hypotéza zamítnuta a nebyly prokázány statisticky významné rozdíly v preferenci mezi vzorky.

Na základě výsledků Friedmanova testu bylo zjištěno, že u vybraných senzorických znaků (roztíratelnost, vstřebatelnost a viskozita) došlo k překročení kritické hodnoty FR_{krit} , a tedy k zamítnutí nulové hypotézy ve prospěch hypotézy alternativní. To znamená, že alespoň jeden z hodnocených vzorků se statisticky významně lišil od jiného či jiných.

Pro určení konkrétních dvojic vzorků, mezi nimiž rozdíl skutečně existoval byl použit Nemenyiho test. Tento test stanovuje, že mezi dvěma vzorky existuje statisticky významný rozdíl tehdy, je-li absolutní rozdíl jejich průměrných pořadí větší nebo roven kritické hodnotě CD : $|T_i - T_j| \geq CD$, kde T_i a T_j jsou průměrná pořadí daných vzorků a $CD = 5,39$ při $\alpha = 0,01$, $k = 7$. V následujících tabulkách (Tabulky 14–17) jsou za statisticky významné považovány ty dvojice vzorků, u nichž rozdíl průměrných pořadí přesáhl hodnotu 5,39. Tyto rozdíly jsou v tabulkách zvýrazněny šedou barvou.

Tabulka 14 - Hodnoty Nemenyiho testu pro hodnocení emulzí s 1 % zahušťovadla z hlediska vstřebatelnosti

	C	D	E	F	G	H	CH
C		0,6	1,8	2,4	2,6	3	4,8
D			2,4	3	3,2	3,6	5,4
E				0,6	0,8	1,2	3
F					0,2	0,6	2,4
G						0,4	2,2
H							1,8
CH							

Tabulka 15 - Hodnoty Nemenyiho testu pro hodnocení emulzí s 1 % zahušťovadla z hlediska rozdíratelnosti

	J	K	L	M	N	O	P
J		1	1,8	2,4	1,4	1	0,6
K			0,8	3,4	2,4	2	0,4
L				4,2	3,2	2,8	1,2
M					1	1,4	3
N						0,4	2
O							1,6
P							

Tabulka 16 - Hodnoty Nemenyiho testu pro hodnocení emulzí s 1 % zahušťovadla z hlediska viskozity

	C	D	E	F	G	H	CH
C		2,4	4,4	2,6	3,8	3,8	0,2
D			2	0,2	1,4	1,4	2,6
E				1,8	0,6	0,6	4,6
F					1,2	1,2	2,8
G						0	4
H							4
CH							

Tabulka 17 - Hodnoty Nemenyiho testu pro hodnocení emulzí s 2 % zahušťovadla z hlediska viskozity

	J	K	L	M	N	O	P
J		3,6	4	2,4	3,2	0,6	1,2
K			0,4	1,2	0,4	3	4,8
L				1,6	0,8	3,4	5,2
M					0,8	1,8	3,6
N						2,6	4,4
O							1,8
P							

Z výsledků Nemenyiho testu vyplynulo, že statisticky významný rozdíl byl zjištěn pouze u znaku vstřebatelnost, a to mezi vzorky D a CH ve skupině s formulací s 1% obsahem zahušťovadla (D = Solagum; CH= Algin TA). Na základě průměrných pořadí lze konstatovat, že vzorek CH byl hodnocen jako hůře vstřebatelný než vzorek D. U všech ostatních senzorických znaků, u kterých byl Friedmanovým testem prokázán statistický významný rozdíl (roztíratelnost – 2 %, viskozita – 1 % a 2 %), nebyly v rámci Nemenyiho testu zjištěny žádné konkrétní dvojice vzorků, mezi nimiž by rozdíl pořadí překročil kritickou mez $CD = 5,39$. Z toho vyplývá, že ačkoliv hodnotitelé jako celek vnímali rozdíly mezi vzorky, žádné dvě konkrétní formulace se statisticky významně nelišily při porovnání jednotlivě.

6.3.2 Párový t-test roztíratelnosti

Pro účely srovnání bylo provedeno vyhodnocení počtu preferencí jednotlivých zahušťovadel z hlediska roztíratelnosti při koncentracích 1 a 2 %. Porovnání bylo realizováno pomocí párového t-testu, který umožňuje určit, zda existuje statisticky významný rozdíl mezi dvěma skupinami souvisejících dat – v tomto případě mezi počtem preferencí udělených stejnému zahušťovadlu při dvou koncentracích. Do testu bylo zahrnuto sedm zahušťovadel, zahušťovadlo Siligel bylo z analýzy vyřazeno z důvodu mikrobiální kontaminace vzorku. Výsledky jsou uvedeny níže (viz. Tabulka 18), která přehledně zobrazuje počet preferencí pro každé zahušťovadlo zvlášť při 1 a 2% koncentraci a zároveň i rozdíl mezi těmito hodnotami. Testovou statistiku tzv. hodnota t, která vyjadřuje poměr

rozdílu průměrů k rozptylu těchto rozdílů. Z výsledné hodnoty testu je dále vypočtena tzv. p- hodnota, která slouží k rozhodnutí, zda je zjištěný rozdíl statisticky významný. V tomto případě dosáhla hodnota testové statistiky $t = 1,59$ a odpovídající p-hodnota činila 0,163.

Tabulka 18 - Počet preferencí roztíratelnosti pro 1 a 2 % koncentraci zahušťovadel. Data sloužila jako podklad pro výpočet párového t-testu.

Zahušťovadlo	Počet preferencí při 1 %	Počet preferencí při 2 %	Rozdíl (1 % - 2 %)
Clearthix	2	3	-1
Solagum	3	2	1
Sclerotium	2	3	-1
Natrosol	3	2	1
Xanthanová guma	5	0	5
Dermofeel	3	2	1
Algin TA	4	1	3

Vzhledem k tomu, že byla zvolena hladina významnosti $\alpha = 0,01$, p-hodnota tuto hranici nepřekročila, a tedy nebyla zamítnuta nulová hypotéza o rovnosti průměrů. To znamená, že rozdíl v počtu preferencí mezi koncentracemi 1 % a 2 % nebyl statisticky významný. Lze tedy konstatovat, že žádná z koncentrací nebyla při hodnocení roztíratelnosti jednoznačně preferována.

6.3.3 Korelace senzorických hodnocení s fyzikálními a vizuálními vlastnostmi emulzí

Senzorická analýza emulzních systémů umožnila komplexnější pohled na uživatelský komfort testovaných formulací. Hodnotitelé hodnotili roztíratelnost, vstřebatelnost, vnímanou viskozitu a celkovou uživatelskou preferenci. Na základě výsledků Friedmannova testu byly u některých znaků identifikovány statisticky významné rozdíly – především v případě vstřebatelnosti (1% koncentrace), viskozity (obě koncentrace) a roztíratelnosti (2% koncentrace). Z výsledků Nemenyiho testu vyplývá, že u 1% koncentrace byl zaznamenán významný rozdíl ve vstřebatelnosti mezi vzorkem D (Solagum) a CH (Algin TA), přičemž Algin TA byl hodnocen jako výrazně méně vstřebatelný. Tento výsledek je v souladu s vizuálním pozorováním rozpadlé emulze u vzorku Algin TA,

kde byla patrná separace fází již po prvních 7 dnech, což negativně ovlivňuje i jeho senzorické vlastnosti. Hodnocení roztíratelnosti a viskozity ukazuje, že i když mezi některými vzorky existovaly rozdíly v preferencích, tyto rozdíly nebyly vždy statisticky významné. Například Siligel, který byl vyřazen ze senzorické analýzy kvůli mikrobiální kontaminaci, vykazoval na základě vizuálního hodnocení velmi dobré vlastnosti – homogenní konzistenci a přiměřenou viskozitu. Tato skutečnost poukazuje na to, že i zpočátku slibné zahušťovadlo. Může selhat z hlediska mikrobiální stability, což podtrhuje důležitost jejího zohlednění při výběru vhodného modifikátoru viskozity. Porovnání senzorických výsledků s daty z měření viskozity a vizuálního hodnocení ukazuje částečnou korelaci mezi těmito daty. Například Sclerotium (2 %) bylo hodnoceno jako vysoce viskózní, což odpovídá laboratorně měřené viskozitě, tak vizuálnímu dojmu. U Dermofeelu se naopak ukázalo, že vyšší koncentrace (2 %) nevedla ke zvýšení viskozity – výsledná formulace byla dokonce méně viskózní než při 1 % přídávku. Tato nelineární odezva může souviset s komplikovanějším zpracováním zahušťovadla nebo jeho limitovanou schopností vázat vodu při vyšší koncentraci, jak bylo patrné i při přípravě vzorku a přítomnosti částic. Tyto skutečnosti negativně ovlivnily i senzorickou kvalitu vnímanou hodnotiteli, kteří tento vzorek označovali za nejméně preferovaný. Z hlediska roztíratelnosti se nejvyšší počet preferencí při 1% koncentraci objevil u Xanthanové gumy (5 preferencí), což potvrzuje i její homogenní vzhled a příjemnou konzistenci při vizuálním sledování. Přesto nebyl rozdíl mezi 1% a 2% koncentrací zahušťovadel z hlediska roztíratelnosti statisticky významný, což bylo ověřeno pomocí párového t-testu. Tato zjištění naznačují, že výběr zahušťovadla nelze opírat pouze o laboratorní měření viskozity, ale že senzorická data, společně s dlouhodobou fyzikální stabilitou a mikrobiální odolností, hrají klíčovou roli při formulaci finálního produktu. V některých případech může dojít ke kolizi mezi laboratorními a senzorickými daty – například Clearthix 2 % měl vysokou viskozitu, avšak senzoricky nepůsobil tak homogenně, což bylo pozorováno i při vizuálním hodnocení po 28 dnech, kdy došlo k separaci.

6.3.4 Shrnutí výsledků emulzních systémů

Na základě výsledků komplexního hodnocení emulzních systémů – včetně vývoje viskozity v čase, procentuální změny viskozity v čase, vizuální stability a senzorické analýzy – lze učinit následující závěry k identifikaci nejvhodnějšího modifikátoru viskozity a jeho optimální koncentrace. Nejvíce vhodné zahušťovadlo z hlediska komplexní účinnosti se ukázala být Xanthanová guma v koncentraci 2 %, která dosáhla vysokých hodnot viskozity.

Vykazovala dobrou stabilitu v čase bez známek separace nebo výrazného poklesu viskozity, při senzorickém hodnocení patřila k subjektivně velmi preferovaným, byla zároveň homogenní a bez známek hrudek či kontaminace.

Dalším velmi vhodným zahušťovadlem se ukázal být také Solagum, zejména při 2% koncentraci, který měl vysoké hodnoty viskozity, vykazoval výbornou fyzikální stabilitu (bez separace či změny barvy), měl velmi dobrou roztíratelnost a uživatelskou preferenci. Naopak mezi nejméně účinná zahušťovadla lze na základě nízké viskozity, špatné stability a dalších nežádoucích jevů zařadit Algin TA, Siligel a Clearthix. U Algin TA došlo k úplnému rozpadu systému již během prvních dnů. Siligel trpěl mikrobiální kontaminací a nízkou viskozitou, a Clearthix vykazoval nejnižší měřené hodnoty viskozity a ve 28. dni částečnou separaci fáze.

Z hlediska optimální koncentrace zahušťovadla se ukázalo, že vyšší koncentrace (2 %) zpravidla vedla k vyšší a stabilnější viskozitě. Výjimkou byly případy, kdy vyšší koncentrace způsobovala technologické nebo senzorické problémy (např. Dermofeel nebo Siligel). Závěrem lze říci, že výběr vhodného zahušťovadla a jeho koncentrace je značně individuální a měl by být vždy přizpůsoben konkrétní formulaci a požadovaným vlastnostem produktu. Vhodné je řídit se také doporučením výrobce, který z pravidla uvádí nejen doporučené dávkování, ale i typy systémů, pro které je zahušťovadlo určeno.

6.4 Chování a fyzikální stabilita tenzidových roztoků během přípravy a skladování

Stabilita tenzidových roztoků byla hodnocena jak během jejich přípravy, tak při jejich následném skladování. Tato kapitola shrnuje výsledky pozorování změn viskozity a stability v čase.

6.4.1 Chování vzorků tenzidových roztoků při přípravě

Během přípravy jednotlivých vzorků tenzidových roztoků byly pozorovány výrazné rozdíly v rozpustnosti zahušťovadel, tvorbě struktury a výsledné viskozitě systému.

Některé látky vytvořily ihned po smíchání s vodní fází homogenní, čirý a dobře zpracovatelný roztok, zatímco jiné vyžadovaly delší dobu na botnění nebo vykazovaly přítomnost hrudek. Na fotografii níže jsou zobrazeny roztoky tenzidů hned po přípravě (viz.

Obrázek 32).



Obrázek 32 - Připravené tenzidové roztoky ve vzorkovnicích zahrnující jednotlivé modifikátory viskozity a kontrolní vzorek bez modifikátoru

Na základě přípravy lze konstatovat, že zahušťovadla se lišila nejen v rozpustnosti, ale i v chování při míchání fází tenzidových roztoků. Některá zahušťovadla vyžadovala delší dobu botnění nebo specifickou manipulaci, jiná poskytla rychle homogenní a čirý výsledek. Tyto rozdíly jdou důležité i z hlediska následného hodnocení stability a reologických vlastností.

6.4.2 Vizuální porovnání stability a viskozity tenzidových roztoků v čase

Vizuální pozorování stability a viskozity tenzidových roztoků po 24 hodinách skladování

V prvních 24 hodinách po přípravě tenzidových roztoků byly zaznamenány převážně homogenní a stabilní systémy s různou mírou zakalení, viskozity a tvorby hrudek.

U některých zahušťovadel byla pozorována velmi dobrá rozpustnost a rovnoměrné rozptýlení, zatímco jiná vykazovala problémovou disperzi či viditelné hrudky. Celkový vzhled všech vzorků po 24 hodinách je zachycen na fotografii níže (viz.

