

Stabilita kosmetických disperzních systémů

Monika Matušincová

Bakalářská práce
2020

 Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická
Ústav technologie tuků, tenzidů a kosmetiky
Akademický rok: 2019/2020

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE (projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Monika Matušincová**
Osobní číslo: **T17151**
Studijní program: **B2901 Chemie a technologie potravin**
Studijní obor: **Technologie výroby tuků, kosmetiky a detergentů**
Forma studia: **Prezenční**
Téma práce: **Stabilita kosmetických disperzních systémů**

Zásady pro vypracování

I. Teoretická část:

V rešeršní části klasifikujte disperzní systémy používané v kosmetice. Zaměřte se na stabilitu těchto soustav, tj. mechanismy vedoucí k jejich rozpadu, významné faktory, které stabilitu ovlivňují. Uveďte metody využívané pro hodnocení a sledování stability kosmetických heterogenních soustav.

Forma zpracování bakalářské práce: **Tištěná/elektronická**

Seznam doporučené literatury:

- [1] BRUMMER, R. Rheology Essentials of Cosmetic and Food Emulsions, Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2006, ISBN 3-540-25553-2.
- [2] TADROS, T. F. Emulsion Science and Technology, Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim 2009, ISBN 978-3-527-32525-2.
- [3] MORAVKOVA, T., FILIP, P. The Influence of Thickeners on the Rheological and Sensory Properties of Cosmetics Lotions. Acta Polytechnica Hungarica 2014, 11, 173?186.
- [4] Databáze elektronických knih a časopisů (Science Direct, Web of Science,?).

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Jana Sedlaříková, Ph.D.**
Ústav technologie tuků, tenzidů a kosmetiky

Datum zadání bakalářské práce: **2. ledna 2020**

Termín odevzdání bakalářské práce: **22. května 2020**

L.S.

prof. Ing. Roman Čermák, Ph.D.
děkan

doc. Ing. Marián Lehocký, Ph.D.
ředitel ústavu

Ve Zlíně dne 20. února 2020

PROHLÁŠENÍ AUTORA BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Beru na vědomí, že:

- bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému a dostupná k nahlédnutí;
- na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3;
- podle § 60 odst. 1 autorského zákona má Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- podle § 60 odst. 2 a 3 autorského zákona mohu užít své dílo – bakalářskou 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 bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tj. k nekomerčnímu využití), nelze výsledky bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- pokud je výstupem bakalářské 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 bakalářské práci pracoval samostatně a použitou literaturu jsem citoval. V případě publikace výsledků budu uveden jako spoluautor.
- že odevzdaná verze bakalářské práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou obsahově totožné.

Ve Zlíně, dne:

Jméno a příjmení studenta:

.....
podpis studenta

ABSTRAKT

Předložená bakalářská práce je zaměřena na problematiku stability disperzních systémů, jako jsou pěny, emulze a suspenze. Úvodní část je věnována charakterizaci těchto soustav a mechanismům, které nejčastěji vedou k jejich rozpadu. Další kapitola se zabývá možnostmi zvyšování jejich stability, které zahrnují elektrostatickou a sterickou stabilizaci, význam amfifilních sloučenin nebo pevných částic pro stabilizaci rozhraní. V neposlední řadě je pozornost soustředěna na metody hodnocení agregační i kinetické stability.

Klíčová slova:

Amfifilní látky; agregace; disperzní systémy; elektrostatická bariéra; stabilita.

ABSTRACT

The presented bachelor thesis is focused on the issue of stability of dispersion systems, such as foams, emulsions and suspensions. The introductory part is devoted to the characterization of these systems and the mechanisms that most often lead to their disintegration. The next chapter is interested in the possibilities of increasing their stability, which include electrostatic and steric stabilization, the importance of amphiphilic compounds or solid particles for the interface stabilization. Last but not least, attention is focused on methods for the evaluation of aggregation and kinetic stability.

Keywords:

Amphiphilic compounds; aggregation; dispersion systems; electrostatic barrier; stability.

Chtěla bych poděkovat všem lidem, kteří mi jakýmkoli způsobem pomohli k dokončení této práce, zejména pak své vedoucí, Ing. Janě Sedlaříkové, Ph.D., za vynikající vedení, trpělivost a poskytnutí materiálů k práci. Ráda bych také poděkovala své rodině za trvalou podporu.

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

OBSAH

ÚVOD.....	9
I TEORETICKÁ ČÁST.....	10
1 DISPERZNÍ SYSTÉMY.....	11
1.1 PĚNY	11
1.2 EMULZE.....	13
1.3 SUSPENZE.....	15
1.4 AEROSOLY	16
2 STABILITA DISPERZNÍCH SYSTÉMŮ	18
2.1 MECHANISMY DESTABILIZACE	18
2.1.1 Krémování.....	19
2.1.2 Sedimentace	19
2.1.3 Flokulace a koagulace částic	20
2.1.4 Koalescence.....	21
2.1.5 Ostwaldovo zrání	21
2.1.6 Fázová inverze	22
3 FAKTORY OVLIVŇUJÍCÍ STABILITU	23
3.1 FYZIKÁLNÍ POVAHA MEZIFÁZOVÉHO FILMU	23
3.2 EXISTENCE ELEKTRICKÉ NEBO STERICKÉ BARIÉRY	25
3.3 GIBBS-MARANGONIHO EFEKT	26
3.4 VIZKOZITA KONTINUÁLNÍ FÁZE.....	27
3.5 DISTRIBUCE VELIKOSTI ČÁSTIC	28
3.6 POMĚR OBJEMU FÁZÍ	28
3.7 TEPLOTA	28
4 MOŽNOSTI ZVÝŠENÍ STABILITY DISPERZNÍCH SYSTÉMŮ	29
4.1 ELEKTROSTATICKÁ A STERICKÁ STABILIZACE.....	29
4.2 STABILIZACE PROSTŘEDNICTVÍM AMFIFILNÍCH LÁTEK	30
4.3 STABILIZACE ČÁSTICEMI	31
4.4 STABILIZACE PROSTŘEDNICTVÍM LAMELÁRNÍCH KAPALNÝCH KRYSTALŮ.....	32
4.5 REOLOGICKÉ VLASTNOSTI.....	33
5 METODY HODNOCENÍ STABILITY	35
5.1 PŘÍSTUPY K HODNOCENÍ FYZIKÁLNÍ STABILITY	36
5.2 POSOUZENÍ STRUKTURY ROZHRAŇÍ.....	38
5.2.1 Hodnocení dvojrstvy	38
5.2.2 Hodnocení adsorpce surfaktantu	38

5.3	HODNOCENÍ GRAVITAČNÍ NESTABILITY.....	39
5.4	HODNOCENÍ AGREGAČNÍ NESTABILITY.....	40
ZÁVĚR		42
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....		43
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....		48
SEZNAM OBRÁZKŮ		49
SEZNAM TABULEK.....		50

ÚVOD

Disperzní systémy mají široké využití v mnoha oblastech průmyslu, včetně potravinářského, farmaceutického a kosmetického. V kosmetice jsou běžně aplikovány například krémy v podobě emulzí, vlasová tužidla ve formě pěn nebo laků na nehty, tedy suspenze, v nichž pevné částice jsou dispergovány v kapalině. Je známo, že disperze obsahují dvě nebo více fází s odlišnými vlastnostmi, které jsou rozděleny fázovým rozhraním. Pro praktické aplikace je zásadní, aby tyto produkty vykazovaly dostatečnou kinetickou stabilitu po požadovanou dobu.

Stabilita může být chápána jako schopnost odolávat vnějším vlivům, které vedou ke změnám struktury soustavy. Je známo, že všechny systémy se snaží zaujmout stav, který je pro ně energeticky co nejméně náročný. Proto také často dochází, dříve nebo později, k rozpadu na původní složky. V tomto ohledu jsou monitorovány procesy agregátní nestability, jejichž výsledkem jsou větší shluky dispergované fáze, nebo gravitační nestability v důsledku rozdílné hustoty přítomných fází. Významnou roli zde mimo jiné hrají vlastnosti složek systému, velikost a náboj dispergované fáze, nebo viskozita disperzního prostředí. Mezi důležité aspekty také patří podmínky přípravy a výběr vhodného homogenizačního zařízení.

Stabilita kosmetických přípravků, využívání nových typů stabilizačních činidel a podmínky prováděných stabilitních testů jsou předmětem zájmu všech výrobců. Cílem bakalářské práce bylo zpracovat literární rešerši týkající se uvedené problematiky, zaměřit se na klíčové faktory, které stabilitu ovlivňují, a dostupné hodnotící metody.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 DISPERZNÍ SYSTÉMY

Disperzní systémy jsou takové soustavy, které obsahují minimálně dvě, nebo více fází, přičemž jedna je rozptýlena ve druhé. Jedná se o tzv. disperzní prostředí a disperzní podíl.

Podle charakteru těchto složek se disperzní systémy dělí na různé typy (Tab. 1) [1], str. 51].

Tabulka 1: Typy disperzních systémů [2]

Disperzní prostředí	Disperzní podíl	Disperze	
		Koloidní	Hrubé
Plynné	Plynný	-----	-----
	Kapalný	Aerosoly (mlhy)	Děšť, mlhy
	Tuhý	Aerosoly (dýmy)	Prach, dýmy
Kapalné	Plynný	Pěny	Bubliny, pěny
	Kapalný	Emulze	Emulze
	Tuhý	Lyosoly	Suspenze
Tuhé	Plynný	Tuhé pěny	Tuhé pěny, minerály s uzavřenými plyny
	Kapalný	Tuhé emulze	Tuhé emulze, minerály s uzavřenými kapičkami
	Tuhý	Tuhé soly	Tuhé směsi, např. eutektika

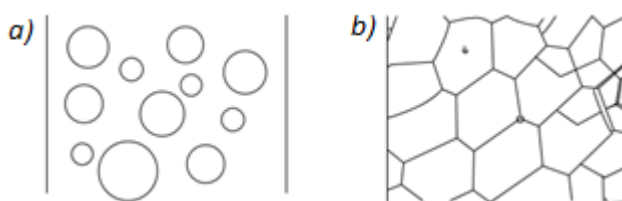
1.1 Pěny

Pěny jsou disperzní systémy složené ze dvou fází, kapalné a plynné, přičemž plynná fáze (disperzní podíl) je dispergována ve fázi kapalné (disperzním prostředí). Aby pěna vznikla, musí být přítomna další složka, tzv. pěnotvorné činidlo, která sníží mezifázové napětí na fázovém rozhraní. Zároveň je nutno zajistit dobrou elasticitu filmu, která chrání film před vnějšími vlivy, jako je například teplota a tlak [1], str. 58].

