

# Čajový saponin jako surfaktant

Karolína Jelínková

---

Bakalářská práce

2023



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta technologická

---

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

Akademický rok: 2022/2023

# ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Karolína Jelínková**  
Osobní číslo: **T20498**  
Studijní program: **B0711A130009 Materiály a technologie**  
Specializace: **Biomateriály a kosmetika**  
Forma studia: **Kombinovaná**  
Téma práce: **Čajový saponin jako surfaktant**

## Zásady pro vypracování

Student rozepíše postupně tyto teoretické okruhy mající vzat tenzidům získatelných z obnovitelných zdrojů s důrazem na čajový saponin – saponiny jako rostlinné tenzidy, chemické struktury saponinů, povrchové vlastnosti saponinů v roztocích. V praktické části bude student stanovovat povrchové napětí čajového saponinu v roztoku, pěnivost a kritickou micelární koncentraci.

Stanovené parametry porovná mezi sebou a ke vztahu ke komerčním tenzidům.

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

Seznam doporučené literatury:

- [1] KJELLIN M. a JOHANSSON I. *Surfactants from Renewable Resources*. John Wiley & Sons Inc, Verlag, ISBN 978-0-470-76041-3.
- [2] FENG J., CHEN Y., LIU X. a LIU S. Efficient improvement of surface activity of tea saponin through Gemini-like modification by straightforward esterification. *Food Chemistry*. 2015, **171**, 272–279. DOI: 10.1016/j.foodchem.2014.08.125.
- [3] LIU Z., LI Z., ZHONG H. a kol. Recent advances in the environmental applications of biosurfactant saponins: A review. *Journal of Environmental Chemical Engineering*. 2017, **5**(6), 6030–6038. ISSN 22133437. DOI:10.1016/j.jece.2017.11.021.
- [4] BÖTTCHER S. a DRUSCH S. Interfacial Properties of Saponin Extracts and Their Impact on Foam Characteristics. *Food Biophysics*. 2016, **11**(1), 91–100. DOI:10.1007/s11483-015-9420-5.

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

Datum zadání bakalářské práce: **1. února 2023**  
Termín odevzdání bakalářské práce: **19. května 2023**

• L.S.

---

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

---

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

## 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: 5. 5. 2023

Jméno a příjmení studenta: KAROLÍNA JELÍNKOVÁ

.....  
podpis studenta

## **ABSTRAKT**

Tato bakalářská práce se zabývá možnými zdroji tenzidů získatelných z obnovitelných zdrojů se zaměřením na čajový saponin. Cílem práce je shrnout chemické struktury a povrchové vlastnosti tenzidů, a zároveň se zamyslet nad možností využití tenzidů přírodních. Praktická část bakalářské práce se soustředí na porovnání vlastností, jako je pěnivost a povrchové napětí. Tyto fyzikální vlastnosti byly stanovovány u roztoku čajového saponinu o různých koncentracích a následně srovnávány s ostatními tenzidy (SDS, kokosové mýdlo).

Klíčová slova: čajový saponin, přírodní zdroje saponinů, chemické struktury saponinů, využití saponinů, porovnání rostlin, tenzidy, kritická micelární koncentrace, hydrofilně-lipofilní rovnováha, povrchové napětí, pěnivost, stanovení pěnivosti

## **ABSTRACT**

This bachelor thesis focuses on possible sources of tensides obtainable from renewable sources with emphasis on tea saponin. The objective of the thesis is to summarize the chemical structures and surface properties of tensides, while considering the possibility of using natural tensides. The practical part of the bachelor thesis includes a comparison of properties such as foaming and surface tension. These physical properties were determined for tea saponin solution of different concentrations and then compared with other tensides (SDS, coconut soap).

Keywords: tea saponin, natural sources of saponins, chemical structures of saponins, uses of saponins, plant comparisons, tensides, critical micellar concentration, hydrophilic-lipophilic equilibrium, surface tension, foaminess, determination of foaminess

## Poděkování

Ráda bych zde poděkovala Ing. Ondřeji Rudolfovi, Ph.D., vedoucímu mé bakalářské práce, za vedení, zájem, rady, připomínky a čas, který mi věnoval při řešení dané problematiky. V neposlední řadě také děkuji společnosti BEWIT FRANCHISE, s.r.o. za poskytnutí čajového saponinu.

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

## OBSAH

ÚVOD.....	8
<b>I TEORETICKÁ ČÁST .....</b>	<b>9</b>
<b>1 TENZIDY.....</b>	<b>10</b>
<b>2 ZÁKLADNÍ ROZDĚLENÍ TENZIDŮ .....</b>	<b>11</b>
2.1 ANIONICKÉ TENZIDY .....	11
2.2 KATIONICKÉ TENZIDY .....	12
2.3 AMFOTERNÍ TENZIDY .....	12
2.4 NEIONICKÉ TENZIDY.....	13
<b>3 ZÁKLADNÍ PARAMETRY PAL .....</b>	<b>14</b>
3.1 KRITICKÁ MICELÁRNÍ KONCENTRACE .....	14
3.2 HLB.....	15
3.3 DALŠÍ VLASTNOSTI PAL .....	16
<b>4 SAPONINY OBECNĚ .....</b>	<b>17</b>
4.1 CHEMICKÉ A MOLEKULÁRNÍ VLASTNOSTI SAPONINŮ.....	18
4.2 ZDROJE SAPONINŮ.....	21
4.3 SAPONINY JAKO EMULGÁTORY A POVRCHOVĚ AKTIVNÍ LÁTKY.....	23
4.4 SROVNÁNÍ JEDNOTLIVÝCH ROSTLIN .....	24
4.5 VYUŽITÍ SAPONINŮ V MINULOSTI .....	25
4.6 VYUŽITÍ SAPONINŮ DNES.....	25
<b>5 ČAJOVÝ SAPONIN .....</b>	<b>28</b>
5.1 VYUŽITÍ ČAJOVÉHO SAPONINU V PRAXI.....	28
5.2 ZJIŠTĚNÍ VĚDCŮ A POKUSY .....	29
<b>II PRAKTICKÁ ČÁST.....</b>	<b>31</b>
<b>6 PŘÍPRAVA POTŘEBNÝCH ROZTOKŮ A CHEMIKÁLIÍ.....</b>	<b>32</b>
<b>7 STANOVENÍ POVRCHOVÉHO NAPĚTÍ.....</b>	<b>33</b>
<b>8 TEST PĚNIVOSTI I – TŘEPACÍ TEST .....</b>	<b>41</b>
<b>9 TEST PĚNIVOSTI II – TEST VYPOUŠTĚCÍ .....</b>	<b>47</b>
<b>10 TEST PĚNIVOSTI III .....</b>	<b>53</b>
<b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....</b>	<b>63</b>
<b>SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....</b>	<b>64</b>
<b>SEZNAM OBRÁZKŮ .....</b>	<b>65</b>
<b>SEZNAM TABULEK.....</b>	<b>67</b>

## ÚVOD

Jako téma bakalářské práce jsem zvolila využití čajového saponinu jako surfaktantu. Surfaktant neboli tenzid je povrchově aktivní látka, která snižuje povrchové napětí. Každá povrchově aktivní látka má charakteristickou strukturu, díky které může ovlivňovat děje probíhající na rozhraní dvou fází. Tohoto děje je v praxi využíváno například při mytí nádobí (odmašťování) nebo praní prádla (odstraňování skvrn).

V rostlinné říši se nachází mnoho zástupců, v jejichž strukturách jsou obsaženy saponiny. Při smíchání saponinu s vodou dochází k tvorbě pěny, což poukazuje na to, že je látka surfaktantem. Kromě čajového saponinu za zmínku stojí Mydlice lékařská nebo Mýdlový ořech. Aktivní látky, saponiny, jsou obsaženy především v kořenech, výhoncích, semenech a kůře rostlin.

V minulosti byly rostliny obsahující saponiny hojně využívány pro potřeby hygieny, mytí či praní. Ovšem s rostoucí populací a rozvojem technologií byly tyto přírodní zdroje nahrazeny syntetickými produkty. V dnešní době se ale část populace přiklání k přírodním zdrojům a hledá možné alternativy ke komerčním přípravkům.