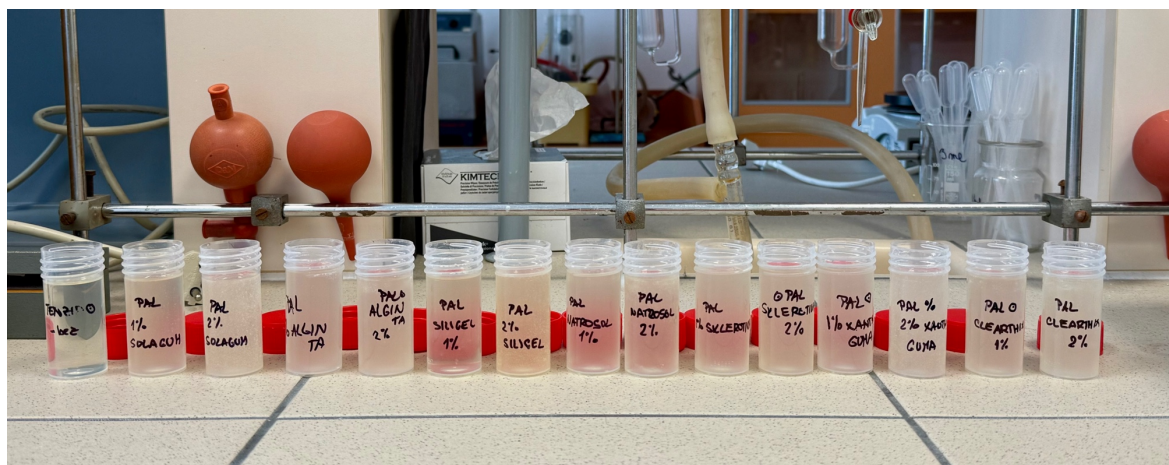
Obrázek 33), který dokumentuje rozdíly v čirosti, zákalu i konzistenci jednotlivých formulací. Níže je uveden podrobnější popis daných vzorků po 24 hodinách od přípravy (viz. Tabulka 19).

Tabulka 19 - Popis vzorků tenzidových roztoků po 24 hodinách od přípravy

Zahušťovadlo	c [%]	Pozorování
Kontrolní vzorek		výrazně tekutý a čirý, bez zakalení
Clearthix	1	hrudky a hutný vzhled, obtížnější na rozptýlení
	2	extrémně hutný, přítomnost hrudek, velmi špatná tekutost
Natrosol	1	viskózní, teče, ale s výskytem hrudek
	2	velmi hutný roztok s hrudkami a bublinami

Xanthanová guma	1	homogenní, hutný roztok bez hrudek
	2	velmi hutným s bubliny
Sclerotium	1	čirý, viskózní a homogenní roztok bez problémů
	2	obdobně jako 1%, čirý a viskózní bez zjevné separace
Solagum	1	mírně zbarvený, dobře tekutý s několika bublinkami
	2	homogenní, viskózní roztok s výskytem bublin, stále dobře tekutý
Algin TA	1	zakalený a viskózní s výskytem menšího množství bublin, přesto dobře tekutý
	2	velmi hutná, viskózní struktura s větším množstvím hrudek, znatelný zákal
Siligel	1	lehce zbarvený, tekutý, homogenní a lehce viskózní
	2	mírný zákal s přítomností bublinek, celkově homogenní a tekutý

Z výše uvedeného je patrné, že většina vzorků po 24 hodinách vytvořila stabilní směsi bez separace, přičemž míra viskozity a čirost se lišila v závislosti na typu a koncentraci použitého zahušťovadla.



Obrázek 33 - Vzorky tenzidových roztoků po 24 hodinách od přípravy

Vizuální pozorování stability a viskozity tenzidových roztoků po 7 dnech skladování

Po 7 dnech skladování tenzidových roztoků se u většiny vzorků neobjevily výrazné změny, avšak u několika systémů bylo zaznamenáno zhoustnutí ve spodní části nebo

drobné změny vzhledu. Typickým jevem byla vyšší viskozita ve spodní vrstvě, což u většiny vzorků vyžadovalo promíchání před dalším měřením. Celkově však roztoky zůstávaly stabilní a bez známek separace fází. Fotografie a podrobný popis vzorků po 7 dnech jsou uvedeny níže (viz.

Obrázek 34).

Tabulka 20 - Popis vzorků tensidových roztoků po 7 dnech od přípravy

Zahušťovadlo	c [%]	Pozorování
Solagum	2	zřetelný nárůst viskozity, přítomnost bublin a zpomalené stékání
Siligel	2	spodní část výrazně hustější než horní, nutnost promíchat
Natrosol	1	přetrvávající hrudky, roztok stále hutný
	2	homogenní bez hrudek, avšak zřetelně hutný a hustší dole
Xanthanová guma	2	výskyt bublinek, znatelné zahuštění oproti 1% koncentraci
Clearthix	2	patrné zhutnění a zvýšení viskozity oproti výchozímu stavu

U ostatních vzorků (např. Solagum 1 %, Sclerotium 1–2 %, Clearthix 1 %) nebyly pozorovány výrazné vizuální změny oproti stavu po 24 hodinách – roztoky zůstaly homogenní, viskózní a stabilní.



Obrázek 34 - Vzorky tensidových roztoků po 7 dnech skladování

Vizuální pozorování stability a viskozity tensidových roztoků po 14 dnech skladování

Po 14 dnech skladování většina vzorků nevykazovala zásadní vizuální změny oproti předchozímu hodnocení. Přesto byly u některých systémů patrné první známky strukturálních změn, které se projevovaly zejména mírnou separací a rozdílnou hustotou

mezi horní a spodní částí vzorku. Níže jsou zaznamenány změny v systémech (viz. Tabulka 21).

Tabulka 21 - Popis vzorků tensidových roztoků po 14 dnech od přípravy

Zahušťovadlo	c [%]	Poznámky
Siligel	1; 2	u obou koncentrací patrné zahuštění ve spodní části; horní vrstva zůstává řidší, což může naznačovat začínající separaci zahušťovadla
Natrosol	2	spodní vrstvy výrazně hutnější; konzistence není zcela homogenní
Algin TA	2	výrazně hutná spodní část, nápadně vyšší viskozita než horní část roztoku
Sclerotium	1	ve spodní části zřetelný zákal
Sclerotium	2	rovnoměrný zákal v celém objemu, avšak bez hrudek

Ostatní vzorky si zachovaly relativně homogenní vzhled bez významné změny konzistence. Vzorek bez zahušťovadla zůstal zcela čirý a tekutý, bez známek separace či zákalu.

Obrázek 35 dokumentuje všechny vzorky po 2 týdnech skladování. Na první pohled je patrný celkový zákal téměř u všech vzorků s obsahem zahušťovadel. Rozdíly v čirosti a případné vrstvení mohou být indikátorem fyzikálních změn probíhajících v systému během skladování.

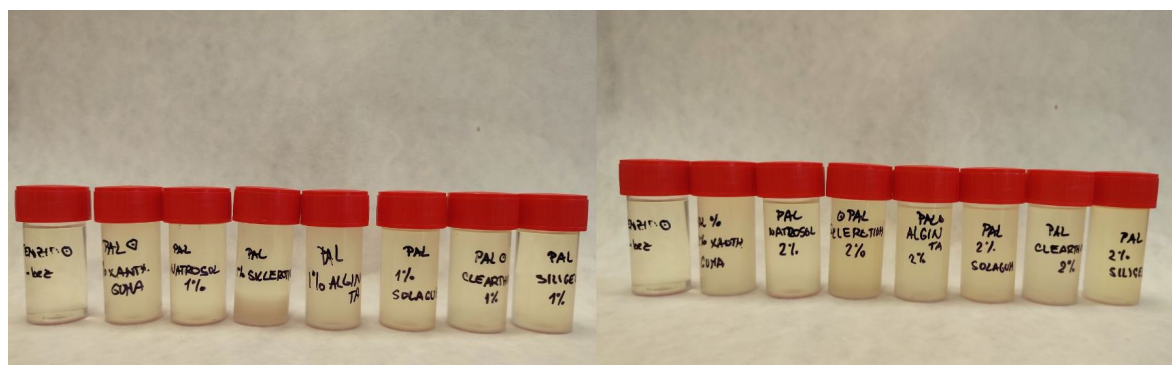


Obrázek 35 - Vzorky tensidových roztoků po 14 dnech skladování

Vizuální pozorování stability a viskozity tensidových roztoků po 21 dnech skladování

Po 21 dnech skladování nebyly u většiny vzorků zaznamenány zásadní změny vzhledu. U některých systémů se však začaly projevovat specifické vizuální znaky, které mohou indikovat probíhající změny v jejich struktuře nebo stabilitě. U vzorku obsahujícího 2 % zahušťovadla Sclerotium byl pozorován počínající rozpad fází, přičemž ve spodní části došlo k viditelnému zahuštění. Tento efekt může být známkou klesající fyzikální stability v systému v delším časovém horizontu. Přehled všech vzorků tenzidových roztoků je zachycen na fotografii níže (viz.

Obrázek 36).



Obrázek 36 - Vzorky tenzidových roztoků po 21 dnech skladování

Vizuální pozorování stability a viskozity tenzidových roztoků po 28 dnech skladování

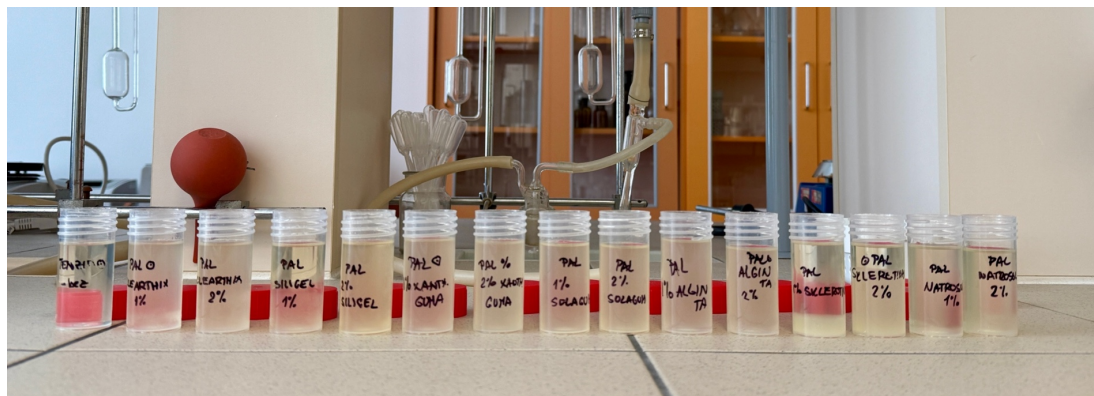
Po 28 dnech skladování byly u některých vzorků zaznamenány výraznější změny vzhledu, které poukazují na možnou destabilizaci systému. Nejčastěji se jednalo o separaci jednotlivých složek, zřetelné zákaly nebo změny v homogenitě směsi. Kompletní pohled na všechny vzorky po této době je zobrazen na fotografii níže (viz.

Obrázek 37). Níže jsou popsány specifické změny zjištěné u jednotlivých formulací (viz. Tabulka 21).

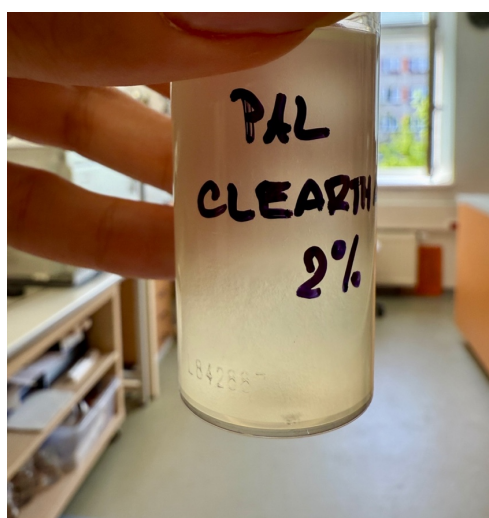
Tabulka 22 - Popis vzorků tenzidových roztoků po 21 dnech od přípravy

Zahušťovadlo	c [%]	Pozorování
Clearthix	1	lehký zákal, systém zůstal homogenní
	2	patrné výrazné zahuštění ve spodní části, horní část méně viskózní (viz. Obrázek 38)

Siligel	1	separace ve spodní části (vizuálně zakalená), horní část čirá (viz. Obrázek 39)
	2	čirý proužek ve vrchní části vzorku, zbytek zakalený (viz. Obrázek 39)
Xanthanová guma	1	zakalený, hutný, bez známek separace
	2	silně zakalený a hutný, opticky nejvýraznější zákal ze všech vzorků
Natrosol	1	zákal po celém objemu, ve spodní části patrné struktury (možné bubliny či zbytky nerozpuštěného zahušťovačla – viz. Obrázek 40)
	2	velmi hutný sodní podíl, výrazný zákal v celém objemu
Algin TA	1	separace – ve spodní části čirý proužek a vrchní vrstva zakalená (viz. Obrázek 41), při rozetření pozorovány nerozpuštěné částičky
	2	výrazné zahuštění ve spodní části (viz. Obrázek 41)
Sclerotium	1	zřetelná separace: čirá horní část, zákal a sedimentace ve spodní části (viz. Obrázek 42)
	2	horní vrstva čirá a spodní výrazně zahuštěná (viz. Obrázek 42)
Solagum	1	zakalený, homogenní, relativně hutný
	2	zakalený, viskózní, bez známek separace



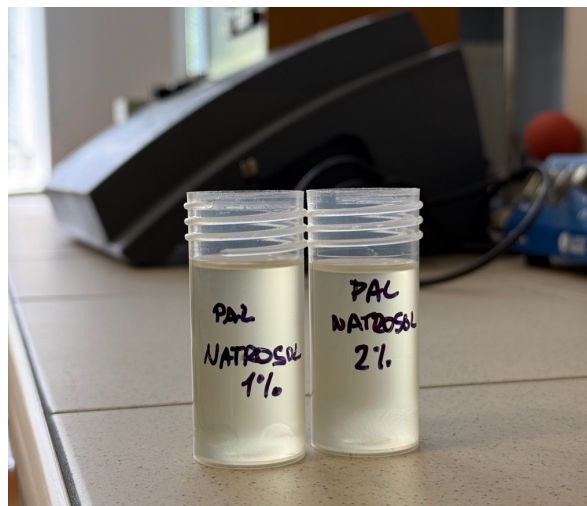
Obrázek 37 - Vzorky tensidových roztoků po 28 dnech skladování



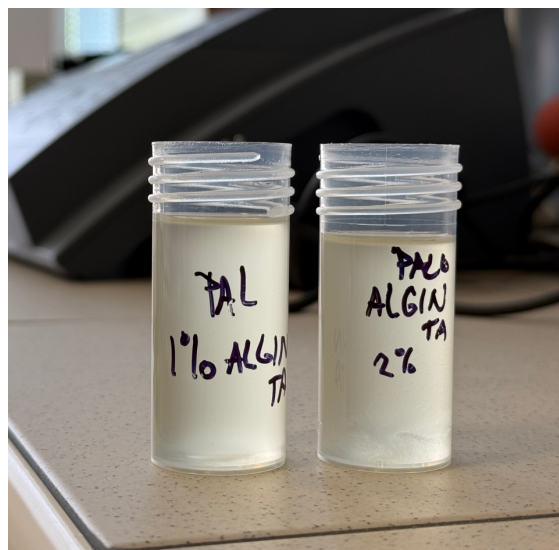
Obrázek 38 - Vzorek s 2 % Clearthixem po 28 dnech: patrné zahuštění ve spodní části vzorku, horní vrstva je viditelně méně viskózní