Jako většina disperzních systémů mohou být pěny získány kondenzační a dispergační metodou. Kondenzační způsoby výroby pěny zahrnují tvorbu bublin plynu v roztoku snížením

vnějšího tlaku, zvýšením teploty nebo v důsledku chemické reakce. K tvorbě bublin tedy může dojít prostřednictvím homogenní nukleace při vysokém přesycení nebo heterogenní nukleace při nízkém přesycení.

Nejpoužívanější technikou pro výrobu pěny je jednoduchá dispergační technika (mechanické třepání nebo šlehání). Kritickým aspektem této metody je ovšem obtížná kontrola množství zabudovaného vzduchu. Nejvhodnějším způsobem je průchod proudu plynu otvorem s dobře definovaným poloměrem [3], str. 260].



Obrázek 1: Struktura (a) málo koncentrované a (b) suché pěny [3], str. 261]

Pěny lze dělit podle obsahu plynné fáze na málo koncentrované pěny, kde je větší podíl disperzního prostředí a částice plynné fáze jsou od sebe vzdáleny, dále pak vlhké pěny, kde disperzní prostředí zaujímá stále poměrně velký podíl, ale plynné částice jsou k sobě blíže, a nakonec suché pěny, kde má plynná fáze větší zastoupení než disperzní prostředí (Obr. 1).

Všechny pěny jsou termodynamicky nestálé systémy. Podle stability se pěny dělí na nestabilní, metastabilní a stabilní pěny. Nestabilní (přechodné) pěny mají životnost pouze pár sekund. Obvykle se vyrábějí pomocí látek, jako jsou např. alkoholy s krátkým řetězcem, anilin, fenol nebo borovicový olej. Většina z těchto sloučenin vykazuje malou rozpustnost a produkuje nízký stupeň elasticity. Metastabilní (trvalé) pěny jsou stabilní v řádu hodin až dnů. Tyto soustavy odolávají běžným vlivům (teplotním výkyvům nebo fluktuacím v důsledku Brownova pohybu). K jejich destrukci může dojít například z důvodu odpařování. Metastabilní pěny se vyrábějí z roztoků povrchově aktivních látek o koncentraci okolo nebo nad hodnotou kritické micelární koncentrace (CMC). Stabilita je řízena rovnováhou povrchových sil. Pokud by tyto pěny nebyly vystaveny vnějším vlivům, mohly by zůstat stabilní po neomezeně dlouhou dobu. Metastabilní pěny se často připravují pomocí proteinů, mastných kyselin s dlouhým řetězcem nebo pevných částic [3], str. 263].

V kosmetice jsou produkty ve formě pěn využívány například pro barvení a následnou péči o vlasy (Obr. 2) nebo i jako přípravky dekorativní kosmetiky [1], str. 58].



Obrázek 2: Stylingová vlasová pěna Leonor Greyl [4]

1.2 Emulze

Emulze jsou definovány jako disperzní systémy složené ze dvou omezeně mísitelných, nebo nemísitelných kapalin. Lze rozlišit několik typů emulzí, a to olej ve vodě (O/V), voda v oleji (V/O) a olej v oleji (O/O). Příkladem emulze O/O může být emulze sestávající z polárního oleje (např. propylenglykolu) dispergovaného v nepolárním oleji (parafinový olej) a naopak. Aby se rozptýlily dvě nemísitelné kapaliny je vyžadována přítomnost třetí složky, konkrétně emulgátoru. Volba emulgátoru je rozhodující nejen pro tvorbu emulze, ale také pro její dlouhodobou stabilitu [5], str. 1];[6], str. 17]

K přípravě makroemulzí (s velikostí částic v rozmezí 1–5 μm), lze použít vysokorychlostní míchadla. Avšak ve většině praktických aplikací je vyžadován mnohem menší rozsah velikosti částic, obvykle v rozmezí 200–500 nm (tyto systémy bývají označovány jako nanoemulze). Nanoemulze mohou být připravovány za použití vysokých teplot nebo tlaků (například pomocí homogenizátorů, jako je mikrofluidizér) [3], str. 478].

Emulze lze klasifikovat podle povahy emulgátoru nebo struktury systému (viz Tabulka 2) [5], str. 1].

Tabulka 2: Klasifikace emulzí [5], str. 2]

Podle povahy emulgátoru	Podle struktury systému
Jednoduché molekuly a ionty	Povaha vnitřní a vnější fáze: O/V, V/O
Neionické povrchově aktivní látky	Micelární emulze (mikroemulze)
Směsi povrchově aktivních látek	Makroemulze
Ionické povrchově aktivní látky	Dvojvrstvé kapičky
Neionické polymery	Dvojitě a vícenásobné emulze
Polyelektrolyty	Smíšené emulze
Smíšené polymery a povrchově aktivní látky	
Kapalně krystalické fáze	
Pevné částice	

V kosmetice jsou ve formě emulzí nejrůznější pleťové a tělové krémy (Obr. 3) nebo například make-upy.



Obrázek 3: Pleťová emulze Jeju Aloe Aqua [7]

1.3 Suspenze

Suspenze jsou definovány jako disperzní systémy složené ze dvou fází, pevné a kapalně, přičemž pevný disperzní podíl je dispergován v kapalném disperzním prostředí.

Suspenze lze dělit podle schopnosti smáčet povrchy pevných látek na neflokulované, kdy kapalina dobře smáčí dispergované částice a pevné částice absorbují molekuly kapaliny na svém povrchu, dále flokulované suspenze, kdy jsou částice nedokonale smáčeny, což způsobuje tvorbu shluků, a nakonec flotované suspenze, jejichž částice jsou smáčeny velmi špatně a jsou následně vyplavovány na povrch kapaliny [1], str. 64].

Příprava suspenzí s optimální velikostí částic a dostatečnou stabilitou vyžaduje často použití jedné nebo více povrchově aktivních látek, tzv. dispergačního činidla [8], str. 366].

Suspenzi lze popsat jako proces sestávající ze tří kroků:

- Smáčení pevné fáze kapalinou a odstranění zachyceného vzduchu, což má za následek vznik fázového rozhraní pevná látka/kapalina;
- Rozpad agregátů na elementární částice;
- Stabilizace suspenze.

V každém z těchto tří kroků hrají významnou roli povrchově aktivní látky [1], str. 64].

Smáčení je základní proces, ve kterém je jedna tekutá fáze zcela nebo částečně vytlačena jinou tekutou fází z povrchu pevné látky. Užitečným parametrem pro popis smáčení je kontaktní úhel θ kapky kapaliny na pevném substrátu. Pokud kapalina nepřichází do styku s pevnou látkou, tj. $\theta = 180^\circ$, je tato pevná látka označována za nesmáčitelnou danou kapalinou. Příkladem může být kombinace dokonale hydrofobního povrchu s polární kapalinou, jako je voda. Pokud je však kontaktní úhel v intervalu $180^\circ > \theta > 90^\circ$, může se jednat o případ špatného smáčení. Pokud je kontaktní úhel $0^\circ < \theta < 90^\circ$, nastává tzv. částečné (neúplné) smáčení, zatímco když $\theta = 0^\circ$, dochází k úplnému smáčení a tekutina se rozprostře na pevný substrát, čímž se vytvoří rovnoměrný kapalný film [3], str. 193]. Pro popis chování kapaliny na pevném povrchu má význam tzv. Harkinsův rozestírací koeficient S , který je definovaný jako rozdíl práce potřebné na odstranění jednotkového mezifázového povrchu mezi kapalinou a pevnou fází (práce adheze) a prací potřebnou k odtržení sloupce kapaliny o jednotkové ploše průřezu (kohezní práce) [1], str. 64];[3], str. 196];[9], str. 160];[10], str. 44].

V kosmetice se ve formě suspenzí vyskytuje řada produktů dekorativní kosmetiky, jako například tekuté rtěnky, make-upy nebo oční stíny. Příkladem suspenze je i průmyslový mycí gel značky Isofa s obsahem jemného kosmetického abraziva na bázi polyethylenového práchu (Obr. 4) k odstranění středně odolných nečistot.



Obrázek 4: Mycí suspenze na ruce [11]

1.4 Aerosoly

Aerosoly jsou koloidní disperze jemných, pevných nebo kapalných, částic nebo kapiček v plynné kontinuální fázi. Významnou složkou aerosolů, kromě samotné látky, jež má být dávkována, je pohonný plyn (propelant), nádoba rezistentní vůči tlaku, ventil a regulátor. Při uvolnění tlaku regulátoru v horní části se otevře ventil a dojde k vypuštění obsahu nádoby (koncentrát a propelant) [12], str. 249].

Stabilita kapalných aerosolů je obvykle více závislá na dynamice tekutin než na koloidních faktorech. Kapalně aerosoly mohou být vytvářeny jedním ze dvou procesů, v závislosti na tom, zda dispergovaný systém je v počáteční fázi ve formě kapalné, nebo během procesu dochází k fázové přeměně z páry na kapalinu.

V prvním případě je při tvorbě aerosolu využíváno snížení částic kapalných jednotek. Do této skupiny patří opar vznikající například ve spodní části vodopádu, aerosoly vytvořené prudkým mícháním (mechanickou dispergací) a ty, které vznikají přímým sprejováním nebo procesem atomizace. Kapalné aerosoly mohou být také vytvářeny přímo aplikací vysokého elektrického potenciálu na kapalinu.

Druhá třída zahrnuje aerosoly, u nichž je počáteční kapalná fáze zaváděna ve formě páry a vytváří kapky v důsledku rovnovážného kondenzačního procesu nebo je kapalina produkována v důsledku chemické reakce [8], str. 245].

Klasickými reprezentanty aerosolových produktů v kosmetice jsou vlasové spreje nebo antiperspiranty (Obr. 5).