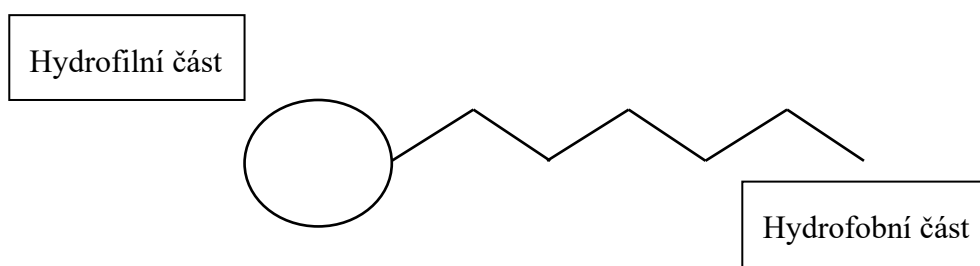


## **I. TEORETICKÁ ČÁST**

## 1 TENZIDY

Tenzidy jsou povrchově aktivní látky (PAL), které snižují povrchové napětí na rozhraní dvou fází. [5] Tato schopnost tenzidů ovlivňovat energetické poměry na rozhraní dvou fází je dána jejich specifickými chemickými a fyzikálními vlastnostmi. [5]

Pro PAL je charakteristická amfipatická struktura. To znamená, že jedna molekula obsahuje jak hydrofilní, tak hydrofobní část. Hydrofobní část je složena většinou z uhlíkového řetězce, který je buď lineární, nebo rozvětvený a sestává se až z 18 i více uhlíků. Hydrofilní část molekuly bývá označována jako hlavička, a právě tato část interaguje s polárním rozpouštědlem, nejčastěji vodou. [5]



Obrázek 1: Základní struktura PAL<sup>1</sup>

Pokud se tenzid nachází v polárním prostředí (rozpouštědlem je voda), pak se hydrofobní část snaží zaujmout takové uspořádání, aby co nejvíce zamezila styku s rozpouštědlem. Hydrofilní část molekuly má naopak velkou afinitu k polárnímu rozpouštědлу a orientuje se naopak do vodného prostředí. [5]

Molekuly PAL běžně difundují na fázové rozhraní, tím se vytváří povrchový film a současně dochází k poklesu povrchového napětí. Při tomto procesu dochází k adsorpci na pohyblivém či nepohyblivém fázovém rozhraní. Pohyblivé fázové rozhraní tvoří kapalina – plyn nebo kapalina – kapalina a nepohyblivé se vytváří na styku tuhá fáze – kapalina. [5]

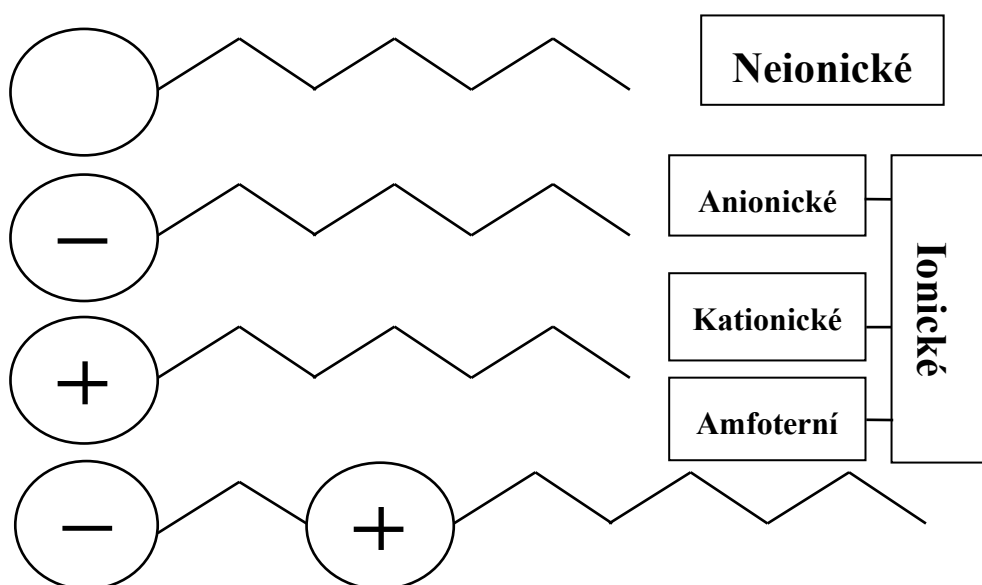
Pokud se v roztoku zvyšuje koncentrace PAL, pak při určité koncentraci dojde k tvorbě micel. Micely jsou považovány za nadmolekulární celky vzniklé spontánní asociací molekul PAL. [5]

---

<sup>1</sup> PAL – povrchově aktivní látka/y

## 2 ZÁKLADNÍ ROZDĚLENÍ TENZIDŮ

Tenzidy lze dělit na základě několika kritérií – nejčastěji podle typu hydrofilní/hydrofobní části, podle HLB, podle aplikace aj. Nejčastěji se setkáváme s rozdělením tenzidů podle charakteru hydrofilní složky, tzn. podle schopnosti disociovat na ionty. Rozlišujeme dvě hlavní skupiny: neionické a ionické tenzidy, které se dále dělí na anionické, kationické a amfoterní. [5]



Obrázek 2: Základní rozdělení tenzidů [5]

### 2.1 Anionické tenzidy

Jedná se o skupinu tenzidů, které ve vodném prostředí disociují na záporně nabitý organický anion, který je povrchově aktivní, a neaktivní kation. Anionické tenzidy jsou nejvíce aktivní v mírně alkalickém prostředí a patří mezi látky s nejúčinnějšími detergenčními schopnostmi. Řadíme sem soli karboxylových kyselin – mýdla ( $\text{RCOO}^- \text{M}^+$ ); Alkylsulfáty (alkylsírany)  $\text{ROSO}_3^- \text{M}^+$ ; Sulfonáty  $\text{RSO}_3^- \text{M}^+$ ; Estery kyseliny fosforečné (fosfáty)  $\text{ROPO}_3^- \text{M}^+$ . [5 s. 151–188]

Soli karboxylových kyselin je skupina látek se středně vysokou povrchovou aktivitou. Jejich funkce je nižší v kyselém prostředí, jelikož dochází k potlačení disociace organické kyseliny. V tvrdé vodě mohou tvořit málo rozpustné sraženiny vlivem přítomnosti vápenatých či hořečnatých iontů, které se usazují na povrchu a nejsou povrchově aktivní.

[5 s. 151–188] Těmto PAL se běžně říká mýdla. Vyrábí se procesem zmýdelnění neboli saponifikací rostlinných olejů a živočišných tuků nebo neutralizací mastných kyselin. [5 s. 89–90]

Alkylsulfáty jsou soli alkylesterů kyseliny sírové, které na rozdíl od mýdel (solí karboxylových kyselin) vykazují vysokou povrchovou aktivitu i v kyselém prostředí. Sulfátová skupina se nachází na konci řetězce a může snadno podléhat hydrolyze. Sodné soli alkylsulfátů mají své uplatnění jako součást pracích prostředků, kdy je jejich prací účinnost nejvyšší při pH 8–10. Naopak v neutrálním prostředí je lze použít jako změkčovadla. Příkladem je lauryl sulfát sodný (SDS). [5 s. 151–188]

Sulfonáty neboli sulfonátové tenzidy se používaly již za první světové války díky svým smáčecím schopnostem. [5 s. 151–188]

Výhodou esterů kyseliny fosforečné je snadná rozpustnost ve vodě a jiných organických rozpouštědlech. V dnešní době se ale od používání detergentů s obsahem fosfátů ustupuje kvůli ekologickým aspektům. [5 s. 151–188]

## 2.2 Kationické tenzidy

Jedná se o sloučeniny, které obsahují jednu či více funkčních skupin a ve vodném prostředí disociují na kladně nabitě ionty. Kationické tenzidy se uplatňují především v dezinfekčních přípravcích. Díky schopnosti tenzidu silně adsorbovat na povrch mikroorganismu a následně narušit jeho metabolické funkce dochází k zániku mikroorganismu. Kationické tenzidy se uplatňují i v textilním průmyslu v avivážích, kde zastávají funkci změkčovadel. V kosmetice se s nimi setkáme ve formě kondicionérů na vlasy. [5 s. 191–199]