Obrázek 39 - Vzorky Siligel 1 % a 2 % po 28 dnech: u obou koncentrací patrná separace



Obrázek 40 - Znázornění změn v distribuci viskozity u vzorků s Natrosolem po 28 dnech



Obrázek 41 - Vizuální separace a zahuštění u vzorků s Algin TA po 28 dnech skladování



Obrázek 42 - Separace vzorků Sclerotium 1% a 2% po 28 dnech

Za základě dvacetiosmidenního vizuálního pozorování tenzidových systémů bylo možné identifikovat významné rozdíly ve stabilitě mezi jednotlivými zahušťovadly a jejich koncentracemi. Klíčovými sledovanými znaky byly zákal, výskyt hrudek, separace fází, sedimentace a změny viskozity, které společně umožnily posoudit dlouhodobou fyzikální stabilitu. Nejvýraznějším projevem nestability byla fázová separace, která se nejčastěji objevovala u zahušťovadel ve vyšší koncentraci (2 %), konkrétně u Sclerotia, Algin TA, Siligelu a částečně Clearthixu. Například u vzorku Sclerotium 2 % došlo k jasné separaci – horní vrstva zůstala čirá, zatímco spodní výrazně zhoustla zakalila se. Podobný jev byl zaznamenán i u Algin TA 1 % a 2 %, kde se již od 7. dne objevovalo vrstvení s přítomností nerozpuštěných částic a výrazné zahuštění ve spodní části ve 28. dni. U Clearthixu 2 % bylo patrné výrazné vrstvení s odlišnou viskozitou ve spodní a horní části vzorku. U Siligelu se separace objevila v obou koncentracích již po 14. dnech, s viditelným proužkem čiré vrstvy, zatímco zbytek systému byl zakalený – to může ukazovat jak na separaci, tak i na možnou chemickou degradaci. Naopak, systémy se Solagumem a Xanthanovou gumou vykazovaly dlouhodobou konzistenci a homogenní vzhled bez separací, přičemž i při vyšší viskozitě si zachovaly soudržnost. Výraznější zákal se objevil u Xanthanové gumy, zejména ve 2% koncentraci, ale bez negativního dopadu na homogenitu. Solagum zůstal i ve 28. dni opticky stabilní, bez viditelných změn. Natrosol 2 % se vyznačoval silným zakalením a patrným zahuštěním dna, což může indikovat počínající rozvrstvení. Celkově lze konstatovat že největší vizuální změny byly spojeny s vyšší koncentrací, což naznačuje, že tyto systémy jsou náchylnější k separaci a možnému zhoršení textury v čase. Z hlediska dlouhodobé stability se jako nejvhodnější zahušťovadla do tenzidových roztoků jevila Solagum a Xanthanová guma, která po celé období skladování vykazovala konzistentní vzhled, barvu i homogenitu.

Nejvyšší počáteční viskozity byly zaznamenány u Clearthix 2%, Algin TA 2% a Natrosolu 2%, nicméně u všech těchto systémů bylo později pozorováno výrazné vrstvení, lokální zahušťování nebo tvorbu hrudek. Tyto výsledky jsou v souladu se závěry Roulet et al. (2021), kteří upozorňují, že vyšší koncentrace polymerních zahušťovadel v surfaktantových roztocích sice zvyšují počáteční viskozitu, ale mohou vést k nestabilitě vlivem fázového oddělování či synerézy. [93]

Naopak roztoky obsahující Solagum si i při středních počátečních viskozitách zachovaly dobrou vizuální stabilitu po celé sledování. Nebyla zaznamenána separace ani významná změna reologického chování, což odpovídá popisu behaviorálních vlastností

flexibilních přírodních polysacharidů, schopných vytvářet stabilní gelové sítě i při relativně nízkých koncentracích. U Sclerotium gum byla při vyšší koncentraci (2 %) naopak zaznamenána mírná separace – s čirou vrchní fází a výrazněji zahuštěnou spodní vrstvou, což naznačuje určitou limitaci ve stabilitě systému, což je v nesouladu s literaturou. [94]

Zajímavým případem byl Natrosol, kde navzdory vysoké počáteční viskozitě došlo v průběhu času ke zhoršení vizuální stability v podobě hrudkovitostí a zákalu. Tento jev je v literatuře vysvětlován oxidativní degradací hydroxyethylcelulózy při nedostatečné konzervaci, jak uvádí Chai et al (2017). [77]

U Siligelu bylo během skladování pozorováno postupné rozdělení fází, přičemž při 1% koncentraci byla separace výraznější než při 2%. Tento jev lze vysvětlit na základě interakcí mezi polymery a ionty přítomnými v systému. Podle Garmsiri et al. (2023) může přítomnost iontů, zejména dvoumocných kationtů (např. Mg^{2+} , Ca^{2+}), vést ke snížení elektrostatického odpuzování mezi částicemi a podpoře koalescence, což následně způsobuje destabilizaci systému a separaci fází. [95]

Další studie zaměřená na stabilitu surfaktantových systémů ukázala, že absence nanočástic (např. oxidu křemičitého) nebo jiných stabilizačních přísad může přispět k destabilizaci polymerních systémů, což vede k agregaci a rozdělení fází. [96]

Výsledky ukazují, že pro zajištění dlouhodobé homogenity Siligelu v tenzidových roztocích by bylo vhodné uvažovat o úpravě složení systému, například přidávkem iontově odolných polymerů nebo použitím ochranných koloidů.

Výsledky tak poukazují, že při formulaci tenzidových systémů je nezbytné hodnotit nejen samotné reologické vlastnosti, ale i fyzikální stabilitu v čase. Správný výběr typu zahušťovadla a jeho koncentrace je klíčový pro dosažení stabilních systémů bez nežádoucí separace či degradace.

6.5 Vyhodnocení viskozity a stability tenzidových roztoků

Změny viskozity tenzidových roztoků byly sledovány v průběhu času za různých podmínek. Následující výsledky přinášejí přehled o vlivu použitých zahušťovadel na viskozitu a stabilitu vzorku.

6.5.1 Vývoj viskozity tenzidových roztoků v čase

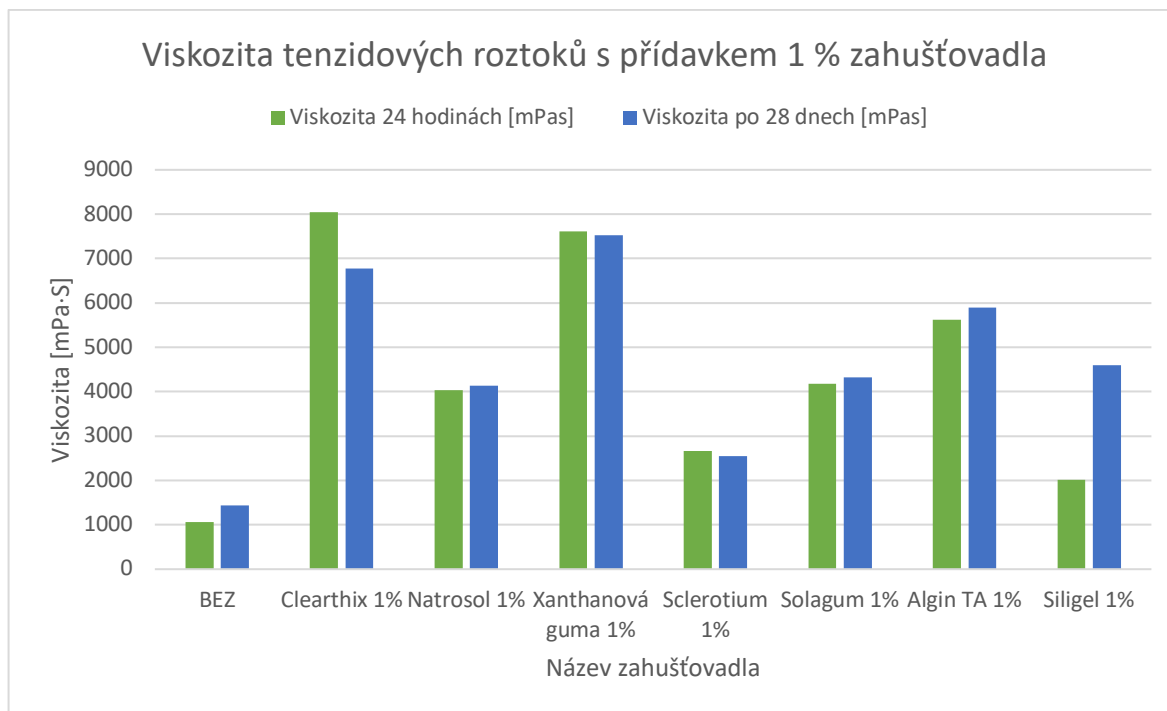
Tato část se zaměřuje na sledování vývoje viskozity jednotlivých tenzidových roztoků v průběhu 28 dní. Postup hodnocení navazuje na přístup použitý u emulzních systémů (viz. Kapitola 6.2.1) a cílem je posoudit, jak se reologické vlastnosti mění v závislosti na typu zahušťovadla a jeho koncentraci. Pro každý vzorek byly zaznamenány hodnoty viskozity v jednotkách mPa·S. První měření bylo provedeno po 24 hodinách od přípravy, a dále pak každých sedm dní ve čtyřech opakováních. Naměřené hodnoty jsou uvedeny v tabulce níže (viz. Tabulka 23), která souží jako hlavní podklad pro následnou grafickou a textovou analýzu.

Tabulka 23 - Naměřené hodnoty viskozity roztoků tenzidů v čase

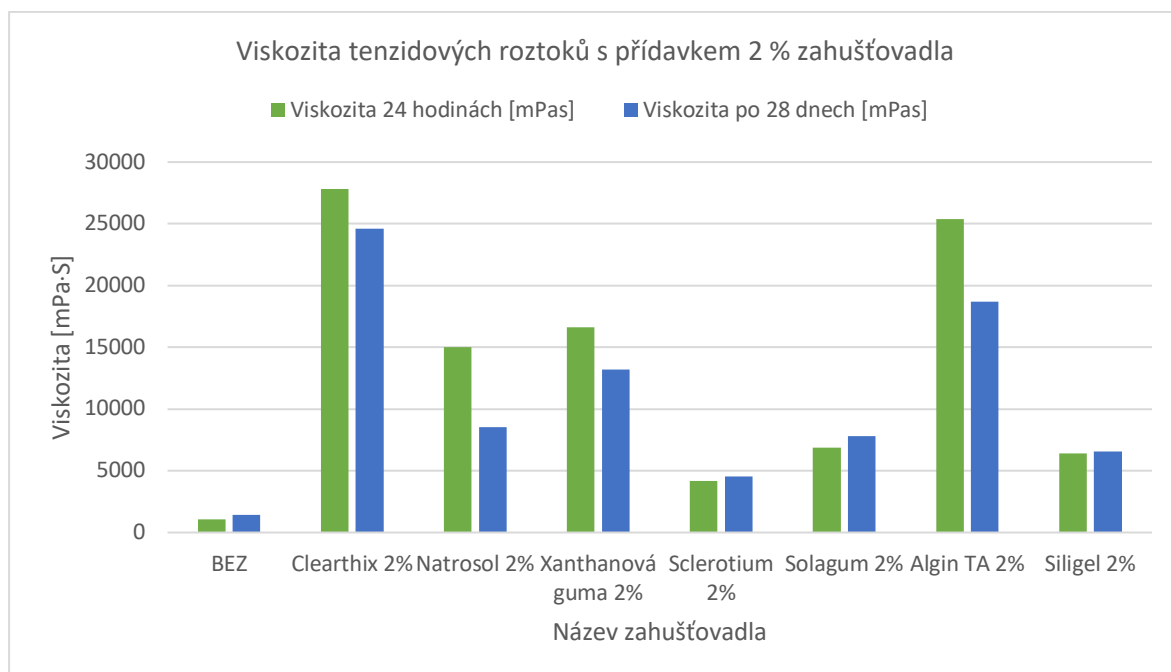
Zahušťovadlo	c [%]	Viskozita po 24 hodinách [mPa·S]	Viskozita po 7 dnech [mPa·S]	Viskozita po 14 dnech [mPa·S]	Viskozita po 21 dnech [mPa·S]	Viskozita po 28 dnech [mPa·S]
BEZ		1061	1410	1570	1450	1430
Clearthix	1	8040	8570	8570	7480	6770
	2	27830	37440	35830	24900	24590
Natrosol	1	4030	6200	4380	3860	4130
	2	15010	13670	10970	8290	8520
Xanthanová guma	1	7610	8130	7970	7180	7520
	2	16640	17810	15732	15690	13180
Sclerotium	1	2670	2480	2476	2060	2550
	2	4160	5400	4050	3440	4560
Solagum	1	4176	4870	5300	4230	4320
	2	6890	8710	9126	734	7830
Algin TA	1	5620	5970	6100	5490	5900
	2	25360	20750	19790	18759	18690
Siligel	1	2010	3840	4020	3980	4590

	2	6430	8420	6560	6550	6550
--	---	------	------	------	------	------

Na základě naměřených hodnot uvedených v tabulce (viz. Tabulka 23) byly sestaveny dva samostatné grafy. První graf (viz. Obrázek 43) znázorňuje vývoj viskozity tenzidových roztoků s přídavkem 1 % zahušťovadla, druhý graf (viz. Obrázek 44) pak ukazuje změny viskozity při 2% koncentraci. Tyto grafy umožňují lépe vizuálně porovnat rozdíly mezi jednotlivými systémy a vyhodnotit viskozitu v čase.



Obrázek 43 - Viskozita tenzidových roztoků s přídavkem 1 % zahušťovadla 24 hodin a 28 dní od přípravy



Obrázek 44 - Viskozita tenzidových roztoků s přidavkem 2 % zahušťovadla 24 hodin a 28 dní od přípravy

Clearthix

Na základě údajů z tabulky a grafů lze shrnout, že Clearthix v koncentracích 1 % a 2 % významně ovlivnil viskozitu tenzidových roztoků během 28 dní. U 1% koncentrace byl patrný nárůst viskozity do 14. dne, po němž následoval pozvolný pokles, ale výsledné hodnoty zůstaly vyšší než u kontrolního vzorku bez zahušťovadla. U 2% koncentrace byl naměřen výrazný počáteční nárůst viskozity, který vrcholil kolem 7. dne, ale po 14. dni došlo k poklesu hodnot, což může ukazovat na omezenou stabilitu při vyšším dávkování. Celkově oba vzorky vykazovaly vyšší viskozitu než kontrolní vzorek, který během 28 dní zaznamenal pouze mírné výkyvy.