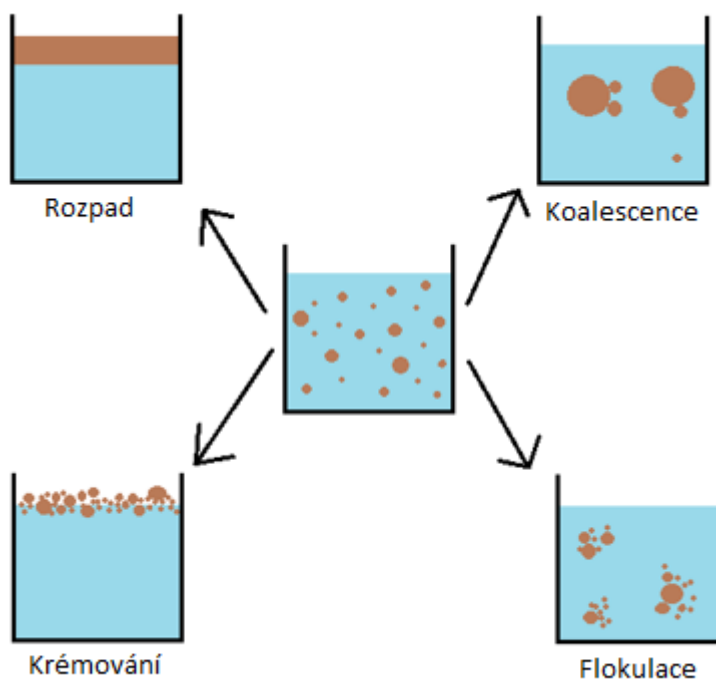
Obrázek 5: Antiperspirant DOVE [13]

2 STABILITA DISPERZNÍCH SYSTÉMŮ

Stabilita disperzních soustav může být obecně chápána jako schopnost odolávat vnějším vlivům a dějům vedoucím ke změnám ve struktuře, stupni disperzity a velikosti částic. Většina disperzních soustav je termodynamicky nestabilní a má tendenci rozpadat se na původní složky. Přesto mohou vykazovat jistou míru kinetické stability, tzn., že nedochází k rychlé agregaci ani sedimentaci dispergovaných částic. Mnoho kosmetických, ale i potravinářských a dalších disperzních systémů je formulováno tak, aby vydržely stabilní po dobu měsíců až let. Při posuzování jejich stability je tedy zásadní brát v potaz požadavky kladené na konkrétní produkt [8], str. 283].

2.1 Mechanismy destabilizace

Jak bylo zmíněno výše, disperzní soustavy mohou mít různé stupně kinetické stability. Ovšem po kratší či delší době dochází, v závislosti na různých faktorech, k jejich rozpadu. Mezi mechanismy rozpadu lze řadit například krémování, sedimentaci, flokulaci, fázovou inverzi, koalescenci nebo Ostwaldovo zrání (Obr. 6). V dalších kapitolách budou tyto pojmy definovány [8], str. 284];[14], str. 21].



Obrázek 6: Příklady mechanismů rozpadu disperzních systémů [15].

2.1.1 Krémování

Krémování je proces, při kterém dochází ke shlukování dispergovaných částic v horní části soustavy v důsledku rozdílných hustot obou fází. Je zde jistá podobnost s procesem flokulace, jelikož i v tomto případě si jednotlivé částice zachovávají svou původní identitu. Shluky vytvářejí na povrchu krémovou vrstvu (Obr. 7), jejíž tloušťka je dána koncentrací a způsobem organizace dispergovaných částic [1], str. 55].

Ke krémování dochází v průběhu času u téměř všech disperzních systémů, ve kterých je rozdíl v hustotě obou fází. Rychlost krémování závisí na fyzikálních vlastnostech systému, zejména na viskozitě kontinuálního prostředí a rozdílu hustoty mezi oběma fázemi. Je zřejmé, že flokulace i krémování představují procesy, během nichž se částice vzájemně dotýkají, ale neslučují se do jediné nové jednotky [8].



Obrázek 7: Vzhled emulze stabilizované jedním surfaktantem
a) v den přípravy, b) po jednom dni [16].

2.1.2 Sedimentace

Sedimentace je proces, při kterém dochází k pohybu částic směrem dolů, tedy k jejich usazování. Podobně jako v případě krémování, i tento proces je důsledkem rozdílných hodnot hustot obou fází, ovšem s tím rozdílem, že hustota sedimentujících částic je větší než hustota média. Zároveň na částice v disperzním systému musí působit vnější, gravitační síla [1], str. 55];[5], str. 2].

V případě velmi zředěných emulzí lze rychlost sedimentace vypočítat pomocí Stokesova zákona, v němž se porovnává hydrodynamická síla se silou gravitační (Rovnice 1):

$$v_0 = \frac{2}{9} \cdot \frac{\Delta\rho g R^2}{\eta_0} \quad (1)$$

Kde v_0 je Stokesova rychlost a η_0 je viskozita média.

V případě středně koncentrované emulze je třeba vzít v úvahu hydrodynamické interakce mezi kapkami, které snižují Stokesovu rychlost na rychlost v danou následujícím výrazem (Rovnice 2):

$$v = v_0(1 - k\phi) \quad (2)$$

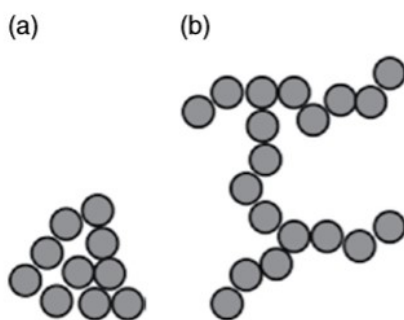
Kde ϕ je objemový zlomek dispergované fáze, k je konstanta, která odpovídá za hydrodynamické interakce [3], str. 146].

Mezi možnosti, jak zamezit procesům sedimentace a krémování, patří například zmenšení velikosti dispergovaných částic nebo použití zahušťovadel. Jedná se o různé vysokomolekulární přírodní nebo syntetické polymery, jako např. xantanová guma, deriváty celulózy, algináty a další [3], str. 147].

2.1.3 Flokulace a koagulace částic

Jedná se o proces shlukování dvou nebo více dispergovaných jednotek ve větší celky působením van der Waalsových sil. Podle charakteru vzniklých agregátů lze hovořit o flokulaci či koagulaci. Výsledkem flokulace je tvorba volně vázaných agregátů, tzv. flokulů (Obr. 8b), ve kterých je zachována identita každé původní částice. Flokulace je většinou reverzibilní proces, který vyžaduje mnohem méně energie než původní proces dispergace [5], str. 2];[8], str. 283].

Koagulace vede ke tvorbě kompaktních agregátů, tzv. koagulátů (Obr. 8a), které po čase sedimentují. Na rozdíl od flokulace jde většinou o proces ireverzibilní [17], str. 117].



Obrázek 8: Mechanismy (a) koagulace a (b) flokulace [18], str. 339]

Proces flokulace lze eliminovat například použitím ionických povrchově aktivních látek. V tomto případě je nejdůležitějším kritériem, aby byla energie G_{max} co nejvyšší. Toho je dosaženo při splnění tří hlavních podmínek: vysoký zeta potenciál, nízká koncentrace elektrolytu a nízká valence iontů.

Další možností, jak potlačit proces flokulace, je sterická stabilizace, kde hraje důležitou roli kompletní pokrytí kapek stabilizačním filmem. Adsorbovaná vrstva by měla mít tloušťku okolo 5 až 10 nm [3], str. 153].

2.1.4 Koalescence

Výraz koalescence označuje spojení dvou (nebo více) částic, kapek nebo bublin jedné fáze za vytvoření jedné částice o větším objemu, ale menší ploše mezifázového rozhraní. Ačkoli má koalescence za následek významné mikroskopické změny v charakteru dispergované fáze, jako jsou změny průměrné velikosti a distribuce částic, nemusí tento proces okamžitě vést k makroskopickým změnám celého systému. Limitním případem koalescence je úplné oddělení fází [8], str. 283];[19], str. 315].

Koalescenci lze eliminovat například využitím směsí surfaktantů, zejména anionických a neionických, nebo alkoholů s dlouhým řetězcem. Snížení koalescence se v tomto případě děje v důsledku několika jevů, jako je vysoká elasticita, vysoká povrchová viskozita a ztížení procesu difúze molekul povrchově aktivních látek z adsorbovaného filmu. Další možností je tvorba lamelárních kapalných krystalických fází na fázovém rozhraní. Povrchově aktivní látky nebo jejich směsi mohou produkovat několik dvojvrstev, které „obalí“ částice. Důsledkem je snížení přitažlivých van der Waalsových sil a zvýšení energetické bariéry vůči koalescenci [3], str. 156].

2.1.5 Ostwaldovo zrání

Ostwaldovo zrání je výsledkem rozdílné rozpustnosti mezi malými a většími částicemi (menší částice mají větší Laplaceův tlak a vyšší rozpustnost). S časem dochází ke snížení počtu menších částic, které se rozptýlí do velkého objemu a usadí se ve formě větších shluků [5], str. 2];[20], str. 144].

Mezi metody, jimiž lze eliminovat proces Ostwaldova zrání, patří přidání druhé složky dispergované fáze, která je nerozpustná v kontinuálním médiu. V tomto případě dochází k rozdělení mezi různými velikostmi částic, přičemž se očekává, že složka s nízkou rozpustností

bude koncentrována v menších kapkách. Během Ostwaldova zrání ve dvousložkovém systému je rovnováha ustavena, pokud je rozdíl v chemickém potenciálu mezi kapičkami různých velikostí vyvážen rozdílem chemického potenciálu, který je důsledkem dělení dvou složek. Tento jev následně redukuje další růst částic.

Jinou možností, jak redukovat proces Ostwaldova zrání, je modifikace mezifázového filmu na rozhraní. Lze využít například polymerní povrchově aktivní látky, které jsou silně adsorbovány a během procesu zrání nedochází k jejich desorpci (výběrem molekuly, která je v kontinuální fázi nerozpustná). Tímto způsobem může být rychlost významně snížena [3], str. 155].

2.1.6 Fázová inverze

Jedná se o proces, při kterém dochází k záměně disperzního prostředí za dispergovanou fázi, a naopak. Tento jev je ovlivněn řadou faktorů, jako jsou například fyzikální změny nebo chemické reakce, které způsobí přeměnu emulgátoru na takový, který stabilizuje opačný typ emulzního systému. Tento stav může být přechodný nebo trvalý. Mnoho emulzí podléhá fázové inverzi při tzv. kritické teplotě (teplota fázové inverze, PIT), která závisí na hydrofilně-lipofilní rovnováze (HLB) emulgátoru, stejně jako na přítomnosti elektrolytů [1], str. 55];[21], str. 4].

3 FAKTORY OVLIVŇUJÍCÍ STABILITU

Termín stabilita se vztahuje k odolnosti disperzních systémů vůči koalescenci jednotlivých částic. Pouhé stoupaní nebo usazování částic (krémování nebo sedimentace) kvůli rozdílu hustoty mezi nimi a spojitou fází se obvykle nepovažuje za nestabilitu. Flokulace dispergovaných částic, ačkoli se jedná o formu destabilizace, se také nepovažuje za zásadní znak nestability, jako je tomu v případě koalescence nebo úplného rozpadu systému.

Míra koalescence je tedy uváděna jako jediné kvantitativní měřítko stability. Může být měřena počítáním počtu částic na jednotku objemu systému pod mikroskopem, nebo pomocí centrifugačního fotosedimentometru.

Rychlost, při níž se částice spojují za vzniku větších agregátů, které nakonec systém destabilizují, závisí na řadě faktorů [22], str. 305]:

- fyzikální povaha mezifázového filmu;
- existence elektrické nebo sterické bariéry na částicích;
- viskozita kontinuální fáze;
- distribuce velikosti částic;
- poměr objemu fází;
- teplota.