Mezi kationické tenzidy patří alkylaminy s nízkou povrchovou aktivitou; soli kvartérních amoniových zásad, které jsou z kationických tenzidů nejpoužívanější; soli pyridiniových zásad s vysokou povrchovou aktivitou. [5 s. 191–199]

## 2.3 Amfoterní tenzidy

Pro amfoterní tenzidy je typická přítomnost dvou hydrofilních skupin – kyselá a zásaditá, díky kterým má molekula amfoterní charakter v závislosti na pH prostředí, ve kterém se

nachází. Aniontem je karboxylová skupina nebo sulfoskupina a kationtem je alkylamoniová nebo kvartérní amoniová skupina. Mezi amfoterní tenzidy řadíme aminokyseliny, betainy, aminosulfokyseliny, sulfobetainy a aminosy. [5 s. 201–218]

Rozlišujeme zpravidla dvě hlavní skupiny – klasické amfolytické a zwitterionické tenzidy. [5 s. 201–218] U klasických amfolytických tenzidů je náboj kyselý i bazický skupiny závislý na pH prostředí. V kyselém prostředí se chovají jako kationické tenzidy a v zásaditém prostředí přebírají chování anionických tenzidů. V neutrálním prostředí jsou málo rozpustné ve vodě, mají minimální detergenční účinnost a malé smáčecí a pěnicí schopnosti. [5 s. 201–218]

Zwitterionické tenzidy mají kladný náboj při všech hodnotách pH prostředí. Pokud je pH okolního prostředí příliš nízké, kyselá (karboxylová) skupina ztrácí náboj a nedochází k disociaci. [5 s. 201–218]

## 2.4 Neionické tenzidy

Neionické tenzidy představují velmi rozšířenou skupinu látek, které ve vodném prostředí nedisociují. Funkční skupiny (aminoskupiny, etherické a hydroxylové skupiny) nacházející se v molekule mají vysokou afinitu k vodě, což umožňuje jejich rozpustnost ve vodném prostředí. Neionické tenzidy jsou obsaženy v řadě produktů, se kterými se setkáváme každý den: šampony, pleťové krémy, zubní pasty aj. [5 s. 219–243]

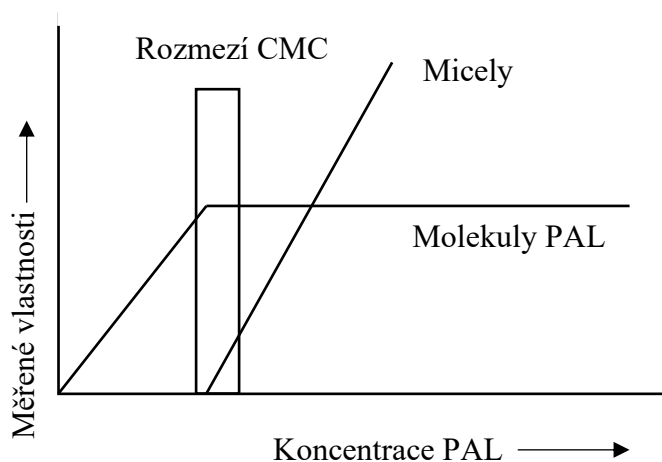
Do skupiny neionických tenzidů patří ethoxyláty vyšších mastných alkoholů a ethoxyláty esterů mastných kyselin, které se používají jako základní tenzidy pro práci prášky. Dále sem řadíme ethoxyláty alkylfenolů (čisticí prostředky), kopolymery ethylenoxidu a propylenoxidu, ethoxyláty sorbitolových esterů s mastnými kyselinami, cocamidy aj. [5 s. 219–243]

### 3 ZÁKLADNÍ PARAMETRY PAL

#### 3.1 Kritická micelární koncentrace

Kritická micelární koncentrace neboli zkráceně CMC vyjadřuje charakteristické množství PAL v roztoku, nad kterým dochází k asociaci molekul rozpuštěné látky ve větší celky – micely. Micely jsou shluky molekul povrchově aktivních látek dispergované v kapalném médiu. [5]

Molekuly PAL se mohou vyskytovat v různém uspořádání, záleží na jejich koncentraci v roztoku. Pokud jsou molekuly PAL obsaženy v roztoku v nízkých koncentracích, pak dochází k tvorbě povrchového filmu. Tento povrchový film orientuje svůj hydrofobní řetězec směrem do plynné fáze a hydrofilní část směřuje do rozpouštědla. [5]



Obrázek 3: Závislost koncentrace jednotlivých uspořádání molekul PAL na měřených vlastnostech

Po dosažení CMC dochází vlivem hydrofobních interakcí mezi nepolárními řetězci k tvorbě micel. Micely mohou zaujímat různé uspořádání v prostoru. Nejčastěji se setkáváme se sférickým (kulovitým) tvarem, ale mohou také vytvářet válce, dvojvrstvy či laminární uspořádání. [5]

Kritická micelární koncentrace je ovlivněna hned několika různými faktory – strukturou PAL, teplotou, tlakem a iontovou silou. S délkou řetězce povrchově aktivní látky klesá CMC. S narůstajícím počtem dvojných vazeb a rozvětvením řetězce CMC roste. Hydrofobní

charakter molekuly PAL snižuje kritickou micelární koncentraci, ale naopak hydrofilní charakter molekuly PAL ji zvyšuje. U ionických tenzidů s rostoucí teplotou roste i CMC, ale u neionických se s rostoucí teplotou CMC snižuje. [5]

### 3.2 HLB

Zkratka HLB je označení hydrofilně-lipofilní rovnováhy (z angličtiny hydrofobic-lipofilic balance). Vlastnosti tenzidů jsou z velké části ovlivněny poměrem velikosti hydrofilní a hydrofobní části molekuly. Hydrofilně-lipofilní rovnováha pak udává míru vyváženosti hydrofilní a lipofilní části molekuly. Hodnota HLB určuje praktické využití tenzidů, proto ji řadíme mezi hlavní kritéria klasifikace. Výsledná hodnota HLB je dána součtem HLB hodnot všech skupin, které se nachází ve struktuře daného tenzidu. Existuje hned několik vztahů, které se dají použít pro výpočet HLB. Nejčastěji se v praxi setkáváme s Griffinovým vztahem:  $HLB = \sum (HLB_{hydrofil}) - \sum (HLB_{hydrofob}) + 7$ . [7]

*Tabulka 1: Možnosti praktického využití tenzidů v závislosti na hodnotě HLB*

Vzhled disperze	HLB	Použití	
Netvoří stabilní disperzi ve vodě	0	Emulgátory V/O	
	2		
	4		
	6		
Mlékovitá nestabilní disperze	8	Smáčedla	Emulgátory O/V
Mlékovitá stabilní disperze	10		
	12	Detergenty	
Čiré disperze	14		
	16	Solubilizátory	
	18		

Tabulka 2: Hodnoty HLB u jednotlivých funkčních skupin

Skupina	HLB	Skupina	HLB
-SO <sub>4</sub> Na	38,7	-CH-	0,475
-COOK	21,1	-CH <sub>2</sub> -	0,475
-COONa	19,1	-CH <sub>3</sub>	0,475
-O-SO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	11,0	-CH=	0,475
Terciální amin	9,4	-(CH <sub>2</sub> -CH <sub>2</sub> -O) -	0,33
-COO-R (sorbitan)	6,8		
-COO-R	2,4		
-COOH	2,1		
-OH	1,9		
-O-	1,3		

Na základě hodnoty HLB můžeme předpovídat chování PAL v roztoku a zohlednit to při použití v praxi. Čím je hodnota HLB vyšší, tím je emulze více hydrofilní, a naopak čím je HLB nižší, tím je emulze hydrofobnější. [5]

### 3.3 Další vlastnosti PAL

Rozpustnost tenzidů je považována za jednu z nejdůležitějších vlastností, je ovlivněna především strukturou hydrofilní a hydrofobní části molekuly. Rozpustnost je dále závislá na teplotě, avšak vliv teploty je jiný u ionických a neionických tenzidů. Pro využití tenzidů v komerčních kapalných přípravcích je nutné, aby byly tenzidy dostatečně rozpustné, a prostředek tak mohl být ve formě koncentrátu (např. prostředek na mytí nádobí). [5 s. 45]