Srovnání s jinými zahušťovadly, například xanthanové gumy, potvrzuje, že hydroxypropylové škroby poskytují vysoký počáteční zahušťovací efekt, ale jejich dlouhodobá stabilita je o něco nižší. [97]

Celkově lze Clearthix považovat za účinné zahušťovadlo pro tenzidové roztoky, které přináší výrazné zvýšení viskozity, avšak dosažení dlouhodobé stability je potřeba optimalizovat koncentraci a pečlivě zvolit aplikační podmínky.

Natrosol

Natrosol při 1% koncentraci výrazně zvýšil viskozitu tenzidového roztoku během prvního týdne, ale v dalších týdnech vykazoval pokles, i když si hodnoty udržely převahu nad kontrolním vzorkem. Při 2% koncentraci byl počáteční nárůst viskozity ještě výraznější, ale časem následoval znatelný pokles, což naznačuje omezenou stabilitu při vyšší dávce. Oba vzorky byly po 28 dnech stále viskóznější než kontrolní vzorek, ale účinnost zahušťování se u vyšší koncentrace s časem snižovala.

Odborná literatura ukazuje, že při vyšší koncentraci může docházet k agregaci polymerních řetězců, což snižuje účinnost zahušťování. Alves et al. upozorňují, že výkon hydroxyethylcelulózy závisí na pH a přítomnosti elektrolytů, což může ovlivnit jeho dlouhodobou stabilitu i v tenzidových roztocích. [98]

Celkově lze Natrosol hodnotit jako efektivní zahušťovadlo, které přináší vysoký počáteční efekt, ale jeho účinnost je třeba minimalizovat s ohledem na skladovací podmínky a koncentraci.

Xanthanová guma

Xanthanová guma při koncentracích 1 % a 2 % prokázala v tenzidových roztocích výrazné zahušťovací schopnosti a dlouhodobou stabilitu. Obě koncentrace vedly k významnému zvýšení viskozity oproti kontrolnímu vzorku. Zatímco 1% koncentrace si udržela stabilní viskozitu po celé sledované období, u 2% koncentrace byl pozorován mírný pokles po 14. dni, avšak hodnoty zůstaly výrazně vyšší než u vzorku bez zahušťovadla. Tento výsledek odpovídá literárním poznatkům, podle nichž xanthanová guma zvyšuje viskozitu tenzidových roztoků díky tvorbě prostorově rozvětvených gelových sítí a interakcí s povrchově aktivními látkami. [99],

Stabilita systémů s Xanthanovou gumou je dobře doložena i v přítomnosti různých elektrolytů a v širokém rozsahu pH, což potvrzuje García-Ochoa et al. [97]

Celkově lze Xanthanovou gumu považovat za jedno z nejefektivnějších zahušťovadel s vysokou reologickou účinností a dlouhodobou stabilitou v tenzidových systémech.

Sclerotium

Sclerotium gum při koncentracích 1 % a 2 % prokázalo v tenzidových roztocích schopnost zvyšovat viskozitu oproti kontrolnímu vzorku bez zahušťovadla. U 1% koncentrace zůstala viskozita během celého sledovaného období relativně stabilní,

s mírným poklesem kolem 21. dne a následným návratem k původním hodnotám. Naproti tomu 2% koncentrace vykazovala vyšší počáteční viskozitu, která ale během času znatelně kolísala – po úvodním nárůstu následoval pokles a následné zvýšení. Tento nepravidelný průběh může naznačovat vnitřní nestabilitu systému, což bylo potvrzeno i vizuálně – u 1% koncentrace byla patrná separace ve spodní části, zatímco u 2 % spíše nahoře. Podle literatury má Sclerotium gum (také známý jako Scleroglucan) výborné reologické vlastnosti, díky kterým vytváří stabilní gely a zajišťují konzistenci produktů i v přítomnosti tenzidů. Studie Fuime et al. potvrzuje jeho široké využití v kosmetických i čistících přípravcích právě kvůli dobré kompatibilitě s povrchově aktivními látkami. [100]

Další práce popisuje roli mikrobiálních polysacharidů, jako je Sclerotium gum, při zlepšování textury a stability ve formulacích, což odpovídá i našim výsledkům, kdy nižší koncentrace vykazovala stabilnější průběh než vyšší dávka zahušťovaadla. [101]

Celkově lze Sclerotium gum považovat za účinné přírodní zahušťovaadlo pro tenzidové roztoky, přičemž jeho stabilita závisí na koncentraci a homogenitě systému.

Solagum

Solagum AX, kombinace akáciové gumy, Sclerotia a xanthanové gumy výrazně zvýšil viskozitu tenzidových roztoků oproti kontrolnímu vzorku. při 1% koncentraci byl patrný stabilní nárůst viskozity během 14 dní, následovaný mírným poklesem a opětovným zvýšením do 28.dne. 2% koncentrace vykazovala podobný trend s maximem kolem 14. dne, po kterém následoval mírný pokles a stabilizace. Celkově zůstala viskozita u obou koncentrací výrazně nad úrovní kontrolního vzorku, což ukazuje na efektivní zahušťovací schopnost a dobrou reologickou stabilitu. Podle technických údajů výrobce Seppic poskytuje tento přírodní polymer synergický efekt, který zajišťuje vysokou kompatibilitu s tenzidy a stabilitu i při širokém rozmezí pH. [102]

Solagum AX lze hodnotit jako účinné přírodní zahušťovaadlo pro tenzidové systémy, které kombinuje výhody několika biopolymerů a vykazuje velmi dobrou stabilitu v čase.

Algin TA

Algin TA (sodná sůl kyseliny alginové) byl testován v koncentracích 1 % a 2 % v tenzidových roztocích. Obě koncentrace vedly k významnému zvýšení viskozity ve srovnání s kontrolním vzorkem bez zahušťovaadla. 1% koncentrace vykazovala stabilní viskozitu po celé sledované období, zatímco 2% koncentrace zaznamenala mírný pokles viskozity po 14. dni, avšak hodnoty zůstaly nad úrovní kontrolního vzorku. Toto chování

odpovídá literárním poznatkům, které uvádějí, že sodná sůl kyseliny alginové je aniontový polysacharid s výrazným polyelektrolytovým efektem, což ovlivňuje její reologické vlastnosti v roztocích. Studie ukazují, že viskozity roztoků alginátu sodného je citlivá na změny pH a přítomnost iontů, což může ovlivnit stabilitu viskozity v čase. Celkově lze Algin Ta považovat za účinné zahušťovadlo pro tenzidové roztoky, které poskytuje stabilní viskozitu a je kompatibilní s různými tenzidy. Jeho výkon odpovídá zjištěním v literatuře, což potvrzuje jeho vhodnost pro aplikace vyžadující konzistentní reologické vlastnosti v čase. [103], [104]

Siligel

Siligel v koncentracích 1 % a 2 % prokázal v roztocích tenzidů silný zahušťovací efekt a vysokou stabilitu. Při 1% koncentraci byl patrný plynulý nárůst viskozity po celé sledované období, kdy ve 28. dni přesáhla viskozita více než čtyřnásobek oproti kontrolnímu vzorku. u 2% koncentrace byl zaznamenán prudký nárůst během prvních 7 dní, po kterém následovala stabilizace bez výrazných výkyvů. Tento vývoj podruhé efektivní a konzistentní reologické vlastnosti Siligelu, které přetrvávají i při vyšších koncentracích. Podle odborné literatury je Siligel multifunkční přírodní polymer kombinující Xanthanovou gumu, Lecitin, Sclerotium, Pullulan a oxid křemičitý, která poskytuje unikátní reologické chování a stabilitu v široké škále tenzidových systémů. [105]

Výsledky z našeho sledování jsou v souladu s těmito poznatky, protože i při vyšší koncentraci zůstaly hodnoty viskozity stabilní a bez známek destabilizace. Celkově lze Siligel považovat za účinné přírodní zahušťovadlo s výbornou kompatibilitou v tenzidových systémech, což jej činí vhodným pro široké aplikační využití.

Na základě sledování vývoje viskozity roztoků tenzidů lze konstatovat, že typ i koncentrace zahušťovadla výrazně ovlivňují jejich chování v čase. Většina zahušťovadel ve vyšší koncentraci (2 %) dosahovala výrazně vyšší počáteční viskozity – například Clearthix 2 %, Natrosol 2 % nebo Siligel 2 %. Nicméně právě tyto vzorky často vykazovaly znatelný pokles nebo kolísání viskozity v průběhu skladování, což může poukazovat na nižší strukturální stabilitu při vyšší koncentraci. Naopak některé vzorky s 1% koncentrací – jako Solagum 1 %, Siligel 1 % a Xanthanová guma 1 % projevily relativně stabilní viskozitu v čase, i když jejich absolutní hodnoty byly nižší. Tato pozorování ukazují, že vyšší koncentrace sice často zajistí vyšší viskozitu, ale nemusí automaticky garantovat stabilitu systému. Výběr vhodného zahušťovadla tak musí vycházet nejen z počáteční účinnosti, ale i dlouhodobého chování v daném systému.

6.5.2 Procentuální změna viskozity tenzidových roztoků v čase

V této části byla sledována změna viskozity jednotlivých tenzidových systémů v průběhu dvaceti osmi dnů. Cílem bylo posoudit, jak různé typy zahušťovadel a jejich koncentrace ovlivňují viskozitu během skladování. Změny viskozity mohou sloužit jako indikátor vnitřní rovnováhy systému – pokles může být známkou rozpadu struktury, zatímco stabilní nebo rostoucí hodnota signalizuje dobrou schopnost udržet svou texturu i při dlouhodobém stání.

Tabulka s procentuální změnou viskozity v čase (viz. Tabulka 24) je uvedena níže a slouží jako podklad pro následnou grafickou a slovní interpretaci výsledků.

Tabulka 24 - Procentuální změna viskozity vzorků v čase (24 hod – 28 dní)

Zahušťovadlo	c [%]	% změna po 7 dnech	% změna po 14 dnech	% změna po 21 dnech	% změna po 28 dnech
Bez		34,8	50,1	38,62	36,71
Clearthix	1	6,59	6,59	-6,97	-15,8
	2	34,53	28,75	-10,53	-11,64
Natrosol	1	53,85	8,68	-4,22	2,48
	2	-8,93	-26,92	-44,77	-43,24
Xanthan. gum	1	6,83	4,73	-5,65	-1,18
	2	7,03	-5,46	-5,71	-20,79
Sclerotium	1	-7,12	-7,27	-22,85	-4,49
	2	29,81	-2,64	-17,31	9,62
Solagum	1	16,62	26,92	1,29	3,45
	2	26,42	32,45	6,54	13,64
Algin TA	1	6,23	8,54	-2,31	4,98
	2	-18,18	-21,96	-26,03	-26,3
Siligel	1	91,04	100	98,01	128,36
	2	30,95	2,02	1,87	1,87

Clearthix 1%

Vzorek s 1% koncentrací Clearthixu se vyznačoval poměrně konzistentním vývojem viskozity v čase. V prvních 14. dnech se hodnota viskozity nezměnila (stabilní růst o +6,6%), nicméně následně došlo k pozvolnému poklesu. Ve 28. dni se viskozita snížila o 15,8% oproti výchozí hodnotě. I přes mírný úbytek lze systém považovat za relativně stabilní, bez známek strukturálního zhroucení nebo zásadního kolísání.

Clearthix 2%

Vyšší koncentrace Clearthixu vedla k počátečnímu výraznému nárůstu viskozity – v prvních 7 dnech o 34,5%, který se postupně snížil na hodnotu -11,6% ve 28. dni oproti výchozímu stavu. Ačkoliv došlo k poklesu, šlo o pozvolný trend bez náhlých propadů, což naznačuje určitou reologickou stabilitu systému. Zahušťovadlo v této koncentraci si zachovalo schopnost udržet strukturu po celé sledované období, ačkoliv efektivita zahuštění v čase klesala.

Natrosol 1%

Tento vzorek vykazoval výrazný počáteční nárůst viskozity (53,9% v prvních 7 dnech), který se v následujících dnech postupně snižoval. Ve 28. dni došlo k návratu téměř na výchozí hodnotu (2,5%), což ukazuje nestabilní vývoj, ale celkově systém zůstal relativně funkční bez výrazných známek fyzikálního rozpadu.

Natrosol 2%

Koncentrace 2% vedla k opačnému trendu – viskozita postupně klesala od -8,9% v prvních sedmi dnech až na -43,2% ve 28. dni. Tento trend potvrzuje slabou reologickou stabilitu systému. Navíc byla ve 28. dni ve spodní části vzorku zaznamenána výrazně vyšší viskozita, což může svědčit o počínající separaci fází nebo sedimentaci polymerních složek.

Xanthanová guma 1%

Systém s 1% koncentrací Xanthanové gumy vykazoval minimální výkyvy viskozity během celého sledovaného období. Změna se pohybovala v rozmezí +6,8 až -1,2%, což svědčí o velmi separace fází.

Xanthanová guma 2%

Vyšší koncentrace přinesla vyšší počáteční viskozitu, nicméně systém zaznamenal pokles až o 20,8% ve 28. dni. Přestože se nejedná o dramatický propad, je patrné,

že s rostoucí koncentrací může dojít k určitému přetížení systému, což vede k pomalému poklesu reologických vlastností.

Sclerotium 1%

Viskozita se u tohoto vzorku v čase téměř neměnila, celkové změny nepřesáhly 7 %. přesto byla ke konci skladování pozorována částečná separace fází, zejména v dolní části vzorku, které může souviset s jemnou destabilizací systému, i když hodnoty viskozity zůstaly relativně stabilní.

Sclerotium 2%

Vyšší koncentrace vedla k nárůstu viskozity v prvních 7 dnech (+29,8%), ale poté hodnoty pozvolna klesaly (ve 28. dni pokles na +9,6%). Vzorek byl reologicky mírně stabilní, přičemž byla vizuálně zaznamenána separace převážně v horní části systému.

Solagum 1%

Systém vykazoval plynulý nárůst viskozity až prvních 14 dní (+26,9%), poté se hodnoty ustálily a ve 28. dni zůstala viskozita zvýšená (+3,5%). Průběh byl bez náhlých propadů, což svědčí o dobré reologické stabilitě při nižší koncentraci.

Solagum 2%

U 2% koncentrace byl zaznamenán plynulý nárůst viskozity během prvních čtrnácti dnů (+32,5%), poté následoval pokles (+6,5%) a mírné zvýšení ve 28. dni (+13,6%). Průběh naznačuje kolísavou, ale celkově zachovanou účinnost zahušťovačů.