3.1 Fyzikální povaha mezifázového filmu

Dispergované částice jsou v neustálém pohybu, a proto mezi nimi dochází k častým srážkám. Pokud při srážce částic dojde k narušení mezifázového filmu dvou, tyto dvě částice se spojí a vytvoří jednu větší. To má za následek snížení volné energie systému. Pokud tento proces pokračuje, dispergovaná fáze se od systému oddělí. Mechanická pevnost mezifázového filmu je proto jedním z hlavních faktorů určujících stabilitu disperzních systémů [22], str. 305].

Pro dosažení maximální mechanické stability by měl mezifázový film vykazovat vysokou elasticitu filmu. Protože vysoce čištěné povrchově aktivní látky obecně vytvářejí méně kohezní mezifázové filmy s nižší mechanickou pevností, jsou obvykle používány směsi dvou nebo více povrchově aktivních látek. Běžně používaná kombinace sestává z ve vodě rozpustné povrchově aktivní látky a v oleji rozpustné povrchově aktivní látky. Povrchově ak-

tivní látka rozpustná v oleji, která má obecně dlouhou, přímou hydrofobní skupinu a hydrofilní hlavu, která je jen nepatrně polární, zvyšuje laterální interakci mezi povrchově aktivními molekulami v mezifázovém filmu a kondenzuje ji na mechanicky silnější [22], str. 305].

V případě emulzí je významným parametrem, který určuje vhodnost dané povrchově aktivní látky pro konkrétní typ soustavy, hodnota hydrofilně-lipofilní rovnováhy (HLB).

Tzv. Griffinova škála hodnot HLB je založena na relativním procentu hydrofilních až lipofilních (hydrofobních) skupin v molekule povrchově aktivní látky. U emulzí O/V směřuje hydrofobní řetězec do olejové fáze, zatímco hydrofilní hlavní skupina je ve fázi vodné. V případě emulze V/O je uspořádání opačné. Tabulka 3 shrnuje rozsah HLB hodnot a s tím související aplikace [3], str. 134].

Tabulka 3: Rozsahy hodnot HLB a jejich použití

Hodnota HLB	Použití
3–6	V/O emulgátor
7–9	Smáčedlo
8–18	O/V emulgátor
13–15	Detergent
15–18	Solubilizátor

HLB hodnoty lze vypočítat podle různých vztahů. Davies navrhl výpočet vycházející z chemické struktury surfaktantů, za použití empiricky stanovených skupinových hodnot (Tabulka 4).

Tabulka 4: Skupinové hodnoty HLB

Skupina	Hodnota HLB
<i>Hydrofilní</i>	
-SO ₄ Na ⁺	38,7
-COO ⁻	21,2
-COONa	19,1
N (terciální amin)	9,4
Ester (sorbitanový kruh)	6,8
-O-	1,3
CH- (Sorbitanový kruh)	0,5
<i>Lipofilní</i>	
(-CH-), (-CH ₂ -), CH ₃	0,475
<i>Deriváty</i>	
-CH ₂ -CH ₂ -O	0,33
-CH ₂ -CH ₂ -CH ₂ -O	-0,15

Další vztah byl navržen Griffinem. Pro jednoduché neionické surfaktanty platí Rovnice 3:

$$HLB = 20 \left(1 - \frac{S}{A} \right) \quad (3)$$

Kde S je číslo zmýdelnění a A je číslo kyselosti [3], str. 135].

3.2 Existence elektrické nebo sterické bariéry

Přítomnost náboje na rozptýlených částicích představuje elektrickou bariéru zamezující těsnému kontaktu dvou částic. Tento faktor je významný pouze u emulzí typu O/V, kde je zdrojem náboje na dispergovaných kapkách adsorbovaná vrstva povrchově aktivní látky [22], str. 305].

U emulzí stabilizovaných ionickými povrchově aktivními látkami je náboj na dispergovaných kapkách dán vždy znaménkem amfipatického iontu. U emulzí stabilizovaných neionickými povrchově aktivními látkami může náboj v dispergované fázi vznikat buď adsorpcí iontů z vodné fáze, nebo třením mezi kapičkami a vodnou fází. V druhém případě je fáze s vyšší dielektrickou konstantou nabita kladně. U emulzí V/O je na rozptýlených částicích jen velmi malý náboj, zásadní význam má pak sterická bariéra [22], str. 305].

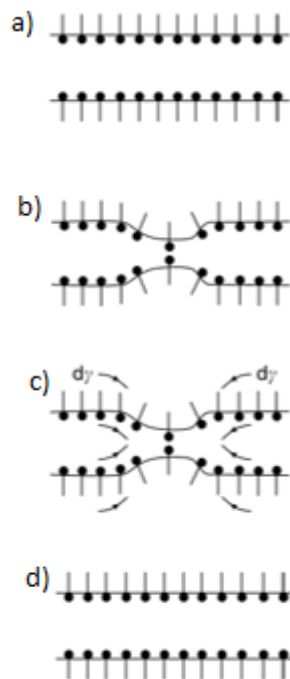
3.3 Gibbs-Marangoniho efekt

V rámci Gibbs-Marangoniho teorie byl zaveden Gibbsův koeficient elasticity ε značící proměnnou odolnost proti deformaci povrchu během ztenčování vrstvy (Rovnice 4):

$$\varepsilon = 2 \left(\frac{dy}{d \ln A} \right) = -2 \left(\frac{dy}{d \ln h} \right) \quad (4)$$

Kde $d \ln h$ je relativní změna tloušťky lamely, ε je „modul pružnosti komprese filmu“ nebo „modul povrchové dilatace“ a je měřítkem schopnosti filmu přizpůsobit povrchové napětí za okamžitého napětí.

Obecně platí, že čím vyšší je koeficient elasticity, tím stabilnější je film. ε závisí na povrchové koncentraci a tloušťce filmu. Gibbsova teorie platí pro případ, kdy ve filmu není dostatek molekuly povrchově aktivní látky, které by difundovaly k povrchu a snížily povrchové napětí. To samozřejmě neplatí pro většinu povrchově aktivních filmů. U tlustých lamel za dynamických podmínek je třeba zvážit difúzi z objemové fáze roztoku, tj. Marangoniho efekt. Tento efekt má tendenci bránit jakémukoli rychlému posunutí povrchu (Gibbsův efekt) a může poskytnout dočasnou „regeneraci“ rizikovým tenkým filmům (Obr. 9). Tento regenerační účinek je funkcí rychlosti protažení a tloušťky lamely [3], str. 268];[23], str. 78].



Obrázek 9: Gibbs-Marangoniho efekt při střední koncentraci PAL: (a) původní film, (b) lokální ztenčení filmu a zvýšení povrchového napětí ve střední části, (c) gradient napětí vyvolá zpětný tok kapaliny s molekulami PAL do střední části, (d) obnovení povrchového filmu [3], str. 269].

3.4 Viskozita kontinuální fáze

Zvýšení viskozity η kontinuální fáze snižuje difúzní koeficient D částic (viz Rovnice 5).

$$D = \frac{kT}{6\pi\eta a} \quad (5)$$

Kde k je Boltzmannova konstanta, T je absolutní teplota, a je poloměr částice.

Když se difúzní konstanta sníží, sníží se frekvence kolize částic a jejich rychlost koalescence. Viskozita vnější fáze se zvyšuje se zvyšujícím se počtem suspendovaných částic, a to je jeden z důvodů, že mnoho systémů je v koncentrované formě stabilnější než při ředění. Viskozita vnější fáze v systémech se často zvyšuje přidáním speciálních složek, jako jsou přírodní a syntetická „zahušťovací“ činidla [22], str. 305].

3.5 Distribuce velikosti částic

Faktor ovlivňující rychlost koalescence částic je distribuce jejich velikosti. Čím menší je rozsah velikostí, tím stabilnější je emulze. Protože větší částice mají menší povrch na jednotku objemu než menší částice, jsou termodynamicky stabilnější než menší částice a na jejich úkor mají tendenci růst. Pokud tento proces pokračuje, systém se nakonec rozpadne. Soustavy s poměrně rovnoměrnou distribucí velikosti jsou proto stabilnější než systémy se stejnou průměrnou velikostí částic mající širší distribuci velikostí [22], str. 305].

3.6 Poměr objemu fází

Jakmile se objem dispergované fáze zvětšuje, mezifázový film se rozšiřuje a dále obklopuje částice dispergovaného materiálu, čímž se zvyšuje základní nestabilita systému. Pokud se objem dispergované fáze zvětšuje nad objem kontinuální fáze, může dojít k inverzi fází [22], str. 305].

3.7 Teplota

Změna teploty způsobuje změny mezifázového napětí mezi oběma fázemi, povahu a viskozitu mezifázového filmu, relativní rozpustnosti emulgačního činidla ve dvou fázích, tlak par a viskozitu kapalných fází při tepelném míchání dispergovaných částic. Proto změny teploty obvykle způsobují značné změny ve stabilitě disperzních systémů. Činidla jsou obvykle nejúčinnější, když se blíží bodu minimální rozpustnosti v rozpouštědle, ve kterém jsou rozpuštěna, protože v tomto okamžiku vykazují nejvyšší povrchovou aktivitu. Protože se rozpustnost činidla obvykle mění se změnou teploty, logicky bude docházet i ke změnám stability. Konečně cokoli, co rozrušuje oblast fázového rozhraní, snižuje jeho stabilitu. Zvýšený tlak par v důsledku zvýšení teploty urychluje tok molekul přes rozhraní, což má za následek snížení stability.

Kvantitativní vyjádření rychlosti koalescence částic v systému, který zahrnuje většinu dříve diskutovaných faktorů, bylo vyvinuto Daviesem a Ridealem na základě von Smoluchowského teorie koagulace koloidů. Rychlost difúzně řízené koalescence sférických částic v disperzním systému v důsledku kolizí von Smoluchowski ukázala, že je úměrná poloměru srážky částic, difúznímu koeficientu a druhé mocnině koncentrace částic:

$$\frac{-dn}{dt} = 4\pi D r n^2 \quad (6)$$

Kde D je difúzní koeficient, r je poloměr srážky, n je počet částic na cm^3 [22], str. 305].