Pěnivost tenzidů je další z charakteristických vlastností tenzidů. Se zvyšující se koncentrací tenzidu, do dosažení hodnoty CMC, se zvyšuje objem pěny. Po dosažení CMC je ve většině případů objem i stabilita pěny konstantní. [5 s. 55]



## 4 SAPONINY OBECNĚ

Saponiny jsou přirozeně se vyskytující PAL, které nalezneme v různých tkáních velkého počtu rostlinných druhů. [4] Se saponiny se nejčastěji setkáváme u nahosemenných rostlin, ale vyskytují se i u některých kapradin (druhy rodu *Polypodium* a *Cyclamen*), v řasách a v nižších mořských rostlinách či mořských organismech. [4] Saponiny se nachází především v rostlinných tkáních, které jsou nejzranitelnější vůči napadení houbami, bakteriemi, býložravci nebo hmyzem, a slouží rostlině jako chemická obrana. [3] Nejvyšší koncentrace saponinů je v kořenech, výhoncích, semenech a kůře. [4] Jejich charakteristickým znakem je tvorba mýdlové pěny při smíchání s vodou a následným protřepáním. [4] Na základě tohoto charakteristického znaku, dostala spousta rostlin svůj název: mýdlová rostlina (*Chlorogalum pomeidianum*), mýdlová kůra (*Quillaja saponaria*), mydlíce lékařská (*Saponaria officinalis*), mýdelník pravý (*Sapindus saponaria*) nebo mýdlový ořech (*Sapindus mukurossi*). [4]

Tabulka 3: Nejvyšší stanovená koncentrace saponinů [8]

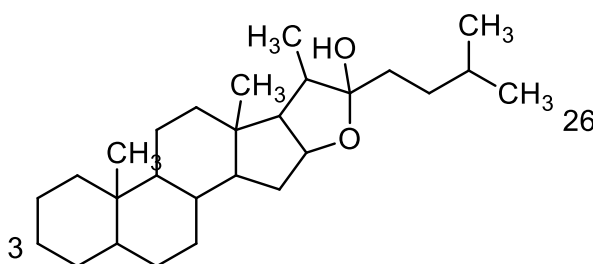
Nejvyšší stanovená koncentrace saponinů			
Část rostliny	Obsah saponinů	Latinský název	Český název
Výhonky	12 %	<i>Agave sisalana</i>	Agáve sisalová
Kořeny	20 %	<i>Sapindus mukurossi</i>	Mýdelník
Kůra	25 %	<i>Quillaja saponaria</i>	Mydlokor tupolistý
Semínka	27 %	<i>Balanites aegyptiaca</i>	Datlovník pouštní

## 4.1 Chemické a molekulární vlastnosti saponinů

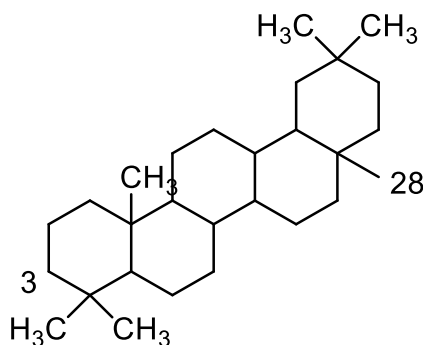
Pod termínem saponiny rozumíme komplexní směs glykosidů se stejným sapogeninem<sup>2</sup> nebo s různými sapogeniny. Složení a koncentrace saponinů se může v jednotlivých částech rostliny (kořeny, výhonky, listy, květy, plody) lišit a může být silně ovlivněna vnějšími faktory prostředí a stavem vývoje rostliny. [4]

Saponiny nacházející se v rostlinách jsou převážně glykosidy s jedním, dvěma nebo třemi cukernými řetězci navázanými na aglykon. [4] Aglykony neboli sapogeniny tvoří nepolární část molekuly a mohou mít steroidní nebo triterpenovou kostru. [4] Na základě toho rozdělujeme saponiny na dvě hlavní třídy, které se liší strukturou a složením. Jedná se o triterpenoidy a steroidní glykosidy. [3] Saponiny dále dělíme podle počtu řetězců na monodesmosidy, bidesmosidy nebo tridesmosidy (řecky desmos = řetězec). [4] U monodesmosidických saponinů je cukerný řetězec připojený obvykle na atom uhlíku C-3 aglykonu. [4]

*Obecné struktury aglykonů saponinových surfaktantů*



*Obrázek 4: Steroidní základ*



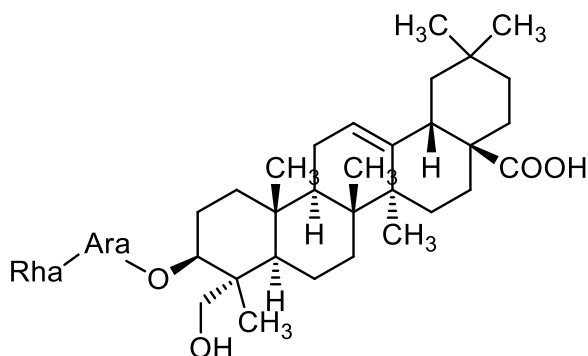
*Obrázek 5: Triterpenoidní základ*

<sup>2</sup> Sapogenin = steroidní nebo triterpenoidní aglykon. Sapogeniny bývají zpravidla navázaný na jednu nebo více oligosacharidových skupin ve struktuře saponinu. [6]

U bidesmosidických saponinů se nachází dva cukerné řetězce. Jeden z řetězců je připojen přes etherovou  $R^1-O-R^2$  vazbu na atom uhlíku C-3. Druhý z řetězců je připojen přes esterovou vazbu na atom uhlíku C-28 v triterpenových saponinech nebo éterovou vazbu na atom uhlíku C-26 u steroidních saponinů. [4] Tridesmosidické saponiny mají třetí cukerný řetězec napojený prostřednictvím etherové nebo esterové vazby na jednu z funkčních skupin OH nebo COOH, které se vyskytují v řetězci aglykonu. [4]

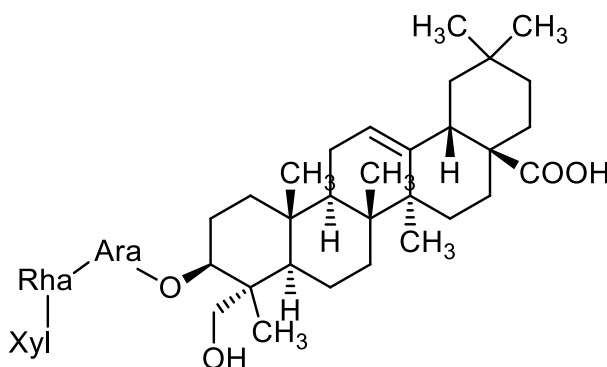
Mezi nejčastější monosacharidy vyskytující se v cukerných řetězcích patří: d-glukóza (glc), d-galaktóza (gal), kyselina d-glukuronová (glcA), l-rhamnosa (rha), l-arabinosa (ara), d-xyloza (xyl), d-apiosa (api) a d-fukosa (fuc). [4]

Saponiny se steroidním skeletem mají ve většině případů formu furostanolu nebo spirostanolu. Furostanolové glykosidy mají obvykle bidesmosidickou povahu a spirostanolové monodesmosidickou. [4] Steroidní i triterpenové saponogeniny mohou mít řadu funkčních skupin ( $-OH$ ,  $-COOH$ ,  $-CH_3$ ). To způsobuje velkou přírodní rozmanitost jen díky aglykonové povaze. Počet a složení cukerných řetězců tuto rozmanitost ještě více znásobuje. [4]