Algin TA 1%

Viskozita u této koncentrace mírně narůstala v prvních dnech (+6,2% až +8,5%), poté zůstala poměrně stabilní, s konečnou hodnotou +5% ve 28. dni. Takový vývoj vykazuje stabilní reologické chování, vhodné pro dlouhodobější aplikace v nižší koncentraci.

Algin TA 2%

Vyšší koncentrace vedle ke konzistentnímu poklesu viskozity v čase – již v prvních 7 dnech o -18,2%, který dále pokračoval až na -26,3% ve 28. dni. Tento systém vykazuje slábnoucí zahušťovací efekt, bez kolapsu, ale s patrným trendem degradace struktury.

Siligel 1%

Viskozita se po celou dobu držela téměř konstantní, s maximálním výkyvem 7%. přesto byl ke konci sledování zaznamenán jemný zákal a odlišnost mezi horní a spodní částí vzorku,

což může naznačovat počínající destabilizaci systému, i když viskozitně se jevil jako stabilní.

Siligel 2%

Při 2% koncentraci došlo ke zvýšení viskozity v prvních 7 dnech (+30,9%) a následné stagnaci, nicméně k závěru sledovaného období byl patrný zákal a slabé oddělní fázi v horní části vzorku. Přestože reologické hodnoty nevykazovaly výrazné výkyvy, vizuální změny svědčí o možné fyzikální nestabilitě systému.

Na základě sledování změn viskozity v průběhu dvaceti osmi dnů lze konstatovat, že tenzidové roztoky vykazují výrazné rozdíly v reologickém chování v závislosti na použitém zahušťovadle i jeho koncentraci. Zatímco některé systémy (např. Clearthix 1 % nebo Solagum 1 %) vykazovaly relativně stabilní nebo jen mírně kolísající vývoj viskozity, jiné (jako Natrosol 2 % nebo Solagum 2 %) zaznamenaly výraznější pokles nebo stabilitu uprostřed doby skladování. Z výsledků je rovněž zřejmé, že vyšší koncentrace zahušťovadel nemusí nutně znamenat vyšší reologickou stabilitu. Naopak v několika případech vedly právě vyšší koncentrace k rychlejší ztrátě viskozity v čase. Některé nižší koncentrace naopak vykazovaly překvapivě vyrovnaný průběh a ukázaly se jako vhodnější pro zachování struktury v delším časovém horizontu.

6.6 Porovnání chování zahušťovadel v emulzních systémech a tenzidových roztocích

V rámci sledování chování různých zahušťovadel v emulzních systémech a tenzidových roztocích bylo pozorováno několik zásadních rozdílů v jejich účinnosti, stabilitě a vhodnosti použití. Výsledky ukázaly, že stejné zahušťovadlo se může v různých typech systémů chovat odlišně v závislosti na chemickém složení média, přítomnosti povrchově aktivních látek a fyzikálně-chemických vlastnostech systému. Níže jsou uvedeny a prodiskutovány změny v chování v emulzních systémech a tenzidových roztocích.

Clearthix

V emulzních systémech dosahoval Clearthix vysoké viskozity, ale v průběhu skladování se objevovaly tendence k fázové separaci a viditelnému vrstvení, zejména při koncentraci 2 %. Byly zaznamenány i drobné hrudky. V tenzidových systémech dosáhl Clearthix velmi vysoké počáteční hodnoty (cca 30 000 mPa·s u 2 %), avšak v čase došlo k výraznému zahuštění spodní části systému, nikoli k plné separaci. Clearthix je vhodnější

spíše pro systémy s vyššími nároky na počáteční viskozitu, avšak vyžaduje důkladné dispergování. Doporučený přírůvek je 1 % v tenzidových systémech, vyšší koncentrace vede k destabilizaci.

Natrosol

U Natrosolu byla v emulzních systémech pozorována tvorba hrudek a oxidace (zbarvení) hlavně u 2% koncentrace. Systémy byly vizuálně nestabilní. V tenzidech vykazoval Natrosol vysokou počáteční viskozitu, avšak v čase docházelo k sedimentaci a zakalení, zejména u vyšší koncentrace. Natrosol má tedy omezené použití, vhodné spíše pro krátkodobé aplikace. Doporučený přírůvek je 1 % spíše pro tenzidové roztoky.

Sclerotium gum

V emulzích bylo Sclerotium velmi stabilní, bez separace a s udrženou viskozitou, zejména při 1% koncentraci. U Sclerotia byla v tenzidech pozorována separace (vrchní čirá vrstva, spodní zákal a zahuštění). A proto je velmi vhodné pro emulze zejména v 1% koncentraci).

Solagum

Solagum byl v emulzích velmi stabilní, bez známek separace či hrudkování. I v tenzidových roztocích si Solagum udržel stabilitu a vhodnou viskozitu bez významných změn během skladování. Díky tomu můžeme říct, že Solagum je univerzální zahušťovadlo vhodné pro oba typy systému v doporučeném přírůvku 1–2 % podle požadované viskozity.

Siligel

V emulzích docházelo ke kontaminaci plísní u vzorku s tímto zahušťovadlem. V tenzidech byla pozorována separace fází, ale bez mikrobiální kontaminace. A proto můžeme říct, že jsou požadovány konzervační látky, abychom zabránili kontaminaci. Jelikož v tenzidech došlo k separaci, jsou vhodnější pro emulzní systémy, kde došlo pouze k mikrobiální kontaminaci.

Xanthan gum

V emulzích docházelo ke zvýšení viskozity, ale s tendencí hrudkovitosti hlavně při vyšších koncentracích. V tenzidech si Xanthanová guma držela relativně stabilní strukturu bez výrazného rozvrstvení, ačkoli vyšší koncentrace (2 %) vykazovala vyšší zákal. Xanthanová guma je vhodná pro stabilizaci obou systémů při nižších koncentracích pro lepší reologické vlastnosti.

Algin TA

Alginát sodný vykazoval v emulzních systémech výraznou separaci již od počátečního stádia skladování. Separace byla patrná i v tenzidových roztocích, doprovázená tvorbou hrudek a zahuštění ve spodní části. Algin TA je nevhodný pro dlouhodobé stabilní formulace v obou formulacích.

Dermofeel Viscolid

Dermofeel Viscolid byl testován pouze v rámci emulzních systému, protože se jedná o látku rozpustnou primárně v olejové fázi, a proto není vhodný pro použití v tenzidových roztocích. V rámci emulzních systémů však Dermofeel nevykazoval výrazné zlepšení reologických vlastností ani výrazné zvýšení viskozity. Vzhledem k obtížnější přípravě vzorku a možnému nevhodnému postupu při dispergaci této látky nelze výsledky plně objektivně hodnotit. Je tedy možné, že nedostatečné výsledky byly částečně ovlivněny technologických zpracováním a nedorážejí plný potenciál této látky v optimálních podmínkách.

Na základě provedených experimentů lze shrnout, že pro emulzní systémy se jako nejvhodnější ukázaly Solagum a Sclerotium gum díky své vysoké stabilitě a homogennímu vzhledu. Pro tenzidové roztoky se jako nejefektivnější osvědčily Solagum a Xanthanová guma, které zajistili dostatečnou viskozitu a dlouhodobou stabilitou bez výrazné separace či degradace systému.

ZÁVĚR

Tato diplomová práce byla zaměřena na identifikaci vhodného modifikátoru viskozity a stanovení jeho optimální koncentrace pro použití v kosmetických formulacích. V rámci experimentální části byly hodnoceny emulzní systémy a roztoky tenzidů obsahující různé typy zahušťovadel ve dvou koncentracích (1 % a 2 %). Byla sledována zejména jejich viskozita, stabilita v čase a senzorické vlastnosti.

Z výsledků je zřejmé, že mezi nejvhodnější modifikátory viskozity z hlediska komplexní účinnosti, stability a senzorických vlastností patřila Xanthanová guma v koncentraci 2 % a Solagum v koncentraci 1 i 2 % pro oba systémy. Oba tyto modifikátory vykazovaly vysoké hodnoty viskozity, dobrou stabilitu bez známek separace nebo degradace a byly pozitivně hodnoceny také při senzorické analýze. Pro emulzní systémy se velmi vhodným ukázala být rovněž Sclerotium gum, a to zejména při 1% koncentraci, kdy vzorky s jejím obsahem vykazovaly stálou viskozitu a homogenní strukturu.

Naopak mezi méně vhodná zahušťovadla patřily Algin TA a Siligel, kde byla pozorována výrazná nestabilita vzorků, separace fází nebo mikrobiální kontaminace. Clearthix, přestože dosahoval vysoké počáteční viskozity, vykazoval v průběhu skladování tendenci k separaci složek a ztrátě stability. U některých modifikátorů se ukázalo, že vyšší koncentrace (2 %) vedly ke zhoršení fyzikálních vlastností, a proto je nutné volit koncentraci individuálně dle požadovaných vlastností konečného produktu.

Přínosem práce je nejen experimentální ověření účinnosti vybraných modifikátorů, ale také upozornění na význam kombinace laboratorního měření viskozity s vizuálním a senzorickým hodnocením. Výsledky ukazují, že samotná hodnota viskozity nemusí vždy plně reflektovat dlouhodobé chování systému, a je tedy nezbytné hodnotit i další aspekty, jako je homogenita, stabilita v čase a senzorický komfort. Omezením práce bylo především sledování stability v relativně krátkém časovém období 28 dní a omezený rozsah testovaných typů zahušťovadel. Do budoucna by bylo vhodné se zaměřit na dlouhodobější sledování stability vzorků, testování širšího spektra modifikátorů a optimalizaci technologických podmínek přípravy formulací. Výsledky této práce mohou být využity při vývoji a optimalizaci kosmetických produktů, kde je klíčovým požadavkem dosažení požadovaných reologických vlastností a dlouhodobé stability.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] BENSON, Heather A. E.; ROBERTS, Michael S.; LEITE-SILVA, Vânia Rodrigues a WALTERS, Kenneth A. (ed.). *Cosmetic formulation: principles and practice*. Boca Raton: CRC Press, Taylor & Francis Group, [2019]. ISBN 9781482235395.
- [2] BAKI, Gabriella. *Introduction to Cosmetic Formulation and Technology*. Online. 2nd Edition. Hoboken, NJ : Wiley, 2022. ISBN 978-1-119-70983-1. Dostupné z: <https://vufind.katalog.k.utb.cz/Record/kn-on1355689700>. [cit. 2025-04-12].
- [3] MITSUI, T. *New Cosmetic Science*. Online. 1997. ISBN 9780080537498. Dostupné z: <https://shop.elsevier.com/books/new-cosmetic-science/mitsui/978-0-444-82654-1>. [cit. 2025-04-12].
- [4] SALVADOR, Amparo a CHISVERT, Alberto. *Analysis of Cosmetic Products*. Online. 2007. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-52260-3.X5020-7>. [cit. 2025-04-12].
- [5] Nařízení Evropského parlamentu a Rady (ES) č. 1223/2009 o kosmetických přípravcích. In: . 2009.
- [6] VEČEŘOVÁ, Petra. *ŠKODLIVÉ LÁTKY V KOSMETICE ANEB ČEMU SE V PRODUKTECH VYHNOUT?* Online. BENU CZ. 2023. Dostupné z: <https://www.benu.cz/skodlive-latky-v-kosmetice-aneb-cemu-se-v-produktech-vyhnout>. [cit. 2025-04-12].
- [7] KREJČÍ, Jiří. *Kosmetické přípravky*. Online. Zlín: Fakulta Technologická, Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně.
- [8] *Co (ne)víme o kosmetických přípravcích aneb kosmetologie pro farmaceuty: KOSMETICKÉ PŘÍPRAVKY*. Online. In: DOC. PHARMDR. ANDREJ KOVÁČIK, PH.D., KATEDRA FARMACEUTICKÉ TECHNOLOGIE, FARMACEUTICKÁ FAKULTA UK V HRADCI KRÁLOVÉ HEYROVSKÉHO 1203, 500 05 HRADEC KRÁLOVÉ. PRAKTICKÉ LÉKÁRENSTVÍ. 2022. Dostupné z: <https://farmaciepropraxi.cz/pdfs/lek/2022/01/08.pdf>. [cit. 2025-04-23].
- [9] BARBAR, Arkan; KALAYI, Mohammed; AKSU, Buket a DEMİR, Buse. SAFETY USE OF COSMETICS. Online. *AURUM JOURNAL OF HEALTH SCIENCE*. 2024, roč. 6, č. 1, article 1, s. 49-70. Dostupné z: <https://dergipark.org.tr/en/pub/ajhs/issue/84108/1279957>. [cit. 2025-04-23].
- [10] STEILING, W.; ALMEIDA, J.F.; ASSAF VANDECASTEELE, H.; GILPIN, S.; KAWAMOTO, T. et al. Principles for the safety evaluation of cosmetic powders. Online. *Toxicology Letters*. 2018, roč. 297, s. 8-18. ISSN 03784274. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.toxlet.2018.08.011>. [cit. 2025-04-23].
- [11] LARA-TORRES, Sara; FIGUEIREDO, Dany; PAZ, Soraya; GUTIÉRREZ, Angel J.; RUBIO, Carmen et al. Determination and risk assessment of toxic metals in lipsticks from Europe and China. Online. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*. 2021, roč. 67. ISSN 0946672X. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.jtemb.2021.126792>. [cit. 2025-04-23].
- [12] BARTOVSKÁ, Lidmila a ŠÍŠKOVÁ, Marie. *Fyzikální chemie povrchů a koloidních soustav*. Vyd. 5., přeprac. Praha: Vydavatelství VŠCHT, 2005. ISBN 80-708-0579-X.