4 MOŽNOSTI ZVÝŠENÍ STABILITY DISPERZNÍCH SYSTÉMŮ

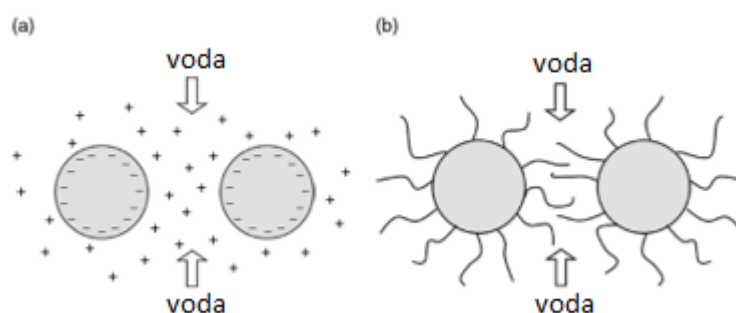
Stabilita disperzních systémů má značný význam pro jejich aplikaci v různých oborech, včetně potravinářského, agrochemického, farmaceutického a kosmetického průmyslu, nebo v oblasti výroby kompozitních materiálů a energetiky. Některé možnosti prevence rozpadu disperzních systémů byly zmíněny již v kapitole 2.1 u konkrétních mechanismů destabilizace, další jsou součástí následujícího textu [24], str. 345].

4.1 Elektrostatická a sterická stabilizace

Obecně lze říci, že přitažlivost mezi částicemi vede k jejich agregaci a fázové separaci disperzí. Zlepšení stability lze dosáhnout buď zvýšením odpudivosti, nebo snížením přitažlivosti mezi koloidními částicemi. Dva tradiční mechanismy stabilizace koloidních soustav zahrnují elektrostatickou a sterickou stabilizaci.

Elektrostatická stabilizace představuje mechanismus, ve kterém jsou van der Waalsovy síly vyváženy odpudivými Coulombickými silami působícími mezi nabitými částicemi, zatímco sterická stabilizace koloidů zahrnuje aditiva, která jsou přidávána do tekutého média za účelem zabránění koagulace/koalescence částic (Obr. 10).

Aditiva obvykle zahrnují dispergační činidla, jako jsou povrchově aktivní látky a polymery. Nabité částice mohou také působit jako dispergační činidla pro stabilizaci vícesložkových suspenzí [26].



Obrázek 10: Elektrostatická a sterická stabilizace disperzních částic [18], str. 356].

4.2 Stabilizace prostřednictvím amfifilních látek

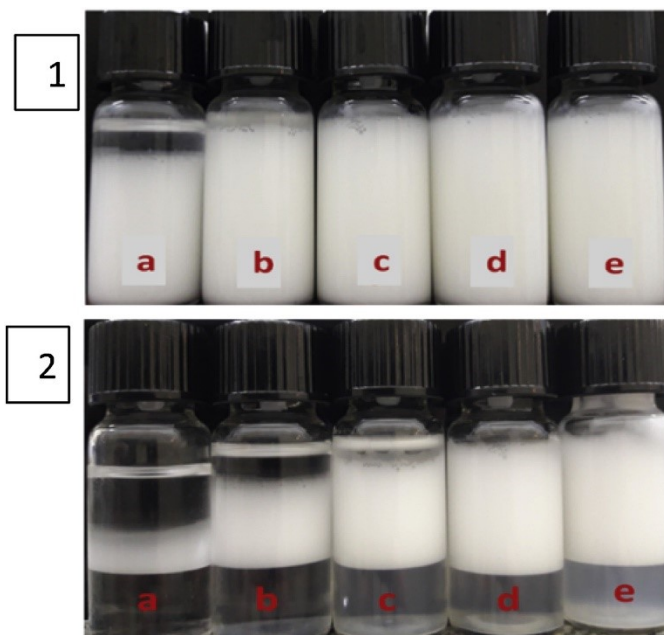
Povrchově aktivní látky usnadňují tvorbu disperzních systémů žádoucím snížením mezifázového napětí na fázových rozhraních a díky tvorbě mezifázového filmu soustavu následně stabilizují.

Amfifilní látky obsahují v molekule hydrofilní i hydrofobní část a mohou zahrnovat povrchově aktivní látky, fosfolipidy, proteiny nebo polysacharidy. V některých aplikacích lze využívat pouze jeden stabilizátor, ovšem je známo, že komerční formulace obsahuje většinou více než jednu povrchově aktivní látku, jelikož tyto kombinace zajišťují vyšší stabilizační účinek [27].

Piao a kol. [28] studovali stabilitu disperzí nanočástic stříbra pomocí směsí PAL na bázi alkykarboxylátů s různou délkou řetězce, a to od 6 do 18 uhlíků. Bylo zjištěno, že nanočástice stabilizované pomocí směsí karboxylátů, v závislosti na délce řetězce a zastoupení jednotlivých PAL, vykazovaly mnohem lepší stabilitu v porovnání se systémy stabilizovanými prostřednictvím pouze jednoho surfaktantu. Výhoda této metody spočívá ve snadné proveditelnosti a dostupnosti různých karboxylátových povrchově aktivních látek, což ji činí dostatečně flexibilní pro řadu praktických aplikací [26];[28].

Směsi tenzidů byly studovány i v práci Vilasau a kol.[30], kde autoři sledovali vliv poměru ionického a neionického surfaktantu na chování parafinických emulzí O/V. Jako nejstabilnější se ukázaly emulze s vyšším podílem ionických povrchově aktivních látek, u nichž dominovalo elektrostatické odpuzování. Ovšem přídavek neionického tenzidu podpořil sterickou stabilitu.

Někteří autoři se zabývali také kombinací různých mechanismů, například Imani a kol. [29] ve své práci studovali chování emulzí s obsahem dodecylsulfátu sodného v přítomnosti grafitického nitridu uhlíku. Tento nanovlákný materiál získal v posledních letech velkou pozornost, a to zejména díky jeho vlastnostem, jako je tepelná a chemická stabilita, netoxičita a jednoduchá a zároveň ekonomicky nenáročná metoda syntézy. Výsledky ukázaly, že přestože nitrid uhlíku není povrchově aktivní, podporuje povrchovou aktivitu anionických tenzidů. Bylo prokázáno, že odpudivá síla mezi nanovrstvami grafitického nitridu uhlíku a dodecylsulfátem sodným způsobuje větší migraci povrchově aktivní látky k rozhraní, což následně vede ke zvýšení stability emulze O/V (Obr. 11).

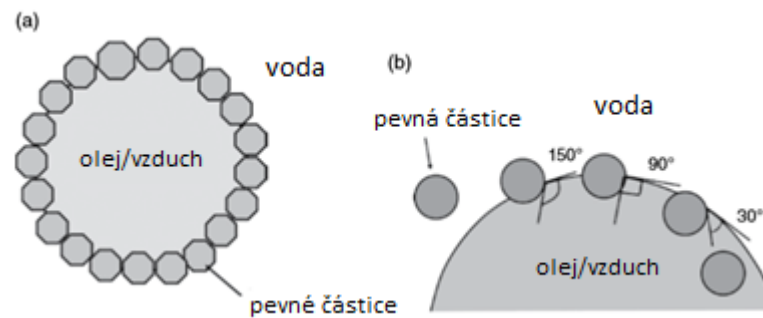


Obrázek 11: (1) čerstvě připravené emulze O/V s obsahem SDS (a) bez nitridu uhlíku a (b-e) se zvyšující se koncentrací nitridu uhlíku; (2) vzorky po 65 dnech [29].

4.3 Stabilizace částicemi

Pro stabilizaci pěn a emulzí lze také využít různé anorganické nebo organické částice. Průkopníky v používání pevných částic místo běžných povrchově aktivních látek pro stabilizaci emulze byli Pickering a Ramsden [18], str. 356].

Od prvního z objevitelů také pochází název tzv. Pickeringových emulzí. Tyto systémy mohou mít extrémně dlouhou životnost, a proto mají také značný průmyslový význam. Používají se například pro potravinářské, ale i kosmetické aplikace. Asi nejznámějším příkladem z potravinářského průmyslu je homogenizované mléko, kdy se bílkovina kasein adsorbuje na povrch tukových globulí. V kosmetickém průmyslu se často používají hydrofobizované nanočástice oxidu křemičitého [18], str. 354, 441] Částice pro stabilizaci by měly být, v porovnání s velikostí kapek, malé. V praxi se většinou používají částice, jejichž průměr je 10 až 100krát menší, než je poloměr kapky disperzní soustavy. Nejlepšího účinku je dosaženo, když kontaktní úhel částice na rozhraní olej/voda nebo olej/vzduch tvoří 90° (Obr. 12). Takové částice jsou smáčeny oběma fázemi, a tudíž dobře přiléhají na povrch kapek.



Obrázek 12: a) kapka oleje nebo bublina pěny pokrytá malými hydrofobními částicemi; b) nejlepší stabilizace je dosaženo, pokud kontaktní úhel částice na rozhraní je přibližně 90° [18], str. 356].

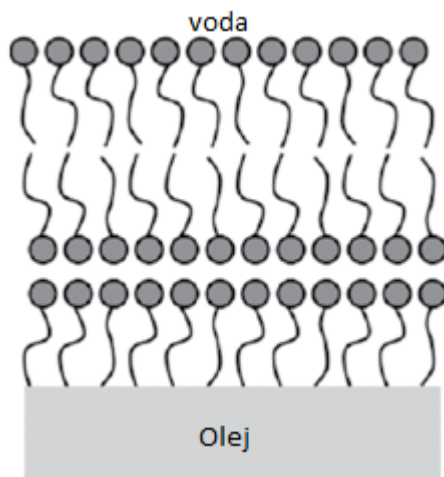
Pickeringovy emulze V/O stabilizované prostřednictvím komplexů polyfenolických komplexů a pšeničného proteinu byly studovány autory Zembyla a kol. [31]. Proteinové částice zvýšily stabilitu systémů díky jejich adsorpci na vnitřním povrchu vodných kapek.

Částice lze využít i pro stabilizaci pěn. Autoři studie [32] sledovali účinek CaCO_3 nanočástic na pěny s potenciálem využití pro procesy druhotné těžby ropy. Jak bylo zmíněno, pro optimální adsorpci na rozhraní je nutno zajistit požadovanou smáčivost. Výsledky ukázaly pozitivní vliv modifikace nanočástic prostřednictvím mastných kyselin s kratšími řetězci. Kombinace nanočástic Al_2O_3 a polyvinyl alkoholu byla využita pro stabilizaci pěn autory Dehdari a kol. [33], kteří poukázali na zásadní vliv poměru nanočástic a polymeru.

4.4 Stabilizace prostřednictvím lamelárních kapalných krystalů

Povrchově aktivní látky se mohou hromadit do vícevrstevných agregátů a vytvářet lamelární kapalně krystalové fáze (Obr. 13). Takové vícevrstevné uspořádání je velmi stabilní a může poskytovat disperze s velmi dlouhou životností. Formování lamelárních tekutých krystalů může být někdy také klíčem k přípravě emulzí nebo pěn s minimálním energetickým vstupem, tzv. spontánní emulgace.

Lamelární kapalně krystalické fáze vznikají v důsledku vyvážené interakce mezi povrchově aktivní látkou, olejem a vodou, a proto je stabilita emulzí zásadně závislá na výběru oleje [18], str. 356].