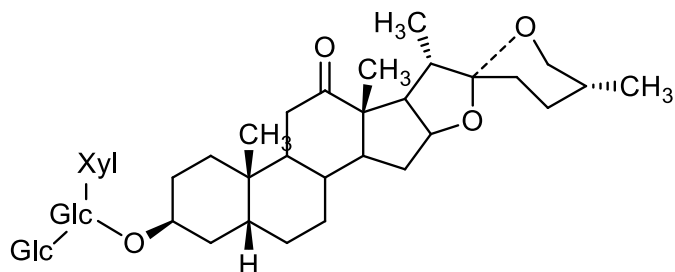
Kde: Ara – arabinóza, Rha – rhamnóza

Obrázek 6: *Sapindus mukorossi* – mýdelník, Sapindosid A



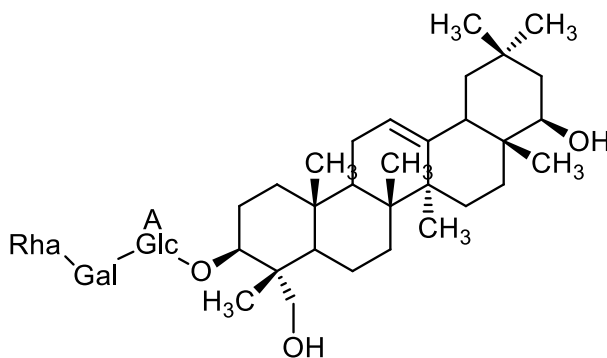
Kde: Ara – arabinóza, Rha – rhamnóza, Xyl – xylóza

Obrázek 7: *Sapindus mukorossi* – mýdelník, Sapindosid B



Kde: Glc – glukóza, Xyl – xylóza

Obrázek 8: *Yucca schidigera*



Kde: Rha – rhamnóza, Gal – galaktóza, AGlc – kyselina glukuronová

Obrázek 9: Sójový saponin typu I, *Glycine max*

Během skladování a zpracování může docházet k chemickým změnám, které mění složitou strukturu saponinů. To má za následek změnu vlastností a biologické aktivity saponinů. [4] Glykosidická vazba (mezi cukerným řetězcem a aglykonem) a interglykosidická vazba (mezi cukernými zbytky) může podléhat: hydrolýze za přítomnosti kyselin nebo alkalických látek; hydrotermolýze (zahřívání za přítomnosti vody); enzymatickým nebo mikrobiálním přeměnám. [4]

Tyto reakce vedou ke vzniku aglykonů, prosapogeninů (částečně hydrolyzovaných saponinů), cukerných zbytků nebo monosacharidů. Průběh reakce je vždy ovlivněn způsobem hydrolýzy a okolními podmínkami. [4] Pokud proběhne úplná kyselá hydrolýza, získá se aglykon a monosacharidy. Naopak za podmínek zásadité hydrolýzy dochází ke štěpení esterově vázaných cukerných řetězců za vzniku prosapogeninů. Rozpustnost výchozí látky aglykonu závisí na lipofilní povaze saponinu. [4]

## 4.2 Zdroje saponinů

U dvouděložných rostlin (*Leguminosae*, *Araliaceae* a *Caryophyllaceae*) se vyskytují převážně triterpenové saponiny. Naopak u jednoděložných rostlin (*Liliaceae*, *Dioscoreaceae* a *Agavaceae*) převažují steroidní saponiny. [4]

Hlavním zdrojem saponinů v potravě jsou zejména luštěniny (sója, cizrna, mungo, čočka, fazole). Kromě luštěnin se saponiny nachází i v dalších druzích rostlin jako je oves, pórek, česnek, chřest, čaj, špenát, cukrová řepa, sezam a batát. [4] Koncentrace saponinů v těchto rostlinách nejsou příliš vysoké, pohybují se v rozmezí 0,1–2 % v sušině a po dlouhou dobu byly považovány za antinutriční faktory, které by měly být eliminovány šlechtěním nebo jiným zpracováním. [4] Avšak nejnovější výzkumy v oblasti výživy poukazují na příznivý účinek některých přírodních saponinů na lidské zdraví. [4] Pomocí testů *in vivo* a *in vitro* na zvířatech byla prokázána řada pozitivních účinků včetně antikarcinogenních, antioxidačních, hypocholesterolemických, hepatoprotektivních, antivirových, antimykotických a antibakteriálních funkcí. [4]

Mezi hlavní zdroje saponinů, které se hojně využívají v potravinářském a kosmetickém průmyslu, patří například mydlokor tupolistý (*Quillaya saponaria*), juka (*Yucca schidigera*), pískavice řecké seno (*Trigonella foenum-graceum*), jírovec maďal (*Aesculus hippocastanum*), lékořice lysá (*Glycyrrhiza glabra*), mydlíce lékařská (*Saponaria*

*officinalis*), šater latnatý (*Gypsophylla paniculata*) a další. [4] Nejvyšší koncentrace saponinů je v rostlinách *Yucca schidigera* a *Quillaya saponaria*, kde sušina obsahuje až 10 % saponinů. [4]



Obrázek 10: Mydlice lékařská, *Saponaria officinalis*



Obrázek 11: Mydlokor tupolistý, *Quillaya saponaria*



Obrázek 12: Jírovec maďal, *Aesculus hippocastanum*

Tabulka 4: Hlavní zdroje saponinů a jejich latinské názvy [8]

Hlavní zdroje saponinů		
Český název rostliny	Latinský název rostliny	Obsah saponinů [%]
Mydlokor tupolistý	<i>Quillaya saponaria</i>	≥25 % (kůra)
Juka	<i>Yucca schidigera</i>	10 % (stonek, kořeny)
Pískavice řecké seno	<i>Trigonella foenum-graceum</i>	8–10 % (semínka, listy)
Jírovec maďal	<i>Aesculus hippocastanum</i>	10 % (semínka)
Lékořice lysá	<i>Glycyrrhiza glabra</i>	<24 % (kořeny)
Mydlíce lékařská	<i>Saponaria officinalis</i>	5 % (kořeny)
Šater latnatý	<i>Gypsophylla paniculata</i>	>10 % (kořeny)

### 4.3 Saponiny jako emulgátory a povrchově aktivní látky

Schopnost saponinu pěnit je dána kombinací nepolárního sapogeninu a ve vodě rozpustného postranního řetězce. [4] Toto uspořádání odpovídá struktuře většiny syntetických PAL, které mají lipofilní a hydrofilní část molekuly. [4] U saponinů je hydrofilní část tvořena cukerným řetězcem, který se může lišit délkou, větvením, substitucí a složením (glukóza, galaktóza, ramnóza, arabinóza, xylóza, apióza a kyselina uronová). [4] Oproti tomu lipofilní část molekuly může mít steroidní nebo triterpenovou strukturu. [4]

Nejlepší pěnové vlastnosti vykazují saponiny s jedním cukerným řetězcem. [4] U saponinů se dvěma nebo třemi cukernými řetězci se pěnicí schopnost snižuje a u některých saponinů nedochází k pění ve vodném roztoku vůbec, ale vzhledem k jejich chemické struktuře jsou přesto řazeny mezi saponiny. [4]

Ve vodném roztoku vytváří saponiny agregáty, které jsou podobné micelám a vykazují CMC<sup>3</sup>. Pod touto koncentrací zůstávají molekuly neasociované. Při překročení koncentrace CMC začíná rozpuštěná látka tvořit micely a současně dochází ke změně fyzikálních vlastností. [4]

<sup>3</sup> CMC – kritická micelární koncentrace; koncentrace, při které dochází k tvorbě micel

#### 4.4 Srovnání jednotlivých rostlin

Saponiny ze sójových bobů, mydlice lékařské a *Quillaya saponaria* vytváří ve vodných roztocích micely, jejichž velikost a struktura závisí na typu saponinu. [4] Komerční „bílý saponin“ z mydlice lékařské a saponiny ze sójových bobů tvoří malé micely složené pouze ze dvou molekul. Oproti tomu agregáty saponinu z *Quillaya saponaria* se skládají z 50 molekul a jsou podstatně méně hydratované. [4] Tyto rozdíly týkající se počtu molekul jsou poměrně nečekané, jelikož aglykony saponinu *Quillaya saponaria* se od aglykonu „bílého saponinu“ ze *Saponaria officinalis* liší pouze jednou hydroxylovou skupinou. [4] Pravděpodobně se agregují hydrofobní interakcí glykonů (jako u ostatních povrchově aktivních látek), přičemž hydrofilní cukerné skupiny zůstávají vystaveny působení vody. [4] Na základě výzkumu bylo zjištěno, že micelizační vlastnosti a agregační číslo (počet monomerů tenzidu v micelle) u saponinů *Quillaya saponaria* jsou ovlivněny teplotou, koncentrací soli a pH vodné fáze. [4] Hodnoty CMC u *Quillaya saponaria* se při teplotě 25 °C pohybovaly v rozmezí 0,5 až 0,8 g·l<sup>-1</sup>. CMC se zvyšovala s rostoucí teplotou a pH, ale naopak se snižovala s rostoucí koncentrací soli. [4]