- [13] BIRSAN, Magdalena; BIBIRE, Nela; PANAINTE, Alina Diana; SILASI, Oana; ANTONOAEA, Paula et al. The Influence of the Preparation Method on the Characteristics of a New Cosmetic Gel Based on Hyaluronic Acid and Matrix-Forming Polymers. Online. *Materiale Plastice*. 2019, roč. 57, č. 2, s. 123-130. ISSN 0025-5289. Dostupné z: <https://doi.org/10.37358/MP.20.2.5358>. [cit. 2025-04-27].
- [14] PROVOST, C. Transparent oil-water gels. Online. *International Journal of Cosmetic Science*. 1986, roč. 8, č. 5, s. 233-247. ISSN 0142-5463. Dostupné z: <https://doi.org/10.1111/j.1467-2494.1986.tb00453.x>. [cit. 2025-04-27].
- [15] SIMÕES, Ana; VEIGA, Francisco a VITORINO, Carla. Progressing Towards the Sustainable Development of Cream Formulations. Online. *Pharmaceutics*. 2020, roč. 12, č. 7. ISSN 1999-4923. Dostupné z: <https://doi.org/10.3390/pharmaceutics12070647>. [cit. 2025-04-27].
- [16] SIMÕES, Ana; VEIGA, Francisco a VITORINO, Carla. Developing Cream Formulations: Renewed Interest in an Old Problem. Online. *Journal of Pharmaceutical Sciences*. 2019, roč. 108, č. 10, s. 3240-3251. ISSN 00223549. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.xphs.2019.06.006>. [cit. 2025-04-27].
- [17] MODI, Jayshree; RATHORE, Sunayaya; DWIVEDI, Sunil a SARAOGI, Gauravkant. Formulation and Evaluation of Multipurpose Herbal Cream. Online. 2024, s. 129-134. ISSN 2584-0096. Dostupné z: <https://doi.org/10.61554/ijnrph.v2i1.2024.82>. [cit. 2025-04-27].
- [18] CHOW, Pui Shan; LIM, Ron Tau Yee; CYRIAC, Febin; SHAH, Jaymin C.; BADRUDDOZA, Abu Zayed Md et al. Influence of Manufacturing Process on the Microstructure, Stability, and Sensorial Properties of a Topical Ointment Formulation. Online. *Pharmaceutics*. 2023, roč. 15, č. 9. ISSN 1999-4923. Dostupné z: <https://doi.org/10.3390/pharmaceutics15092219>. [cit. 2025-04-27].
- [19] AKITOMO, Tatsuya; KUSAKA, Satoru; KAMETANI, Mariko; MITSUHATA, Chieko; NAKA, Shuhei et al. High-performance silica-containing professional mechanical tooth-cleaning paste that effectively adsorbs pigments. Online. *Pediatric Dental Journal*. 2024, roč. 34, č. 2, s. 62-69. ISSN 09172394. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.pdj.2024.03.004>. [cit. 2025-04-27].
- [20] FADLI, Justitia Cahyani a LASANUDIN, Rindi Ibrahim. Formulation of lotion ethanolic extract of rosella flower petals (*Hibiscus sabdariffa* L.) and antioxidant activity. Online. *Journal of Halal Science and Research*. 2024, roč. 5, č. 1, s. 23-29. ISSN 2964-4909. Dostupné z: <https://doi.org/10.12928/jhsr.v5i1.7151>. [cit. 2025-04-27].
- [21] TIMM, K.; MYANT, C.; NUGUID, H.; SPIKES, H.A. a GRUNZE, M. Investigation of friction and perceived skin feel after application of suspensions of various cosmetic powders. Online. *International Journal of Cosmetic Science*. 2012, roč. 34, č. 5, s. 458-465. ISSN 0142-5463. Dostupné z: <https://doi.org/10.1111/j.1468-2494.2012.00734.x>. [cit. 2025-04-27].
- [22] TANDROS, Thawrat F. *Emulsion Science and Technology*. Wiley-VCH, 2009. ISBN Emulsion Science and Technology.
- [23] MCCLEMENTS, David Julian. Food Emulsions. Online. 2015. Dostupné z: <https://doi.org/10.1201/b18868>. [cit. 2025-04-27].
- [24] KRÁLOVÁ, Magda. *Povrchové napětí*. Online. PLZEŇ: TECHMANIA SCIENCE CENTER. Edu.Techmania.cz. 2007. Dostupné z: https://edu.techmania.cz/cs/veda-v-pozadi/597?view_gf_cilove_skupiny=154. [cit. 2025-04-27].

- [25] KALE, Santosh Nemichand a DEORE, Sharada Laxman. Emulsion Micro Emulsion and Nano Emulsion: A Review. Online. *Systematic Reviews in Pharmacy*. 2016, roč. 8, č. 1, s. 39-47. ISSN 09758453. Dostupné z: <https://doi.org/10.5530/srp.2017.1.8>. [cit. 2025-04-27].
- [26] LOW, Joo Yee; KHE, Cheng Seong; USMAN, Fahad; HASSAN, Yarima Mudassir; LAI, Chin Wei et al. Review on demulsification techniques for oil/water emulsion: Comparison of recyclable and irretrievable approaches. Online. *Environmental Research*. 2024, roč. 243. ISSN 00139351. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.envres.2023.117840>. [cit. 2025-04-27].
- [27] ZHI, Zijian; LI, Hao; GEURS, Indi; LEWILLE, Benny; LIU, Rui et al. Destabilization of a model O/W/O double emulsion: From bulk to interface. Online. *Food Chemistry*. 2024, roč. 445. ISSN 03088146. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2024.138723>. [cit. 2025-04-27].
- [28] SAKAMOTO, Kazutami; LOCHHEAD, Robert Y.; MAIBACH, Howard I. a YAMASHITA, Yuji. *Cosmetic science and technology: theoretical principles and applications*. Amsterdam: Elsevier, [2017]. ISBN 978-0-12-802005-0.
- [29] KRÄENBRING, Mena-Alexander; ÖZCAN, Fatih a SEGETS, Doris. Analyzing Emulsion Dynamics via Direct Visualization and Statistical Methodologies. Online. *ACS Omega*. 2024, roč. 9, č. 37, s. 39253-39258. ISSN 2470-1343. Dostupné z: <https://doi.org/10.1021/acsomega.4c06850>. [cit. 2025-04-27].
- [30] VŠCHT. *EMULZIFIKACE*. Online. Dostupné z: e-learning.vscht.cz. [cit. 2025-04-27].
- [31] FENG, Xin; SUN, Yi; TAN, Hongxia; MA, Liang; DAI, Hongjie et al. Effect of oil phases on the stability of myofibrillar protein microgel particles stabilized Pickering emulsions: The leading role of viscosity. Online. *Food Chemistry*. 2023, roč. 413, č. 11, s. 23-34. ISSN 03088146. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2023.135653>. [cit. 2025-04-27].
- [32] DE CARVALHO-GUIMARÃES, Fernanda Brito; CORREA, Kamila Leal; DE SOUZA, Tatiane Pereira; RODRÍGUEZ AMADO, Jesus Rafael; RIBEIRO-COSTA, Roseane Maria et al. A Review of Pickering Emulsions: Perspectives and Applications. Online. *Pharmaceuticals*. 2022, roč. 15, č. 11, s. 1-21. ISSN 1424-8247. Dostupné z: <https://doi.org/10.3390/ph15111413>. [cit. 2025-04-27].
- [33] BARTOVSKÁ, Ludmila a ŠÍŠKOVÁ, Marie. *Co je v povrchové a koloidní chemii: výkladový slovník*. Online. VŠCHT PRAHA. Co je co v povrchové a koloidní chemii. 2005. Dostupné z: https://e-learning.vscht.cz/knihy/uid_es-001/ebook.autori.htm. [cit. 2025-04-27].
- [34] LIU, Yuqing; WU, Qingzhi; ZHANG, Jian; YAN, Wenbo a MAO, Xiaoying. Food emulsions stabilized by proteins and emulsifiers: A review of the mechanistic explorations. Online. *International Journal of Biological Macromolecules*. 2024, roč. 261. ISSN 01418130. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2024.129795>. [cit. 2025-04-27].
- [35] ZHANG, Xinyu; WANG, Qiang; LIU, Zhe; ZHI, Lanyi; JIAO, Bo et al. Plant protein-based emulsifiers: Mechanisms, techniques for emulsification enhancement and applications. Online. *Food Hydrocolloids*. 2023, roč. 144. ISSN 0268005X. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2023.109008>. [cit. 2025-04-27].
- [36] SEDLAŘÍKOVÁ, Jana. *Chemie a technologie tenzidů a detergentů: Fyzikální, chemické a technické vlastnosti povrchově aktivních látek*. Online,

- <http://kosmetika.ft.utb.cz/EntityDisplayTab.aspx?id=5>. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, Fakulta technologická. [cit. 2025-04-27].
- [37] WINTERTON, R. H. S. Van der Waals forces. Online. *Contemporary Physics*. 1970, roč. 11, č. 6, s. 559-574. ISSN 0010-7514. Dostupné z: <https://doi.org/10.1080/00107517008202194>. [cit. 2025-04-27].
- [38] CHONDROU, Angeliki P.; EVGENIDIS, Sotiris P.; KARAPANTSIOS, Thodoris D. a KOSTOGLU, Margaritis. Emulsions stability in weightlessness: Droplets size, droplets coalescence and phases spatial distribution. Online. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*. 2024, roč. 702. ISSN 09277757. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2024.134943>. [cit. 2025-04-27].
- [39] VŠCHT. *Emulze: Příprava a stabilizace (Autor: Martin Jakubec) - výukové materiály z laboratoře*. Online. Dostupné z: <http://uchi-old.vscht.cz/uploads/pedagogika/labchi/Em.pdf>. [cit. 2025-04-27].
- [40] KISHORE, N.; CHHABRA, R.P. a ESWARAN, V. Sedimentation in Emulsions of Mono-size Droplets at Moderate Reynolds Numbers. Online. *Chemical Engineering Research and Design*. 2006, roč. 84, č. 12, s. 1180-1193. ISSN 02638762. Dostupné z: <https://doi.org/10.1205/cherd06060>. [cit. 2025-04-27].
- [41] YAN, Y. a MASLIYAH, J.H. Sedimentation of solid particles in oil-in-water emulsions. Online. *International Journal of Multiphase Flow*. 1993, roč. 19, č. 5, s. 875-886. ISSN 03019322. Dostupné z: [https://doi.org/10.1016/0301-9322\(93\)90048-Y](https://doi.org/10.1016/0301-9322(93)90048-Y). [cit. 2025-04-27].
- [42] TOUMA, Kristy; LEBAZ, Noureddine a SHEIBAT-OTHMAN, Nida. Centrifugal creaming of concentrated oil-in-water emulsions: Experimental investigation and modelling. Online. *Chemical Engineering Research and Design*. 2024, roč. 208, s. 899-909. ISSN 02638762. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.cherd.2024.07.049>. [cit. 2025-04-27].
- [43] XU, Tian; GU, Zhengbiao; CHENG, Li; LI, Caiming; LI, Zhaofeng et al. Destabilization of oil-in-water emulsions: Influences of interfacial assembly of octenyl succinic anhydride starch and chitosan. Online. *Food Hydrocolloids*. 2023, roč. 142. ISSN 0268005X. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2023.108832>. [cit. 2025-04-27].
- [44] LANGEVIN, Dominique. Coalescence in foams and emulsions: Similarities and differences. Online. 2019, roč. 44, s. 23-31. ISSN 13590294. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.cocis.2019.09.001>. [cit. 2025-04-27].
- [45] HO, Thao Minh; RAZZAGHI, Aysan; RAMACHANDRAN, Arun a MIKKONEN, Kirsi S. Emulsion characterization via microfluidic devices: A review on interfacial tension and stability to coalescence. Online. *Advances in Colloid and Interface Science*. 2022, roč. 299. ISSN 00018686. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.cis.2021.102541>. [cit. 2025-04-27].
- [46] NORTON, Ian T.; SPYROPOULOS, Fotis a COX, Phil W. Effect of emulsifiers and fat crystals on shear induced droplet break-up, coalescence and phase inversion. Online. *Food Hydrocolloids*. 2009, roč. 23, č. 6, s. 1521-1526. ISSN 0268005X. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2008.09.014>. [cit. 2025-04-27].
- [47] PERAZZO, A.; PREZIOSI, V. a GUIDO, S. Phase inversion emulsification: Current understanding and applications. Online. *Advances in Colloid and Interface Science*. 2015, roč. 222, s. 581-599. ISSN 00018686. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.cis.2015.01.001>. [cit. 2025-04-27].

- [48] PARK, Woojin; PARK, Joonwoo; IM, Sohyeon a CHOI, Seung Jun. Influence of the type and concentration of hydrocolloids on Ostwald ripening of emulsions stabilized with small molecular and non-ionic surfactants. Online. *Food Chemistry*. 2023, roč. 411. ISSN 03088146. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2023.135504>. [cit. 2025-04-27].
- [49] ZHANG, Weiyi; ZHANG, Yinghao; HE, Yifei; XU, Xinglian a ZHAO, Xue. Oil density and viscosity affect emulsion stability and destabilization mechanism. Online. *Journal of Food Engineering*. 2024, roč. 366. ISSN 02608774. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2023.111864>. [cit. 2025-04-27].
- [50] CHEVALIER, Yves a BOLZINGER, Marie-Alexandrine. Emulsions stabilized with solid nanoparticles: Pickering emulsions. Online. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*. 2013, roč. 439, s. 23-34. ISSN 09277757. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2013.02.054>. [cit. 2025-04-27].
- [51] DUBUISSON, Pauline; PICARD, Celine; GRISEL, Michel a SAVARY, Geraldine. How does composition influence the texture of cosmetic emulsions? Online. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*. 2018, roč. 536, s. 38-46. ISSN 09277757. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2017.08.001>. [cit. 2025-04-27].
- [52] NATURE STORE. *Nature store*. Online. 2017, 2025. Dostupné z: <https://www.nature-store.cz>. [cit. 2025-04-27].
- [53] GIRI, Tapan Kumar. Hydrogels based on scleroglucan. Online. *Polysaccharide Hydrogels for Drug Delivery and Regenerative Medicine*. 2024, s. 139-150. ISBN 9780323953511. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-95351-1.00004-1>. [cit. 2025-04-27].
- [54] Bath and shower: use of cosmetic cleaning compositions as a prebiotic. Online. *Focus on Surfactants*. 2019, roč. 2019, č. 5. ISSN 13514210. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.fos.2019.05.064>. [cit. 2025-04-27].
- [55] ALEXMO COSMETICS. *Siligel™*. Online. Alexmo cosmetics. Dostupné z: https://www.alexmo-cosmetics.de/Siligel_1. [cit. 2025-04-27].
- [56] SCHRAMM, Laurier L. *Emulsions, Foams, and Suspensions: Fundamentals and Applications*. Wiley-VCH, 2006. ISBN 978-3-527-30675-6.
- [57] HADKAR, Dr. U. B. *Physical Pharmacy*. Online. Indie: Nirali Prakashan, 2007. ISBN 978-8185790343. Dostupné z: <https://books.google.ba/books?id=V3VlaBDTpJ8C&printsec=copyright#v=onepage&q&f=false>. [cit. 2025-04-27].
- [58] NAKAMA, Y. Surfactants. Online. *Cosmetic Science and Technology*. 2017, s. 231-244. ISBN 9780128020050. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-802005-0.00015-X>. [cit. 2025-04-27].
- [59] Chemické listy: Tenzidy a detergenty dnes. (Šmidrkal Jan). In: . 1876, s. 421-427. ISSN 0009-2770.
- [60] AVEYARD, Bob. *Surfactants: In Solution, at Interfaces and in Colloidal Dispersions*. Online. Oxford University Press, 2019. ISBN 9780191867125. Dostupné z: <https://doi.org/10.1093/oso/9780198828600.001.0001>. [cit. 2025-04-27].
- [61] MYERS, Drew. *Surfactant science and technology*. Online. Fourth edition. Hoboken: Wiley, 2020. ISBN 978-1-119-46585-0. [cit. 2025-04-27].