Obrázek 13: Stabilizace emulze vícevrstvou povrchově aktivní látkou, která může vytvářet lamelární kapalně krystalové fáze [18], str. 356]

4.5 Reologické vlastnosti

S ohledem na význam mezifázového filmu při určování stability emulze je velmi důležité analyzovat vztah mezi stabilitou emulze a reologickými vlastnostmi.

Jak bylo zmíněno v kapitole 2, mezi mechanismy, které vedou k destabilizaci disperzních soustav, patří často gravitační separace, krémování, flokulace, koalescence a Ostwaldovo zrání. Velkou roli hraje přidavek další stabilizační složky, ať už emulgátoru, pěnotvorného či dispergačního činidla, která významně ovlivňuje vlastnosti na rozhraní. Pro studium vlastností rozhraní jsou běžně využívány metody měření mezifázového napětí a mezifázové reologie, přičemž druhá zmíněná technika může detekovat dynamiku procesu adsorpce a strukturu adsorbovaného filmu. Například v práci [34] byly studovány dilatační reologické vlastnosti gemini surfaktantů na rozhraní dekan/voda pomocí oscilační kapkové metody. Bylo zjištěno, že vytvoření silného mezifázového filmu s velkým dilatačním modulem vede ke snížení rychlosti Ostwaldova zrání, rychlosti koalescence a rychlosti krémování, což má nakonec za následek zvýšení stability emulze.

V praxi se často využívá regulace reologických vlastností, aby byl eliminován rozdíl hustot fází, a to například zvyšováním viskozity disperzního prostředí [35]. Na trhu v dnešní době existuje celá řada komerčních aditiv, které ovlivňují reologické vlastnosti disperzních systémů. Například britská firma Elementis nabízí polymerní zahušťovadla řady RHEOLUXE® (Obr. 14) doporučená pro kosmetické přípravky, jako například krémy, lotiony, přípravky na péči o vlasy a další [36].



Obrázek 14: Struktura produktu Rheoluxe.

Produktové portfolio společnosti zahrnuje dále například hydrofilní jíly značky BENTONE®, které jsou neabrazivní a jsou doporučovány například do laků na nehty, rtěnek nebo antiperspirantů [37]. Dalším z nabízených produktů je THIXCIN®, jenž je využíván nejen jako účinné reologické aditivum, ale také stabilizuje emulze, a používá se tedy jako stabilizátor ve rtěnkách a mastech. Může být také aplikován jako suché pojivo v liso- vaných práškových systémech [37].

5 METODY HODNOCENÍ STABILITY

Obecně lze při sledování stability disperzních systémů hovořit o chemické (např. degradace obsažení aktivní látky, účinek konzervantů) a fyzikální nestabilitě. Za účelem hodnocení druhé zmíněné charakteristiky je zapotřebí porozumět základním mechanismům nestability, které byly zmíněny v kapitole 2.

Fyzikální nestabilita disperzních systémů je většinou způsobena určitým typem fyzikální fázové separace, která vede ke změnám vzhledu, konzistence, dispergovatelnosti a funkce. V kosmetických disperzních systémech patří mezi nejdůležitější změny prvních dvou kritérií, a to vzhledu a konzistence, které mají vliv na výsledné vlastnosti a funkci produktu. Fázová separace probíhá často jedním ze dvou mechanismů, koalescencí a krémováním, případně sedimentací.

Tabulka 5: Běžné podmínky testování stability disperzních soustav [38]

Podmínky skladování	Doba skladování
Okolní teplota	25 °C po dobu tří let
Zvýšená teplota	37 °C a 45 °C po dobu šesti měsíců
Lednice	Přibližně 4 °C po dobu tří měsíců
Cykly zmrazení/rozmrazení	Přibližně od -10 °C do okolní teploty
Cyklická komora	4 °C až 45 °C během 48 hodin po dobu jednoho měsíce
Světelná expozice	Expozice dennímu světlu nebo světelné komoře po dobu jednoho měsíce

Krémování a sedimentace v kapalných produktech závisí především na takových faktorech, jako jsou rozdíly v hustotě fází, objemová fázová viskozita, velikost částic, stav agregace částic a poměr fázového objemu. Na druhé straně koalescence závisí na povaze bariéry a fyzikální chemické povaze vnější fáze, která se nachází mezi částicemi, které jsou nejčastěji ve flokulované formě. Při hodnocení krémování nebo sedimentace by tedy měly být brány v úvahu faktory, které se nejvíce týkají pohybu částic a jejich struktury [24], str. 345].

Stabilitní testy probíhají za různých podmínek, v závislosti na konkrétním produktu, požadovaných vlastnostech a aplikacích. Některé vybrané podmínky testování jsou uvedeny

v Tabulce 5. Mezi běžně sledované charakteristiky disperzních systémů patří například pH, reologické vlastnosti nebo sensorické vlastnosti (Tabulka 6).

Tabulka 6: Monitorované charakteristiky disperzních soustav

Charakteristika	Metoda testování
pH	pH metr
Viskozita	Rotační viskozimetr
Tokové chování	Oscilační smyková viskozita s reometrem s kuželem / destičkou
Textura	Extenzní a kompresní deformace
Barva	Vizuální nebo kolorimetrie
Vůně	Organoleptické
Hustota	Pyknometr
Separace	Vizuální nebo instrumentální hodnocení krémové vrstvy
Vodivost	Konduktometrie
Velikost částic	Mikroskopická analýza
Konzervace	Mikrobiologická analýza
Vibrace	Třepací zařízení
Aktivita složky/složek	Chemický nebo bio test

5.1 Přístupy k hodnocení fyzikální stability

Při hodnocení stability je třeba zvážit primární cíle za účelem nastavení optimální strategie. V první řadě se většinou posuzuje fyzikální stabilita v kratším časovém období, použité techniky musí být tedy mimořádně citlivé i na nepatrné změny.

Poté následuje monitoring potenciálních dlouhodobějších kritických faktorů, které by se mohly projevit během požadované doby použitelnosti a za předpokládaných podmínek aplikace disperzního systému. Například může být produkt vystaven různým teplotám a následně testován po dobu týdnů, měsíců a dokonce let. Tento postup dostatečně vypovídá o dlouhodobé stabilitě, je ovšem časově náročnější a také nákladnější.

Třetí možností je posouzení stability za zrychlených podmínek, čímž se zkrátí doba prováděných zkoušek. Předpokládá se, že výsledky těchto zrychlených testů bude možno následně extrapolovat na běžné podmínky skladování a používání za účelem vyhodnocení dlouhodobé stability. Ve všech uvedených případech je důležité vědět, jaké mechanismy testování stability by mohly být pro sledovaný systém kritické [24], str. 345].

Pro úplnou charakterizaci vlastností disperzních systémů jsou zapotřebí tři hlavní typy zkoušek:

- Základní průzkum systému na molekulární úrovni, což vyžaduje studium struktury rozhraní, konkrétně struktury elektrické dvojvrstvy, adsorpce povrchově aktivních látek, polymerů a polyelektrolytů a organizaci adsorbovaných vrstev. Je důležité vědět, jak se každý z těchto parametrů mění s podmínkami, jako je teplota, vhodnost média pro adsorbované vrstvy a vliv přídavku elektrolytů;
- Studium chování systému v klidu, pak krémování nebo sedimentace, rychlost flokulace, Ostwaldovo zrání a koalescence. Všechny tyto jevy vyžadují přesné stanovení distribuce velikosti částic jako funkce doby skladování;
- Objemové vlastnosti systému, což je obzvláště důležité v případě koncentrovaných soustav. To vyžaduje měření rychlosti krémování/sedimentace a sledování rovnovážné výšky krémové vrstvy/sedimentu. Další kvantitativní techniky slouží k hodnocení reologických vlastností, zejména jak jsou tyto ovlivněny dlouhodobým skladováním (a to bez narušení systému, tj. bez jeho zředění a měření za podmínek nízké deformace [25], str. 173].

5.2 Posouzení struktury rozhraní

5.2.1 Hodnocení dvojvrstvy

Elektrická dvojvrstva se skládá z nabitého povrchu, který je neutralizován protionty, distribuovanými v blízkosti povrchu. Elektrická vrstva tedy obsahuje dvě části: vnitřní vrstvu, která může zahrnovat adsorbované ionty, a difúzní vrstvu, kde jsou ionty distribuovány podle vlivu elektrických sil a tepelného pohybu [16], str. 103].

Nejvhodnější metody pro testování dvojvrstvy zahrnují elektrokinetická měření a měření zeta potenciálu. V zásadě existují dvě techniky pro měření elektroforetické mobility a zeta potenciálu, a to ultramikroskopická a velocimetrická technika, která je nejpohodlnější, a navíc je rychlá a přesná. Tato metoda je vhodná pro malé částice, které podléhají Brownovu pohybu. Rozptýlené světlo malých částic bude vykazovat kolísání intenzity v důsledku Brownovy difúze (Dopplerův posun). Když světelný paprsek prochází koloidní disperzí, je v částicích indukován oscilační dipólový pohyb, čímž dochází k vyzařování světla. Díky náhodné poloze částic se intenzita rozptýleného světla v každém okamžiku jeví jako náhodná difrakce („skvrnitý“ obrazec). V důsledku Brownova pohybu částic dochází k náhodné konfiguraci a kolísání, takže čas potřebný, aby maximum intenzity dosáhlo minima (koherentní čas), odpovídá přibližně času potřebnému pro pohyb částic o jednu vlnovou délku λ . Použitím multiplikátoru aktivní plochy kolem difrakčního maxima (tj. jedné koherentní oblasti) lze tuto fluktuaci intenzity měřit. Analogový výstup je digitalizován (pomocí digitálního korelátoru) a měří se intenzita rozptýleného světla [25], str. 173].

5.2.2 Hodnocení adsorpce surfaktantu

Mechanismus adsorpce povrchově aktivních látek je klíčový pro pochopení vlivu těchto molekul na stabilitu systému. Adsorpce povrchově aktivní látky (ionické i neionické) je reverzibilní proces, který lze popsat pomocí rovnice Gibbsovy izotermy.