Tabulka 5: Hodnoty CMC u vybraných rostlin [9]

Název rostliny	Hodnota CMC g·l <sup>-1</sup>
<i>Agave sislana</i>	0,684
<i>Quillaya saponaria</i>	0,284
<i>Sapindus mukurossi</i>	7,500
<i>Genipa americana</i>	0,650

Struktura saponinu má vliv na tvar micel. Micely tvořené „bílým saponinem“ a saponiny z rodu *Quillaya saponaria* mají podlouhlý nebo vláknitý tvar, oproti tomu micely tvořené saponiny sóji jsou kulovité. [4] Tyto rozdíly jsou pravděpodobně zapříčiněny aglykonovou částí molekuly. [4]

Aglykony sójových bobů totiž nemají na rozdíl od aglykonů saponinů *Saponaria officinalis* („bílý saponin“) a *Quillaya saponaria* karboxylové skupiny, a proto jsou rovnoměrněji hydrofobní. [4]

Zmíněná karboxylová kyselina v molekule saponinu může silně ovlivnit povrchovou aktivitu, stabilitu emulze nebo zeta-potenciál emulzních kapek. Nejen přítomnost, ale i umístění karboxylové skupiny v molekule, hraje velkou roli. [4] Toto tvrzení lze prokázat



následujícím srovnáním povrchové aktivity sójového saponinu I (dominantního saponinu sóji) a monodesmózních saponinů *Sapindus mukurossi*. [4]

Sójový saponin má v hydrofilní části cukerného řetězce molekuly navázanou karboxylovou skupinu. Karboxylové skupiny ve vodné fázi disociují a vytvářejí volný karboxylový aniont, který zvyšuje rozpustnost molekuly ve vodě. [4]

Oproti tomu saponiny *Sapindus mukurossi* mají karboxylovou skupinu navázanou na aglykonovou část molekuly, která je hydrofobní, tudíž disociace této karboxylové skupiny je velmi nízká. [4]

Z toho vyplývá, že povrchová aktivita, stabilita emulze a pěnivost je vyšší u saponinů *Sapindus mukurossi*, který naopak vykazuje nižší povrchové a mezifázové napětí ve srovnání se sójovým saponinem I. [4]

#### 4.5 Využití saponinů v minulosti

V počátcích vývoje lidstva byly zkoumány různé rostlinné výtažky, které by mohly sloužit pro účely osobní hygieny. Množství ale nebylo dostačující pro rychle rostoucí populaci, proto byly přírodní PAL postupně nahrazeny různými syntetickými produkty. [4]

V Orientu se rostliny s vysokým obsahem saponinů běžně používaly jako náhražka mýdla. [4] Příkladem může být Mydlice lékařská (*Saponaria officinalis*), která obsahuje saponiny a je odedávna hojně používaná i jako čisticí prostředek v domácnostech. [3]

V Asii a Tichomoří se tradičně k lovu ryb využívala semena rostliny *Barringtonia asiatica*, která obsahuje saponiny a ty slouží jako jed na ryby. [3]

V rostlině *Yucca schidigera* se nachází typ saponinů, který byl používán jako krmná přísada pro dobytek. Tyto látky podporovaly růst, produkci mléka nebo vlny v chovu přežvýkavců. [3]

#### 4.6 Využití saponinů dnes

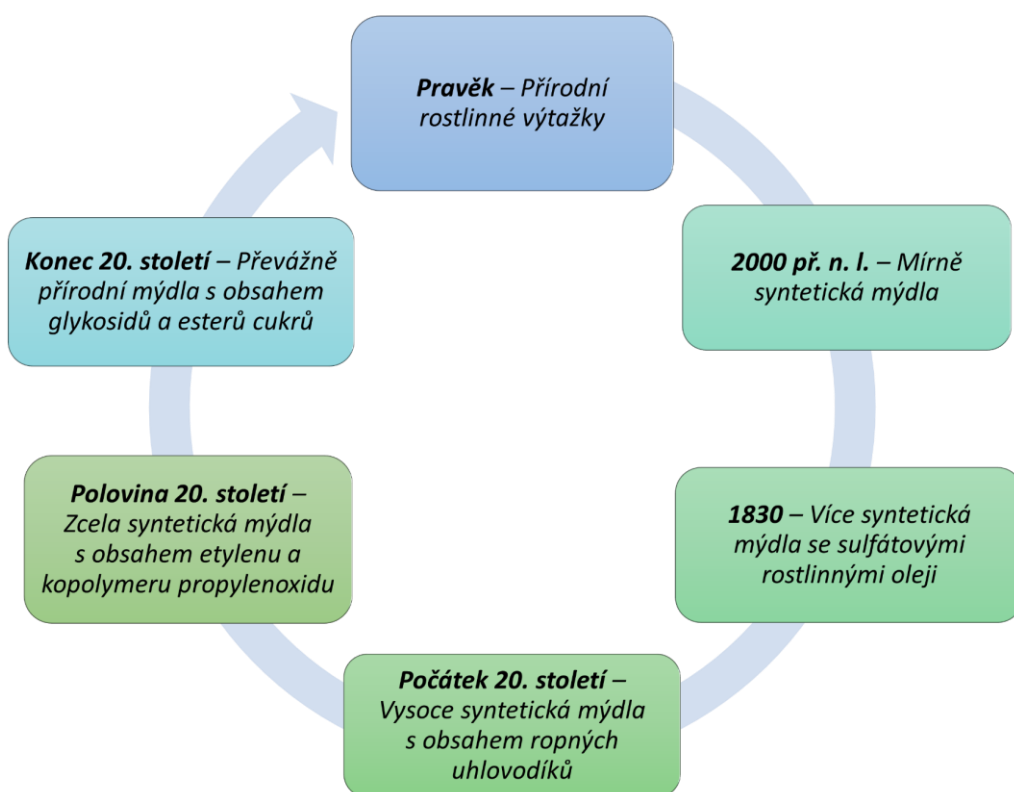
Dlouhou dobu se potravinářský průmysl saponinům vyhýbal kvůli jejich hořké chuti a dráždivosti v krku. [4] Postupně se začalo potravinářské zpracování soustředit na odstranění sloučenin, které způsobují hořkost a dráždění sliznice. [4] Nyní jsou určité druhy

saponinů považovány za zdraví prospěšné díky svým vlastnostem snižujícím hladinu cholesterolu a působícím proti rakovinnému bujení. Jedná se především o sóju, česnek a cibuli. [4] Kromě toho konzumace saponinů napomáhá ke zvyšování střevní propustnosti a k interakci se žlučovými kyselinami. [4]

Podobný postoj k přírodním saponinům zaujal i kosmetický průmysl. Ukázalo se totiž, že syntetické chemické látky, které se začaly hojně používat pro výrobu čisticích prostředků, mohou mít škodlivé účinky na lidské zdraví. Tento faktor vedl ke zvýšení zájmu o opětovné používání přírodních produktů, které by mohly nahradit ty syntetické. [4]

V současné době zažívá nejen kosmetický průmysl velký tlak na odklon od neobnovitelných ropných surovin směrem k rostlinám jako zdroji surovin. To vede mnoho značek a firem k vývoji PAL a vzniku „přírodnějších“ výrobků. [4]

Historie vývoje povrchově aktivních látek se točí v kruhu, jak je znázorněno na obrázku u výroby mýdla. [4]



Obrázek 13: Výroba mýdla se točí v kruhu [8]