- [62] CÁRDENAS, Harry; KAMRUL-BAHRIN, M. Ariif H.; SEDDON, Dale; OTHMAN, Jofry; CABRAL, João T. et al. Determining interfacial tension and critical micelle concentrations of surfactants from atomistic molecular simulations. Online. *Journal of Colloid and Interface Science*. 2024, roč. 674, s. 1071-1082. ISSN 00219797. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.jcis.2024.07.002>. [cit. 2025-04-27].
- [63] BAZEL, Ya. R.; ANTAL, I. P.; LAVRA, V. M. a KORMOSH, Zh. A. Methods for the determination of anionic surfactants. Online. *Journal of Analytical Chemistry*. 2014, roč. 69, č. 3, s. 211-236. ISSN 1061-9348. Dostupné z: <https://doi.org/10.1134/S1061934814010043>. [cit. 2025-04-27].
- [64] KRONBERG, Bengt; HOLMBERG, Krister a LINDMAN, Björn. Types of surfactants, their synthesis, and applications. Online. *Surface Chemistry of Surfactants and Polymers*. 2014, roč. 1, s. 1-47. Dostupné z: <https://doi.org/10.1002/9781118695968>. [cit. 2025-04-27].
- [65] GÜVELİ, Dogan Emin. The association of some novel cationic surfactants in benzene. Online. *Journal of Colloid and Interface Science*. 1984, roč. 101, č. 2, s. 344-355. ISSN 00219797. Dostupné z: [https://doi.org/10.1016/0021-9797\(84\)90044-4](https://doi.org/10.1016/0021-9797(84)90044-4). [cit. 2025-04-27].
- [66] SCATCHARD, George a BLACK, Elizabeth Sackmann. The Effect of Salts on the Isoionic and Isoelectric Points of Proteins. Online. *The Journal of Physical and Colloid Chemistry*. 1949, roč. 53, č. 1, s. 88-100. ISSN 0092-7023. Dostupné z: <https://doi.org/10.1021/j150466a007>. [cit. 2025-04-27].
- [67] Bubbles, baths and showers: examination of surfactants, their effects on the skin and how they can be used to create superior bathroom products. Online. *Focus on Surfactants*. 2015, roč. 2015, č. 4, s. 4. ISSN 13514210. Dostupné z: [https://doi.org/10.1016/S1351-4210\(15\)30065-2](https://doi.org/10.1016/S1351-4210(15)30065-2). [cit. 2025-04-27].
- [68] LUO, Gaodan; WU, Zhen a XIE, Zhenming. Determining the cosmetics usage patterns of consumers for exposure assessment in China. Online. *Food and Chemical Toxicology*. 2025, roč. 197. ISSN 02786915. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.fct.2025.115273>. [cit. 2025-04-27].
- [69] ATTWOOD, D. a FLORENCE, A. T. *Surfactant Systems: Their Chemistry, Pharmacy and Biology*. Online. Springer Netherlands, 2012. ISBN 978-94-009-5775-6. [cit. 2025-04-27].
- [70] KOSURO. *Olivoil Emulsifier - vymazlený emulgátor 50 g*. Online. KOSURO. Neuvedeno. Dostupné z: <https://www.kosuro.cz/Olivoil-Emulsifier-vymazleny-emulgator-50-g-d65.htm#detail-anchor-description>. [cit. 2025-05-08].
- [71] ENASPOL A.S. *Enaspol - výrobc*. Online. Neuvedeno. Dostupné z: <https://www.enaspol.cz>. [cit. 2025-05-08].
- [72] HEXACHEM S.R.O. *GLYCERIN BEZVODÝ PHARMA 99,5%*. Online. HEXACHEM S.R.O. Hexachem. Neuvedeno, 2025. Dostupné z: <https://eshop.hexachem.cz/kapalne-latky/glycerin-1000-ml/>. [cit. 2025-05-08].
- [73] STEPAN COMPANY. *IGEPAL CA-520*. Online. STEPAN. 2024. Dostupné z: <https://www.stepan.com/content/stepan-dot-com/en/products-markets/product/IGEPALCA520.html>. [cit. 2025-05-08].
- [74] STEPAN COMPANY. *IGEPAL CA-720*. Online. STEPAN COMPANY. STEPAN. ©2024. Dostupné z: <https://www.stepan.com/content/stepan-dot-com/en/products-markets/product/IGEPALCA720.html>. [cit. 2025-05-08].

- [75] P-LAB SPOL. S R.O. *N-undekan*. Online. Neuvedeno. Dostupné z: <https://www.p-lab.cz/n-undekan>. [cit. 2025-05-08].
- [76] MANEKO, SPOL. S R. O. *Rotačním viskozimetrem MYR V2-L*. Online. MANEKO, SPOL. S R. O. MANEKO laboratorní přístroje a technika. 2007. Dostupné z: <http://www.maneke.cz/data/aktuality/MYRV1V2.pdf>. [cit. 2025-05-08].
- [77] COSTA, Eduardo M.; SILVA, Sara; VEIGA, Mariana; VICENTE, Sandra; TAVARIA, Freni K. et al. Investigation of chitosan's antibacterial activity against vancomycin resistant microorganisms and their biofilms. Online. *Carbohydrate Polymers*. 2017, roč. 174, s. 369-376. ISSN 01448617. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2017.06.087>. [cit. 2025-05-08].
- [78] LUCAS MEYER COSMETICS. *Siligel – Technical Information*. Online. 2019. Dostupné z: <https://www.scribd.com/document/399018396/Siligel>. [cit. 2025-05-08].
- [79] CROFTON, Andrew R.; HUDSON, Samuel M.; HOWARD, Kristy; PENDER, Tyler; ABDELGAWAD, Abdelrahman et al. Formulation and characterization of a plasma sterilized, pharmaceutical grade chitosan powder. Online. *Carbohydrate Polymers*. 2016, roč. 146, č. neuvedeno, s. 420-426. ISSN 01448617. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2016.03.003>. [cit. 2025-05-08].
- [80] CASETTARI, Luca; GENNARI, Lorenzo; ANGELINO, Donato; NINFALI, Paolino a CASTAGNINO, Enzo. ORAC of chitosan and its derivatives. Online. *Food Hydrocolloids*. 2012, roč. 28, č. 2, s. 243-247. ISSN 0268005X. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2012.01.005>. [cit. 2025-05-08].
- [81] ALCHEMY INGREDIENTS. *CLEARTHIX® S*. Online. Neuvedeno. Dostupné z: <https://www.alchemy-ingredients.com/ingredients/clearthix-s>. [cit. 2025-05-08].
- [82] HATTON, Fiona L.; KEDZIOR, Stephanie A.; CRANSTON, Emily D. a CARLMARK, Anna. Grafting-from cellulose nanocrystals via photoinduced Cu-mediated reversible-deactivation radical polymerization. Online. *Carbohydrate Polymers*. 2017, roč. 157, č. neuvedeno, s. 1033-1040. ISSN 01448617. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2016.10.064>. [cit. 2025-05-08].
- [83] KLEMENČIČ, Danijela; SIMONČIČ, Barbara; TOMŠIČ, Brigita a OREL, Boris. Biodegradation of silver functionalised cellulose fibres. Online. *Carbohydrate Polymers*. 2010, roč. 80, č. 2, s. 426-435. ISSN 01448617. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2009.11.049>. [cit. 2025-05-08].
- [84] HENNOCK, M.; RAHALKAR, R. R. a RICHMOND, P. Effect of Xanthan Gum Upon the Rheology and Stability of Oil-Water Emulsions. Online. *Journal of Food Science*. 1984, roč. 49, č. 5, s. 1271-1274. ISSN 0022-1147. Dostupné z: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1984.tb14968.x>. [cit. 2025-05-08].
- [85] NOR HAYATI, Ibrahim; WAI CHING, Cheong a ROZAINI, Mohd Zul Helmi. Flow properties of o/w emulsions as affected by xanthan gum, guar gum and carboxymethyl cellulose interactions studied by a mixture regression modelling. Online. *Food Hydrocolloids*. 2016, roč. 53, č. neuvedeno, s. 199-208. ISSN 0268005X. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2015.04.032>. [cit. 2025-05-08].
- [86] GIBIS, Monika; ZEEB, Benjamin a WEISS, Jochen. Formation, characterization, and stability of encapsulated hibiscus extract in multilayered liposomes. Online. *Food Hydrocolloids*. 2014, roč. 38, č. neuvedeno, s. 28-39. ISSN 0268005X. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2013.11.014>. [cit. 2025-05-08].

- [87] CHUNG, Hyun-Jung; LIU, Qiang a HOOVER, Ratnajothi. Impact of annealing and heat-moisture treatment on rapidly digestible, slowly digestible and resistant starch levels in native and gelatinized corn, pea and lentil starches. Online. *Carbohydrate Polymers*. 2009, roč. 75, č. 3, s. 436-447. ISSN 01448617. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2008.08.006>. [cit. 2025-05-08].
- [88] LI, Junhui; LI, Shan; ZHENG, Yangfan; ZHANG, Hua; CHEN, Jianle et al. Fast preparation of rhamnogalacturonan I enriched low molecular weight pectic polysaccharide by ultrasonically accelerated metal-free Fenton reaction. Online. *Food Hydrocolloids*. 2019, roč. 95, č. neuvedeno, s. 551-561. ISSN 0268005X. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2018.05.025>. [cit. 2025-05-08].
- [89] SU, Jiaqi; GUO, Qing; MAO, Like; GAO, Yanxiang a YUAN, Fang. Effect of gum arabic on the storage stability and antibacterial ability of β -lactoglobulin stabilized d-limonene emulsion. Online. *Food Hydrocolloids*. 2018, roč. 84, č. neuvedeno, s. 75-83. ISSN 0268005X. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2018.05.041>. [cit. 2025-05-08].
- [90] GADKARI, Rahul Rajkumar; SUWALKA, Sheetal; YOGI, Mayank Raj; ALI, Wazed; DAS, Apurba et al. Green synthesis of chitosan-cinnamaldehyde cross-linked nanoparticles: Characterization and antibacterial activity. Online. *Carbohydrate Polymers*. 2019, roč. 226, č. neuvedeno. ISSN 01448617. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2019.115298>. [cit. 2025-05-08].
- [91] FU, Shao; THACKER, Ankur; SPERGER, Diana M.; BONI, Riccardo L.; BUCKNER, Ira S. et al. Relevance of Rheological Properties of Sodium Alginate in Solution to Calcium Alginate Gel Properties. Online. *AAPS PharmSciTech*. 2011, roč. 12, č. 2, s. 453-460. ISSN 1530-9932. Dostupné z: <https://doi.org/10.1208/s12249-011-9587-0>. [cit. 2025-05-08].
- [92] MARINOVA, Krastanka G.; BASHEVA, Elka S.; NENOVA, Boriana; TEMELSKA, Mila; MIRAREFI, Amir Y. et al. Physico-chemical factors controlling the foamability and foam stability of milk proteins: Sodium caseinate and whey protein concentrates. Online. *Food Hydrocolloids*. 2009, roč. 23, č. 7, s. 1864-1876. ISSN 0268005X. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2009.03.003>. [cit. 2025-05-08].
- [93] Issue Information. Online. *Journal of Surfactants and Detergents*. 2021, roč. 24, č. 1, s. 1-1. ISSN 1097-3958. Dostupné z: <https://doi.org/10.1002/jsde.12431>. [cit. 2025-05-08].
- [94] APPLECHEM. *What are rheology modifiers and how do they work?* Online. 2022. Dostupné z: https://www.applechem.com/blog/post/what-are-rheology-modifiers-and-how-do-they-work?utm_source=chatgpt.com. [cit. 2025-05-08].
- [95] GARMSIRI, Hamid; JAHANI, Shahriar; KAZEMZADEH, Yousef; SHARIFI, Mohammad; RIAZI, Masoud et al. Stability of the emulsion during the injection of anionic and cationic surfactants in the presence of various salts. Online. *Scientific Reports*. 2023, roč. 13, č. 1. ISSN 2045-2322. Dostupné z: <https://doi.org/10.1038/s41598-023-38428-8>. [cit. 2025-05-08].
- [96] ALYOUSEF, Mohammed H.; KAMAL, Muhammad Shahzad; MURTAZA, Mobeen; HUSSAIN, Syed Muhammad Shakil; RAZA, Arshad et al. Enhancing Aqueous Stability of Anionic Surfactants in High Salinity and Temperature Conditions with SiO₂ Nanoparticles. Online. *ACS Omega*. 2024, roč. 9, č. 50, s. 49804-49815. ISSN 2470-1343. Dostupné z: <https://doi.org/10.1021/acsomega.4c08484>. [cit. 2025-05-08].