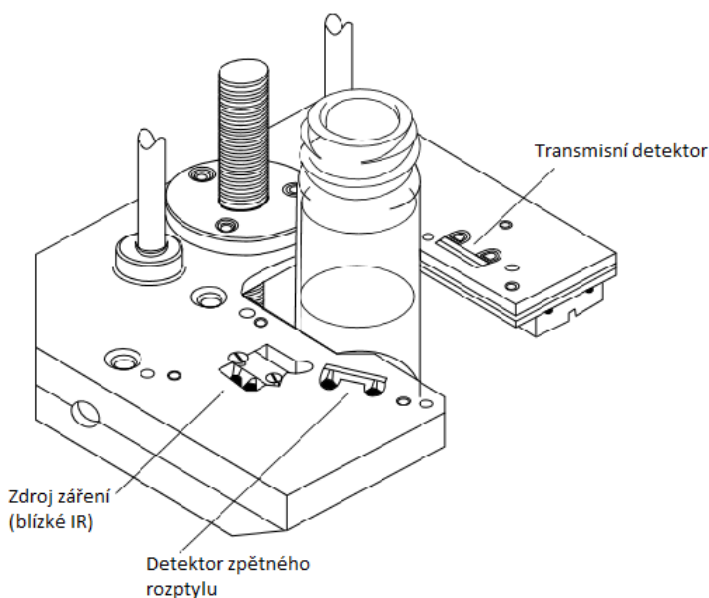
$$\Gamma = -\frac{c}{RT} \cdot \frac{dy}{dc} = -\frac{dy}{RT d \ln c} \quad (7)$$

Kde $\frac{dy}{dc}$ je míra povrchové aktivity rozpuštěné látky. Z rovnice 7 je tedy zřejmé, že pokud bude výraz $\frac{dy}{dc}$ nabývat záporných hodnot, bude adsorpce Γ kladná.

Plocha iontu nebo molekuly povrchově aktivní látky poskytuje informaci o jejich uspořádání na rozhraní, což je důležité pro stabilitu systému [25], str. 176].

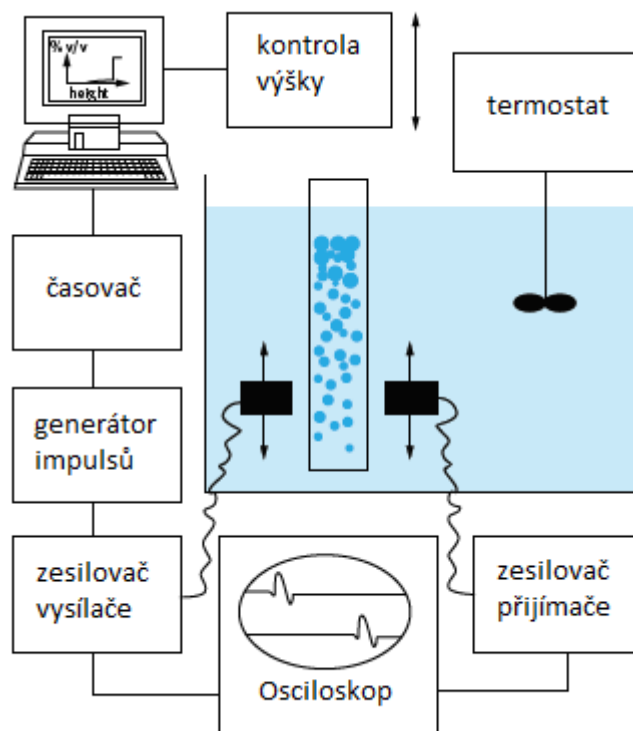
5.3 Hodnocení gravitační nestability

Mezi projevy gravitační nestability patří procesy krémování a sedimentace. Praktické měření krémování nebo sedimentace je ve většině případů ztíženo neprůsvitností disperzních soustav. Analýza rychlosti krémování nebo sedimentace vyžaduje znalost koncentrace částic v souvislosti s výškou vrstvy a časem, k čemuž lze využít metody blízké infračervenému záření (near infrared spectroscopy, NIR) za pomoci přístroje Turbiscanu (Obr. 15). Tato technika spočívá v odeslání fotonů (světla) do vzorku, z nějž po rozptýlení kapkami emulze vycházejí a jsou následně detekovány měřicím zařízením Turbiscanu.



Obrázek 15: schematické znázornění přístroje TURBISCAN [25], str. 178]

Dále lze využít ultrazvukovou metodu, při níž je ultrazvuková rychlost měřena jako funkce výšky (Obr. 16). Rychlost, kterou se ultrazvuk šíří disperzní soustavou, je komplexní funkcí objemové frakce kapek, jejich velikostí a vlastnostmi kontinuální fáze [25], str. 178].



Obrázek 16: Princip ultrazvukového monitoru [25], str. 178]

5.4 Hodnocení agregační nestability

Jak bylo zmíněno v kapitole 2, za mechanismy agregační nestability jsou považovány procesy flokulace, koalescence, nebo Ostwaldova zrání.

Nejčastěji bývá za měřítko nestability považována rychlost koalescence, tedy rychlost shlukování dvou nebo více částic do větších. Míra rychlosti koalescence může být vyjádřena rovnicí pro rychlost prvního řádu:

$$-\frac{dn}{dt} = K \quad (8)$$

kde K (s^{-1}) je konstanta rychlosti koalescence a n je počet částic v čase t ; nebo

$$n = n_0 \exp(-Kt) \quad (9)$$

kde n_0 je počet částic při $t = 0$ [25], str. 194].

Pro posouzení agregační nestability systému lze využít měření distribuce velikosti částic jako funkce času. Pro tento účel lze aplikovat různé mikroskopické techniky. Optická mikroskopie patří mezi cenné nástroje pro kvalitativní nebo kvantitativní analýzu disperzních systémů, díky níž lze získat informace o velikosti, morfologii a agregaci částic, a to s minimálním časem potřebným pro přípravu vzorku.

Dále lze zmínit elektronovou mikroskopii, která používá k osvětlení vzorku elektronový paprsek. Elektrony se chovají jako nabitě částice, které mohou být zaostřeny prstencovými elektrostatickými nebo elektromagnetickými poli obklopujícími elektronový paprsek. Kvůli velmi krátké vlnové délce elektronů rozlišovací schopnost elektronového mikroskopu překračuje schopnost optického mikroskopu asi 200krát. Používají se dva hlavní typy elektronových mikroskopů: transmisní a rastrovací (skenovací).

Za velmi užitečnou techniku pro identifikaci disperzí je považována konfokální laserová skenovací mikroskopie. Snímky jsou pořizovány prostřednictvím laserového skenování nebo pomocí počítačového softwaru k odečtení detailů ze zaostřeného obrazu. Výsledkem jsou trojrozměrné snímky, které detailně vypovídají o tvaru částic [25], str. 180].

Mezi nejpoužívanější techniky pro charakterizaci disperzí patří metody rozptylu světla. V zásadě mohou poskytnout kvantitativní informace o velikosti a tvaru částic. Jedinou nevýhodou je nutnost použití dostatečně zředěných vzorků, aby byly eliminovány rušivé elementy vedoucí k horší interpretaci výsledků, jako je například vícenásobný rozptyl. V posledních letech však byly navrženy metody zpětného rozptylu, které umožňují měření vzorku bez ředění. V zásadě lze použít jakékoli elektromagnetické záření, ale ve většině průmyslových laboratoří se používá pouze rozptyl světla pomocí laserů [25], str. 184].

ZÁVĚR

Emulze, pěny nebo suspenze nacházejí uplatnění v mnoha aplikacích. Jejich stabilita hraje klíčovou roli, a to jak pro výrobce, tak pro spotřebitele. Cílem této bakalářské práce bylo shrnout informace týkající se problematiky disperzních soustav využívaných v kosmetice, se zaměřením na aspekty spojené s jejich (ne)stabilitou.

Úvodní část zahrnuje obecnou klasifikaci disperzních soustav a stručný přehled mechanismů nejčastěji vedoucích k jejich rozpadu. S tím souvisí další kapitola, která je zaměřena na možnosti zvýšení stability, ať už jde o sterickou, elektrostatickou bariéru, či využití směsí amfifilních látek, které jsou schopny na rozhraní dispergované fáze a disperzního prostředí vytvořit kohezní stabilizační film. Poslední kapitola se věnuje metodám využívaným k hodnocení agregátní a kinetické stability disperzí, běžně sledovaným parametrům, jako je velikost částic, náboj, pH, nebo reologické vlastnosti.

Závěrem lze konstatovat, že vývoj účinné strategie k zajištění prevence nežádoucích změn disperzních systémů je stále aktuálním tématem, v němž klíčovou roli hraje pochopení souvisejících fyzikálně-chemických mechanismů destabilizace a vzájemných interakcí jednotlivých složek.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] SEDLÁŘIKOVÁ, Jana. *Chemie a technologie tenzidů II.* [online]. Fakulta technologická Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně [cit. 2020-05-08].
- [2] BARTOVSKÁ, Lidmila a Marie ŠÍŠKOVÁ. Disperzní systém. *Co je co v povrchové a koloidní chemii* [online]. Praha: VŠCHT, 2005 [cit. 2020-05-08]. Dostupné z: http://147.33.74.135/knihy/uid_es-001/hesla/disperzni_system.html
- [3] TADROS, Tharwat F. *Applied surfactants: principles and applications.* Weinheim: Wiley-VCH, 2005. ISBN 3-527-30629-3.
- [4] *Leonor Greyl: Paris* [online]. [cit. 2020-05-20]. Dostupné z: <https://www.leonor-greyl-usa.com/store/mousse-au-lotus-volumatrice/>
- [5] TADROS, Tharwat. F. *Emulsion science and technology.* Weinheim: Wiley-VCH, 2009, xviii, ISBN 9783527325252.
- [6] BRUMMER, Rüdiger. *Rheology essentials of cosmetic and food emulsions.* Berlin: Springer, 2006. ISBN 3-540-25553-2.
- [7] *BB cream* [online]. [cit. 2020-05-20]. Dostupné z: <https://www.bb-cream.cz/product/category/pletove-kremy/36/skin79-pletova-emulze-jeju-aloe-aqua-emu/311>
- [8] MYERS, Drew. *Surfactant science and technology.* 3rd ed. Hoboken, N.J.: J. Wiley, c2006, xvi, 380 s. ISBN 0471680249.
- [9] GOODWIN, Jim W. *Colloids and interfaces with surfactants and polymers: an introduction.* Chichester: John Wiley, 2004. ISBN 0-470-84143-5
- [10] KONTOGEOORGIS, Georgios M. a Søren KIIL. *Introduction to applied colloid and surface chemistry.* Chichester: Wiley, 2016, xix, 367 s. ISBN 9781118881187
- [11] *Profi Hadry* [online]. [cit. 2020-05-20]. Dostupné z: <https://www.profi-hadry.cz/isofa-gel-myci-suspenze-na-ruce-500g-click-go>
- [12] MITSUI, Takeo. *New cosmetic science.* Amsterdam: Elsevier Science, 1997, 1 online zdroj (xxi, 499 pages). ISBN 9780080537498. Dostupné také z: <http://www.sciencedirect.com/science/book/9780444826541>