Mezi dvě nejvíce používané přírodní povrchově aktivní látky patří lecitin (emulgátor používaný při výrobě čokolády a zmrzliny) a rostlinné saponiny. Používání saponinů má ale určitá omezení:

- saponiny nejsou natolik účinné povrchově aktivní látky jako syntetické látky
- saponiny pocházející z rostlinných zdrojů jsou méně dostupné, a tudíž poměrně drahé. [4]

## 5 ČAJOVÝ SAPONIN

Čajový saponin je označován jako směs triterpenoidních saponinů, izolovaných ze semen *Camellia oleifera* (rozšířených ve střední a jižní Číně). [2] Potencionálním zdrojem saponinu jsou ale i listy a květy. Největší množství saponinu se nachází v semíncích, méně je obsažen v obalech plodů a nejméně ve slupkách semen. [1] Obsah čajového saponinu se s rostoucím věkem stromu mění. Kolem 30. roku dochází k dosažení nejvyššího obsahu saponinů v listech. Vliv na obsah saponinů má kromě jiného i roční období. [1]

Čajové saponiny jsou považovány za účinné přírodní PAL, které nabízí širokou škálu využití. [1] Čajový saponin jako takový je dobrým neiontovým povrchově aktivním činidlem s emulgační, pěnivou a smáčecí aktivitou, kromě toho má antimikrobiální, antivirové, protizánětlivé, antioxidační a antialergické účinky. [2]

Čajové saponiny jsou složeny ze saponinů (aglykonů), sacharidů (glykosylové skupiny) a organických kyselin. Složení a struktury čajových saponinů závisí na tom, z jaké rostliny pochází. Například kyselina skořicová se nachází ve struktuře saponinů z čajových lístků, ale nenajdeme ji ve struktuře saponinů z čajovníku. [1] Stále ještě není známo, zda mají čajové saponiny z různých druhů rostlin různé fyzikálně-chemické vlastnosti. [1]

Pomocí modifikace čajového saponinu můžeme měnit jeho povrchovou aktivitu a splnit tak požadavky na ekologické povrchově aktivní látky v potravinářství a dalších odvětvích průmyslu. [2] Pro přípravu čajového saponinu jako prášku se běžně používají následující kroky: extrakce, koncentrace, purifikace (surová a rafinovaná) a sušení. [1]

### 5.1 Využití čajového saponinu v praxi

Půda je jedním z nejcennějších zdrojů lidstva a v posledních desetiletích je vážně ohrožena. [1] Nejčastěji je půda znečištěna těžkými kovy a organickými látkami. [1] Řada zemí se zaměřila na vývoj technologií pro obnovu půdy. Většina metod je ale finančně velmi náročná, využívá složité postupy, má dlouhou dobu trvání a nízkou účinnost sanace<sup>4</sup> půdy. Jedná se většinou o výkopové práce, promývání půdy či odstraňování znečištěné půdy. [1]

---

<sup>4</sup> Sanance – náprava škod způsobená lidskou činností na krajině.

Na základě výzkumů bylo zjištěno, že čajové saponiny desorbují těžké kovy z kontaminované půdy a akumulují znečišťující látky. Aplikace čajových saponinů byla dosud zkoumána pouze u několika těžkých kovů a organických polutantů. Výsledky dosavadních studií ale naznačují, že si čajové saponiny zaslouží důkladný a rozsáhlý výzkum z hlediska struktury, vlastností, účinků, přípravy, zdrojů a mechanismů působení. [1] Mechanismus působení čajových saponinů zatím nebyl zcela objasněn, ale četné přínosy těchto přírodních látek vybízí odborníky k dalšímu studiu průmyslové extrakce a čištění. [1]

Čajový saponin našel uplatnění i v průmyslu, používá se saponinový parafinový emulgátor (emulgátor TS80), a to především v odvětví výroby stavebních desek. [4] Díky malé velikosti olejových kapiček a vynikající stabilitě je charakter emulze mnohem lepší než u běžných emulgátorů, jako jsou alkylsulfonát sodný, oleát sodný a oleát amonný. [4]

Využití čajového saponinu ve farmacii je především pro jeho hemolytické, moluskocidní, protizánětlivé, protiplísňové, antibakteriální, antimikrobiální, antiparazitární, protinádorové, antivirové a antimykotické účinky. [3]

Čajový saponin je hojně využíván jako čisticí prostředek. Přidáním malého množství saponinu do vodné enzymové kompozice obsahující bakteriální inhibiční stabilizátor, vzniká produkt, který je vhodný na čištění nejrůznějších povrchů (kovů, plastů, umělé hmoty, dřeva, skla, koberců, lakovaných povrchů, kůže atd.). [4]

Čajové saponiny se v praxi osvědčily, otázkou ale stále zůstává, zda mají čajové saponiny z různých oblastí i různé fyzikální, chemické a biochemické vlastnosti. [1]

## 5.2 Zjištění vědců a pokusy

Již v minulosti vědci zkoumali vlastnosti a chování čajového saponinu a dospěli k následujícím závěrům: Tao a kol. představili nový čajový saponin kationtového typu navázaný na silikonový polymer s kvartérní amoniovou solí, který zlepšil účinnost vlasového šamponu při použití za sucha i za mokra. [2]

Song et al. dosáhli lepší stability při pění a nižší hladiny kritické koncentrace micel tím, že připravili deesterovaný čajový saponin pomocí aminolýzy. [2]

Yang a kol. syntetizovali čajový saponin monoethanolamid sukcinát – jednoduchý ester sulfátu sodného, který měl nižší kritickou koncentraci micel, lepší pění a stabilitu. [2]

Na základě předchozích studií se vědcům podařilo vyvinout nový typ vysoce účinného neiontového Gemini alkyl O-glukosidu s řadovým zlepšením povrchové aktivity. [2]

K ověření této hypotézy byla provedena esterifikace čajového saponinu s různými acylchloridy a přitom se zkoumala jejich povrchová aktivita. Povrchová aktivita čajového saponinu se podle očekávání znatelně zlepšila. [2]

## **II. PRAKTICKÁ ČÁST**

## 6 PŘÍPRAVA POTŘEBNÝCH ROZTOKŮ A CHEMIKáliÍ

V praktické části bakalářské práce jsem zjišťovala pěnivost čajového saponinu při různých koncentracích této látky ve vodě, v přítomnosti chloridu sodného a v modelové tvrdé vodě. Pěnivost čajového saponinu jsem následně srovnávala s pěnivostí roztoku kokosového mýdla a SDS. Součástí pokusů bylo i stanovování povrchového napětí připravených roztoků metodou Wilhelmyho destičky.

### Seznam chemikálií

Čajový saponin – BEWIT FRANCHISE, s.r.o., čistota podle certifikátu analýzy 91,20 %

Kokosové mýdlo, strouhané – Tipheret Cosmetics s.r.o, Fichema s.r.o.

Dodecylsulfát sodný (SDS), 90 % – Sigma-Aldrich, Merck Life Science spol. s r.o.

NaCl, p. a. – IPL Uherský Brod, Ing. Petr Lukeš

CaCl<sub>2</sub>·2H<sub>2</sub>O, p. a. – IPL Uherský Brod, Ing. Petr Lukeš

Tvrlost vody z CaCl<sub>2</sub>: 2,5 mmol/l

### Seznam použitých přístrojů

Tenziometr K20 a Wilhelmyho destička PL21 – měření povrchového napětí KRÜSS GmbH, Hamburk

Dynamický analyzátor pěny DFA 100 – měření pěnivosti, KRÜSS GmbH, Hamburk

### Použité roztoky

- Roztoky čajového saponinu o koncentracích: 0,001; 0,01; 0,1; 1; 2; 5 a 10 % ve vodě destilované a tvrdé.
- Roztoky soli: 5, 10 a 15 % NaCl.
- Roztoky čajového saponinu o koncentracích: 0,001; 0,01; 0,1; 1; 2; 5 a 10 % v roztoku soli – 5, 10 a 15 % NaCl.
- 1% roztok kokosového mýdla v tvrdé a destilované vodě, 1% roztok SDS v tvrdé a v destilované vodě.