- [97] GARCÍA-OCHOA, F; SANTOS, V.E; CASAS, J.A a GÓMEZ, E. Xanthan gum: production, recovery, and properties. Online. *Biotechnology Advances*. 2000, roč. 18, č. 7, s. 549-579. ISSN 07349750. Dostupné z: [https://doi.org/10.1016/S0734-9750\(00\)00050-1](https://doi.org/10.1016/S0734-9750(00)00050-1). [cit. 2025-05-08].
- [98] LI, J.; ZIVANOVIC, S.; DAVIDSON, P.M. a KIT, K. Characterization and comparison of chitosan/PVP and chitosan/PEO blend films. Online. *Carbohydrate Polymers*. 2010, roč. 79, č. 3, s. 786-791. ISSN 01448617. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2009.09.028>. [cit. 2025-05-08].
- [99] ZHAO, Baotang; ZHANG, Ji; GUO, Xiao a WANG, Junlong. Microwave-assisted extraction, chemical characterization of polysaccharides from *Lilium davidii* var. unicolor Salisb and its antioxidant activities evaluation. Online. *Food Hydrocolloids*. 2013, roč. 31, č. 2, s. 346-356. ISSN 0268005X. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2012.11.021>. [cit. 2025-05-08].
- [100] FIUME, Monice M.; HELDRETH, Bart; BERGFELD, Wilma F.; BELSITO, Donald V.; HILL, Ronald A. et al. Safety Assessment of Microbial Polysaccharide Gums as Used in Cosmetics. Online. *International Journal of Toxicology*. 2016, roč. 35, č. 1_suppl, s. 5S-49S. ISSN 1091-5818. Dostupné z: <https://doi.org/10.1177/1091581816651606>. [cit. 2025-05-08].
- [101] Xanthan Gum. Online. In: *Handbook of hydrocolloids*. 2nd ed. Woodhead Publishing in food science, technology and nutrition. Cambridge: Woodhead publishing, 2009, s. 709-728. ISBN 978-1-84569-414-2. Dostupné z: https://books.google.cz/books?hl=cs&lr=&id=3k-kAgAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP1&dq=Handbook+of+Hydrocolloids+2009+xanthan+gum&ots=e7D8zaUpJf&sig=2wCkqYUz8rATptkeApElNbjRtDw&redir_esc=y#v=onepage&q=Handbook%20of%20Hydrocolloids%202009%20xanthan%20gum&f=false. [cit. 2025-05-08].
- [102] SEPPIC. *Solagum AX*. Online. SEPPIC. SEPPIC Science that cares. 2024. Dostupné z: <https://www.seppic.com/product/solagum-ax/01t20000000btpAAA>. [cit. 2025-05-08].
- [103] JI-SHENG, YANG. Effect of Surfactants on the Shear Viscosity of Dilute Aqueous Solutions of Sodium Alginate. Online. *Acta Physico-Chimica Sinica*. 2009, roč. 25, č. 04, s. 752-756. ISSN 1000-6818. Dostupné z: <https://doi.org/10.3866/PKU.WHXB200904171>. [cit. 2025-05-08].
- [104] FU, Shao; THACKER, Ankur; SPERGER, Diana M.; BONI, Riccardo L.; BUCKNER, Ira S. et al. Relevance of Rheological Properties of Sodium Alginate in Solution to Calcium Alginate Gel Properties. Online. *AAPS PharmSciTech*. 2011, roč. 12, č. 2, s. 453-460. ISSN 1530-9932. Dostupné z: <https://doi.org/10.1208/s12249-011-9587-0>. [cit. 2025-05-08].
- [105] MALKIN, Alexander Ya.; DERKACH, Svetlana R. a KULICHIKHIN, Valery G. Rheology of Gels and Yielding Liquids. Online. *Gels*. 2023, roč. 9, č. 9. ISSN 2310-2861. Dostupné z: <https://doi.org/10.3390/gels9090715>. [cit. 2025-05-08].

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1 - Fáze emulzního systému [26].....	27
Obrázek 2 - Emulze olej ve vodě (vlevo) a voda v oleji (vpravo) [26]	28
Obrázek 3 - Schematické znázornění procesu homogenizace pomocí geometrie rotor-stator [32]	30
Obrázek 4 - Provozní schéma vysokotlakého homogenizátoru [32]	31
Obrázek 5 - Schématické znázornění ultrazvukového zařízení pro emulgaci [32].....	31
Obrázek 6 - Destabilizace emulzních systémů [39].....	36
Obrázek 7 - Pickeringovy emulze a klasické emulze (na bázi povrchově aktivní látky). Pevné částice adsorbované na rozhraní olej-voda stabilizují kapičky místo molekul povrchově aktivní látky [50].....	41
Obrázek 8 - (a) zobrazení molekuly povrchově aktivní látky; (b) průřez sférickou micelou ve vodě; (c) adsorbovaná vrstva povrchově aktivních látek na rozhraní voda/vzduch nebo olej/voda [60]	46
Obrázek 9 - Různé typy zahušťovadel použitých v kosmetických formulacích.....	60
Obrázek 10 - Homogenizátor Ika T25 digital ULTRA TURRAX	63
Obrázek 11 - Vzorek bezprostředně po homogenizaci, zachycený během procesu chlazení	64
Obrázek 12 - Tenzidový roztok během přípravy na magnetickém míchadle s ohřevem (Heidolph MR Hei-Standard).....	65
Obrázek 13 - Rotační viskozimetr MYR V2-L.....	67
Obrázek 14 - Rotační viskozimetr MYR V2-L s adaptéry PD/PE při měření vzorku emulze	68
Obrázek 15 - HELDAL adaptéry k rotačnímu viskozimetru MYR V2-L	68
Obrázek 16 - Typy spindů VISCOTECH u rotačního viskozimetru MYR V2-L	69
Obrázek 17 - Vzorky připravené pro senzorické hodnocení.....	71
Obrázek 18 - Emulze po týdnu skladování a separaci fází	74
Obrázek 19 – Vyrobené vzorky zahrnující jednotlivé modifikátory viskozity a kontrolní vzorek bez přídavku modifikátoru	75
Obrázek 20 - Emulzní vzorky po 24 hodinách - kompletní vizuální přehled	77
Obrázek 21 - Emulzní vzorky po 7 dnech skladování	78
Obrázek 22 - Detailní pohled na vzorek s zahušťovadlem Alginem TA (1% a 2%) - separace po 7 dnech skladování.....	79
Obrázek 23 - Emulzní vzorky po 14 dnech skladování	80
Obrázek 24 - Mikrobiální kontaminace vzorků Siligel 1 % a 2 % po 14 dnech skladování.....	80
Obrázek 25 - Emulzní vzorky po 21 dnech skladování	81
Obrázek 26 - Detail nerozpuštěných částic ve vzorku s Dermofeel zahušťovadlem (stav přetrvává od počátku pozorování).....	82

Obrázek 27 - Zbarvení vzorku s přídavkem Natrosolu 2 % do žluta	82
Obrázek 28 - Emulzní vzorky po 28 dnech skladování	83
Obrázek 29 - Separace fází emulzních systémů po 28 dnech skladování	83
Obrázek 30 - Viskozita emulzních systémů s přídavkem 1 % zahušťovadla 24 hod a 28 dní od přípravy	86
Obrázek 31 - Viskozita emulzních systémů s přídavkem 2 % zahušťovadla 24 hod a 28 dní od přípravy	87
Obrázek 32 - Připravené tensidové roztoky ve vzorkovnicích zahrnující jednotlivé modifikátory viskozity a kontrolní vzorek bez modifikátoru	105
Obrázek 33 - Vzorky tensidových roztoků po 24 hodinách od přípravy	106
Obrázek 34 - Vzorky tensidových roztoků po 7 dnech skladování	107
Obrázek 35 - Vzorky tensidových roztoků po 14 dnech skladování	108
Obrázek 36 - Vzorky tensidových roztoků po 21 dnech skladování	109
Obrázek 37 - Vzorky tensidových roztoků po 28 dnech skladování	111
Obrázek 38 - Vzorek s 2 % Clearthixem po 28 dnech: patrné zahuštění ve spodní části vzorku, horní vrstva je viditelně méně viskózní	111
Obrázek 39 - Vzorky Siligel 1 % a 2 % po 28 dnech: u obou koncentrací patrná separace	111
Obrázek 40 - Znázornění změn v distribuci viskozity u vzorků s Natrosolem po 28 dnech	112
Obrázek 41 - Vizuální separace a zahuštění u vzorků s Algin TA po 28 dnech skladování	112
Obrázek 42 - Separace vzorků Sclerotium 1% a 2% po 28 dnech	112
Obrázek 43 - Viskozita tensidových roztoků s přídavkem 1 % zahušťovadla 24 hodin a 28 dní od přípravy	116
Obrázek 44 - Viskozita tensidových roztoků s přídavkem 2 % zahušťovadla 24 hodin a 28 dní od přípravy	117

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1 - Vypočtená množství olejové a vodné fáze, emulgátorů a 1 % modifikátoru viskozity pro emulzi o hodnotě HLB 11,5 a celkovém množství emulgátoru 3 %	62
Tabulka 2 - Vypočtená množství olejové a vodné fáze, emulgátorů a 2 % modifikátoru viskozity pro emulzi o hodnotě HLB 11,5 a celkovém množství emulgátoru 3 %	62
Tabulka 3 - Rámcové složení emulzí	64
Tabulka 4 - Rámcové složení tenzidového roztoku	66
Tabulka 5 - Popis vzorků emulzních systémů po 24 hodinách od přípravy	76
Tabulka 6 - Přehled změn vzorků emulzních systémů po 7 dnech skladování.....	78
Tabulka 7 - Přehled změn vzorků emulzních systémů po 14 dnech skladování.....	79
Tabulka 8 - Přehled změn vzorků emulzních systémů po 21 dnech skladování.....	81
Tabulka 9 - Přehled změn vzorků emulzních systémů po 28 dnech skladování.....	83
Tabulka 10 - Naměřené hodnoty viskozity emulzních vzorků v čase	85
Tabulka 11 - Procentuální změna viskozity vzorků v čase	93
Tabulka 12 - Označení vzorků a typ použitého zahušťovadla při senzorickém hodnocení (koncentrace 1 % a 2 %).....	97
Tabulka 13 - Přehled hodnot testovacích kritérií FR	98
Tabulka 14 - Hodnoty Nemenyiho testu pro hodnocení emulzí s 1 % zahušťovadla z hlediska vstřebatelnosti	99
Tabulka 15 - Hodnoty Nemenyiho testu pro hodnocení emulzí s 1 % zahušťovadla z hlediska roztíratelnosti	100
Tabulka 16 - Hodnoty Nemenyiho testu pro hodnocení emulzí s 1 % zahušťovadla z hlediska viskozity	100
Tabulka 17 - Hodnoty Nemenyiho testu pro hodnocení emulzí s 2 % zahušťovadla z hlediska viskozity	101
Tabulka 18 - Počet preferencí roztíratelnosti pro 1 a 2 % koncentraci zahušťovadel. Data sloužila jako podklad pro výpočet párového t-testu.....	102
Tabulka 19 - Popis vzorků tenzidových roztoků po 24 hodinách od přípravy	105
Tabulka 20 - Popis vzorků tenzidových roztoků po 7 dnech od přípravy	107
Tabulka 21 - Popis vzorků tenzidových roztoků po 14 dnech od přípravy	108
Tabulka 22 - Popis vzorků tenzidových roztoků po 21 dnech od přípravy	109
Tabulka 23 - Naměřené hodnoty viskozity roztoků tenzidů v čase	115
Tabulka 24 - Procentuální změna viskozity vzorků v čase (24 hod – 28 dní)	121

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

KP	Kosmetický přípravek
REACH	Registrace, hodnocení, povolování a omezování chemických látek
CLP	Klasifikace, označování a balení
O/V	Olej ve vodě
V/O	Voda v oleji
O/V/O	Olej ve vodě v oleji
V/O/V	Voda v oleji ve vodě
Al	Hliník
Cd	Kadmium
Pb	Olovo
PAL	Povrchově aktivní látky
TEWL	Transepidermální ztráta vody
HLB	Hydrofilně-lipofilní rovnováha
CMC	Kritická micelární koncentrace
CTAB	Cetyltrimethylamonium bromidem
APG	Alkylpolyglykosidy
β	Beta
SLES	Sodium Laureth sulfát
CAPB	Cocomidopropyl betaine
PEG-40	Polyethylenglykol s průměrnou molekulární hmotností 40)
INCI	Mezinárodní názvosloví kosmetických ingrediencí
g	Gram
ot/min	Otáčky za minutu
nm	Nanometr
°C	Stupeň Celsia

mPa·S	MiliPascal-sekundy
EO	Ethylenoxid
CMIT/MIT	směs Chlormethylisothiazolinone/Methylisothiazolinone
$\bar{d}$	Průměrný rozdíl mezi párovými hodnotami
s_d	Směrodatná odchylka těchto rozdílů
n	Počet pozorování/počet hodnotitelů
k	Počet hodnocených vzorků
R_j	Součet pořadí pro j-tý vzorek
FR _{krit}	Kritická hodnota u senzorické analýzy
α	Hladina významnosti
df	Stupeň volnosti
T_i a T_j	Průměrná pořadí hodnocení daných vzorků
C	Kritická hodnota rozdílů
H ₀	Nulová hypotéza
H ₁	Alternativní hypotéza
FR	Testovací kritérium
c	Koncentrace
LCD	Liquid Crystal Display (displej z tekutých krystalů)

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha P I: Senzorický dotazník

PŘÍLOHA P I: SENZORICKÝ DOTAZNÍK

Jméno a příjmení:

Datum:

DOTAZNÍK PRO SENZORICKÉ HODNOCENÍ EMULZNÍCH SYSTÉMŮ S PŘÍDAVKEM RŮZNÝCH ZAHUŠŤOVADEL

Úkol č.1:

Seřaďte jednotlivé vzorky podle **roztíratelnosti** od nejlépe roztíratelného (A) po nejhůře roztíratelný (J). Zkouška s nucenou volbou – každému vzorku musí být přiděleno jedno číslo. Malé množství vzorku si pomocí tyčinky naneste na hřbet ruky a pomocí prstu rozetřete. Při hodnocení roztíratelnosti současně věnujte pozornost i dalším sensorickým vlastnostem, které budou předmětem dalších úkolů.

1% přírůdek modifikátorů viskozity

Vzorek	A	B	C	D	E	F	G	H	CH
Roztíratelnost									

2% přírůdek modifikátorů viskozity

Vzorek	I	J	K	L	M	N	O	P
Roztíratelnost								

Úkol č.2

Který z předložených vzorků je lépe roztíratelný? Svou volbu zakroužkujte (Párová porovnávací zkouška – jednostranná). Malé množství vzorku si pomocí tyčinky naneste na hřbet ruky a pomocí prstu rozetřete.

B	I
C	J
D	K
E	L
F	M
G	N
H	O
CH	P

Úkol č.3

Seřaďte jednotlivé vzorky podle **vstřebatelnosti**, od nejlépe vstřebatelného po nejhůře vstřebatelný. Zkouška s nucenou volbou – každému vzorku musí být přiděleno jedno pořadí.
1% přídavek modifikátorů viskozity

Vzorek	A	B	C	D	E	F	G	H	CH
Roztíratelnost									

2% přídavek modifikátorů viskozity

Vzorek	I	J	K	L	M	N	O	P
Roztíratelnost								

Úkol č.4

Seřaďte jednotlivé vzorky podle **viskozity**, od nejhutnějšího po nejtekutější. Zkouška s nucenou volbou – každému vzorku musí být přiděleno jedno pořadí.

1% přídavek modifikátorů viskozity

Vzorek	A	B	C	D	E	F	G	H	CH
Roztíratelnost									

2% přídavek modifikátorů viskozity

Vzorek	I	J	K	L	M	N	O	P
Roztíratelnost								

Úkol č.5

Seřaďte jednotlivé vzorky podle **celkové uživatelské preference**, od nejvíce preferovaný po nejméně preferovaný). Zkouška s nucenou volbou – každému prvku musí být přiděleno jedno pořadí.

1% přídavek modifikátorů viskozity

Vzorek	A	B	C	D	E	F	G	H	CH
Roztíratelnost									

2% přídavek modifikátorů viskozity

Vzorek	I	J	K	L	M	N	O	P
Roztíratelnost								