- [13] *Amazon* [online]. [cit. 2020-05-20]. Dostupné z: <https://www.amazon.co.uk/Dove-Original-Aerosol-Anti-Perspirant-Deodorant/dp/B00P7PD7F8>
- [14] MCCLEMENTS, D. J. *Food emulsions: principles, practices, and techniques*. 2nd ed. Boca Raton: CRC Press, c2005, 609 s. CRC series in contemporary food science. ISBN 0849320232.
- [15] Emulsion Stability: Strong and Stable or Weak and Feeble. In: *Centre for industrial rheology* [online]. [cit. 2020-05-16]. Dostupné z: <https://www.rheology-lab.com/articles/emulsion-stability/>
- [16] AL-SHANNAQ, Refat, Jamal KURDI, Shaheen AL-MUHTASEB, Michelle DICKINSON a Mohammed FARID. Supercooling elimination of phase change materials (PCMs) microcapsules. *Energy* [online]. 2015, **87**, 654-662 [cit. 2020-05-16]. DOI: 10.1016/j.energy.2015.05.033. ISSN 03605442. Dostupné z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0360544215006143>
- [17] SCHRAMM, Laurier Lincoln. *Emulsions, foams, and suspensions: fundamentals and applications*. Weinheim: Wiley-VCH, 2005. ISBN 3-527-30743-5.
- [18] KRONBERG, Bengt, Krister HOLMBERG a Björn LINDMAN. *Surface chemistry of surfactants and polymers*. Chichester: Wiley, 2014. ISBN 978-1-119-96124-6.
- [19] PETSEV, D.N., ed. *Emulsions: Structure Stability and Interactions*. Department of Chemical and Nuclear Engineering, University of New Mexico, Albuquerque, USA: Elsevier, 2004. ISBN 0-12-088499-2
- [20] LEAL-CALDERON, Fernando, SCHMITT, Véronique, BIBETTE, Jérôme. *Emulsion Science. Basic Principles*. 2nd ed. Springer, 2007, ISBN 978-0-387-39682-8.
- [21] TADROS, Tharwat F., ed. *Emulsion Formation and Stability* [online]. Weinheim, Germany: Wiley-VCH Verlag GmbH & Co., 2013 [cit. 2020-05-20]. DOI: 10.1002/9783527647941. ISBN 9783527647941
- [22] ROSEN, Milton J. *Surfactants and interfacial phenomena*. 3rd ed. Hoboken: Wiley-Interscience, 2004. ISBN 0471478180.
- [23] FARN, Richard J. *Chemistry and technology of surfactants*. Oxford: Blackwell Publishing, 2006. ISBN 1-4051-2696-5

- [24] ZOGRAFI, George D. Physical stability assessment of emulsions and related disperse systems: A critical review. *Journal of the Society of Cosmetic Chemists* [online]. 1982 [cit. 2020-05-08]. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/239554720_Physical_stability_assessment_of_emulsions_and_related_disperse_systems_A_critical_review
- [25] TADROS, Tharwat. *Emulsions: Formations, Stability, Industrial Application* [online]. Berlin: de Gruyter, 2016 [cit. 2020-05-16]. ISBN 978-3-11-045224-2.
- [26] MO, Songping, Xuefeng SHAO a Ying CHEN. Increasing entropy for colloidal stabilization. *Scientific reports* [online]. 2016 [cit. 2020-05-08]. Dostupné z: <https://www.readkong.com/page/rheological-additives-in-cosmetics-3147008?p=1>
- [27] MCCLEMENTS, David Julian a Seid Mahdi JAFARI. Improving emulsion formation, stability and performance using mixed emulsifiers: A review. *Advances in Colloid and Interface Science* [online]. Elsevier, 2018, 2018, 251 [cit. 2020-05-08]. Dostupné z: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0001868617303196?fbclid=IwAR1F06tGqjnw341ZIZlxMfF4Cm-XOfzFjC8Ipn2yZ_vXojkcFvpLKxqIXw4
- [28] PIAO, Longhai, Kyung-hoon LEE a Wonjong KWON. The simple and facile methods to improve dispersion stability of nanoparticles: Different chain length alkylcarboxylate mixtures. *Journal of Colloid and Interface Science* [online]. 2009, 2009, 334(2) [cit. 2020-05-08]. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com.proxy.k.utb.cz/science/article/pii/S0021979709003440>
- [29] MOHAMADI IR, Iman, Saeid AZIZIAN a Nima NOEI. Study of O/W emulsion stability in presence of SDS and graphitic carbon nitride (g-C₃N₄) nanosheets. *Journal of Colloid and Interface Science* [online]. 2020, 2020, 586(5) [cit. 2020-05-08]. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com.proxy.k.utb.cz/science/article/pii/S0927775719311847>
- [30] VILASAU, Jon. Stability of oil-in-water paraffin emulsions prepared in a mixed ionic/nonionic surfactant system. *Colloids and Surfaces A Physicochemical and Engineering Aspects*. 2011, 389, 1-3.

- [31] ZEMBYLA, Morfo, Aris LAZIDIS, Brent S. MURRAY a Anwasha SARKAR. Stability of water-in-oil emulsions co-stabilized by polyphenol crystal-protein complexes as a function of shear rate and temperature. *Journal of Food Engineering* [online]. 2020, **281** [cit. 2020-05-20]. DOI: 10.1016/j.jfoodeng.2020.109991. ISSN 02608774. Dostupné z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0260877420300893>
- [32] SULEYMANI, Muhammad, Cyrus GHOTBI, Siavash ASHOORI, Jamshid MOGHADASI a Riyaz KHARRAT. Theoretical and experimental study of foam stability mechanism by nanoparticles: Interfacial, bulk, and porous media behavior. *Journal of Molecular Liquids* [online]. 2020, **304** [cit. 2020-05-20]. DOI: 10.1016/j.molliq.2020.112739. ISSN 01677322. Dostupné z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0167732219361124>
- [33] DEHDARI, Behnam, Rafat PARSAEI, Masoud RIAZI, Nima REZAEI a Sohrab ZENDEHBOUDI. New insight into foam stability enhancement mechanism, using polyvinyl alcohol (PVA) and nanoparticles. *Journal of Molecular Liquids* [online]. 2020, **307** [cit. 2020-05-20]. DOI: 10.1016/j.molliq.2020.112755. ISSN 01677322. Dostupné z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0167732219366425>
- [34] LEI, Jinmei, Yuxia GAO a Yuea MA. Improving the emulsion stability by regulation of dilational rheology properties. *Journal of Colloid and Interface Science*. 2019, **583**
- [35] MORAVKOVA, Tereza a Petr FILIP. The Influence of Thickeners on the Rheological and Sensory Properties of Cosmetic Lotions. *Acta Polytechnica Hungarica* [online]. 2014, **11(6)** [cit. 2020-05-20]. DOI: 10.12700/APH.11.06.2014.06.11. ISSN 17858860. Dostupné z: http://www.uni-obuda.hu/journal/Moravkova_Filip_52.pdf
- [36] RHEOLUXE® 880. In: *Prospector* [online]. [cit. 2020-05-08]. Dostupné z: <https://www.ulprospector.com/en/la/PersonalCare/Detail/2560/224072/RHEOLUXE-880><https://www.readkong.com/page/rheological-additives-in-cosmetics-3147008?p=1>

- [37] COX, Katie. Rheological Additives in Cosmetics. *Readkong* [online]. [cit. 2020-05-08]. Dostupné z: <https://www.readkong.com/page/rheological-additives-in-cosmetics-3147008?p=1>
- [38] LB, Naves, Luis ALMEIDA, Maria MARQUES, Graça SOARES a Seeram RAMAKRISHNA. Emulsions Stabilization for Topical Application. *Biomaterials and Medical Application* [online]. 2017 [cit. 2020-05-16]. Dostupné z: https://www.scitechnol.com/peer-review/emulsions-stabilization-for-topical-application-vkzw.php?article_id=6742
- [39] Emulsion Stability and Testing. *Health* [online]. USA: Lubrizol Life Science, 2019 [cit. 2020-05-08]. Dostupné z: <https://lubrizolcdmo.com/wp-content/uploads/2020/01/TB-21-Emulsion-Stability-and-Testing.pdf>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

®	Registrovaná ochranná známka
CMC	Kritická micelární koncentrace
HLB	Hydrofilně lipofilní rovnováha
NIR	Blízké infračervené záření
nm	Nanometr
O/O	Olejová fáze ve fázi olejové
O/V	Olejová fáze ve fázi vodné
PAL	Povrchově aktivní látka
PIT	Teplota fázové inverze
S	Harkinsův rozestírací koeficient
V/O	Vodná fáze ve fázi olejové
μm	Mikrometr

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1: Struktura (a) málo koncentrované a (b) suché pěny [3, str. 261].....	12
Obrázek 2: Stylingová vlasová pěna Leonor Greyl [4]	13
Obrázek 3: Plet'ová emulze Jeju Aloe Aqua [7]	14
Obrázek 4: Mycí suspenze na ruce [11].....	16
Obrázek 5: Antiperspirant DOVE [13].....	17
Obrázek 6: Příklady mechanismů rozpadu disperzních systémů [15].....	18
Obrázek 7: Vzhled emulze stabilizované jedním surfaktantem a) v den přípravy, b) po jednom dni [16].	19
Obrázek 8: Mechanismy (a) koagulace a (b) flokulace [18, str. 339]	20
Obrázek 9: Gibbs-Marangoniho efekt při střední koncentraci PAL: (a) původní film, (b) lokální ztenčení filmu a zvýšení povrchového napětí ve střední části, (c) gradient napětí vyvolá zpětný tok kapaliny s molekulami PAL do střední části, (d) obnovení povrchového filmu [3, str. 269].	27
Obrázek 10: Elektrostatická a sterická stabilizace disperzních částic [18, str. 356]. .	29
Obrázek 11: (1) čerstvě připravené emulze O/V s obsahem SDS (a) bez nitridu uhlíku a (b-e) se zvyšující se koncentrací nitridu uhlíku; (2) vzorky po 65 dnech [29].	31
Obrázek 12: a) kapka oleje nebo bublina pěny pokrytá malými hydrofobními částicemi; b) nejlepší stabilizace je dosaženo, pokud kontaktní úhel částice na rozhraní je přibližně 90 ° [18, str. 356].	32
Obrázek 13: Stabilizace emulze vícevrstvou povrchově aktivní látkou, která může vytvářet lamelární kapalně krystalné [18, str. 356].....	33
Obrázek 14: Struktura produktu Rheoluxe.	34
Obrázek 15: schematické znázornění přístroje TURBISCAN [25, str. 178].....	39
Obrázek 16: Princip ultrazvukového monitoru [25, str. 178].....	40

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1: Typy disperzních systémů [2].....	11
Tabulka 2: Klasifikace emulzí [5, str. 2]	14
Tabulka 3: Rozsahy hodnot HLB a jejich použití.....	24
Tabulka 4: Skupinové hodnoty HLB	25
Tabulka 5: Běžné podmínky testování stability disperzních soustav [38].....	35
Tabulka 6: Monitorované charakteristiky disperzních soustav	36