## 7 STANOVENÍ POVRCHOVÉHO NAPĚTÍ

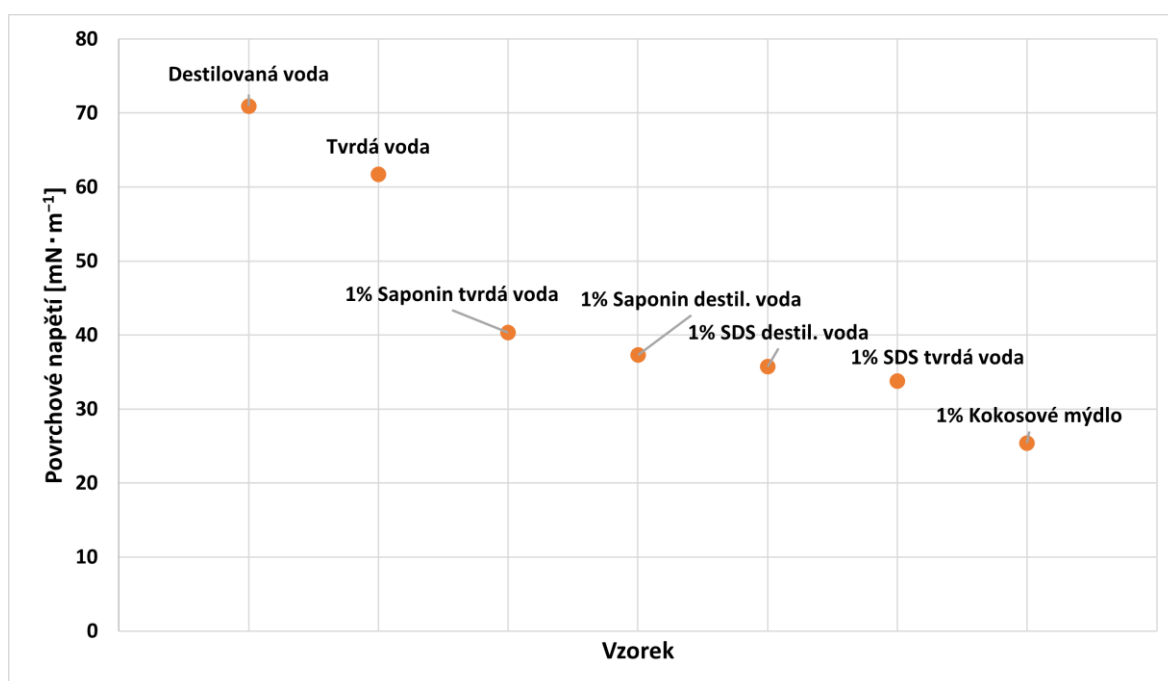
Stanovování povrchového napětí u roztoků čajového saponinu, NaCl, kokosového mýdla a SDS.

K měření povrchového napětí jsem použila metodu Wilhelmyho destičky. Tato metoda funguje na principu měření síly, kterou je potřeba použít k „odtržení“ destičky známých rozměrů od fázového rozhraní.

V Tabulce 6 a následném grafu uvádím hodnoty povrchového napětí pro destilovanou a tvrdou vodu, roztoky SDS a kokosového mýdla jako příkladové vzorky k čajovému saponinu. Nejvyšší hodnotu měla destilovaná voda a nejnižší z této skupiny měl roztok kokosového mýdla.

Tabulka 6: Povrchové napětí roztoků jako kontrola v destilované vodě

VZOREK	I. měření napětí [mN·m <sup>-1</sup> ]	I. odchylka [mN·m <sup>-1</sup> ]	II. měření napětí [mN·m <sup>-1</sup> ]	II. odchylka [mN·m <sup>-1</sup> ]
Destilovaná voda	70,9	± 0,001	70,9	± 0,001
Tvrdá voda	61,7	± 0,01	61,2	± 0,01
1% SDS destil. voda	35,7	± 0,05	35,7	± 0,06
1% SDS TV	33,8	± 0,02	34,1	± 0,04
1% Kokosové mýdlo	25,4	± 0,02	24,8	± 0,04



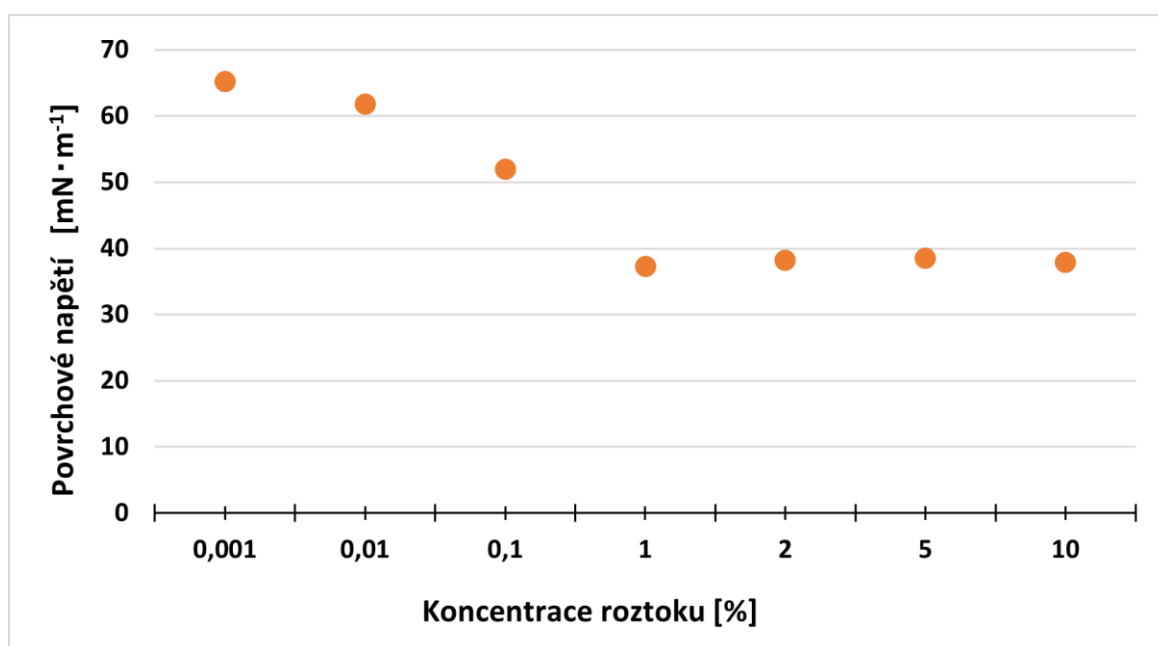
Obrázek 14: Graf závislosti povrchového napětí na koncentraci jednotlivých roztoků

### Stanovení povrchového napětí čajového saponinu v destilované vodě

V následující části jsem stanovovala závislost povrchového napětí na koncentraci roztoku saponinu v destilované vodě. V Tabulce 7 uvádím pro přehled jednotlivé hodnoty povrchového napětí.

Tabulka 7: Povrchové napětí roztoků saponinu v destilované vodě

	KONCENTRACE ROZTOKU						
	[%]						
	0,001	0,01	0,1	1	2	5	10
I. Povrchové napětí	65,2	61,8	52,0	37,3	38,2	38,5	37,9
Odchylka	±	±	±	±	±	±	±
[mN·m <sup>-1</sup> ]	0,03	0,03	0,02	0,03	0,02	0,02	0,01
II. Povrchové napětí	64,6	60,9	51,2	38,0	37,9	38,0	37,7
Odchylka	±	±	±	±	±	±	±
[mN·m <sup>-1</sup> ]	0,01	0,01	0,06	0,04	0,01	0,00	0,01



Obrázek 15: Graf závislosti povrchového napětí na koncentraci saponinu v destilované vodě

### Zhodnocení výsledků měření

Při měření povrchového napětí různě koncentrovaných roztoků saponinu v destilované vodě bylo dosaženo nejvyšších hodnot u roztoku s koncentrací 0,001 %, což byla zároveň nejnižší měřená koncentrace. Naměřené hodnoty pro měřené roztoky uvádím v Tabulce 7 a pro ilustraci v připojeném grafu. Povrchové napětí tohoto roztoku dosahovalo při prvním měření hodnoty 65,2 mN·m<sup>-1</sup>. S rostoucí koncentrací roztoku povrchové napětí klesalo.

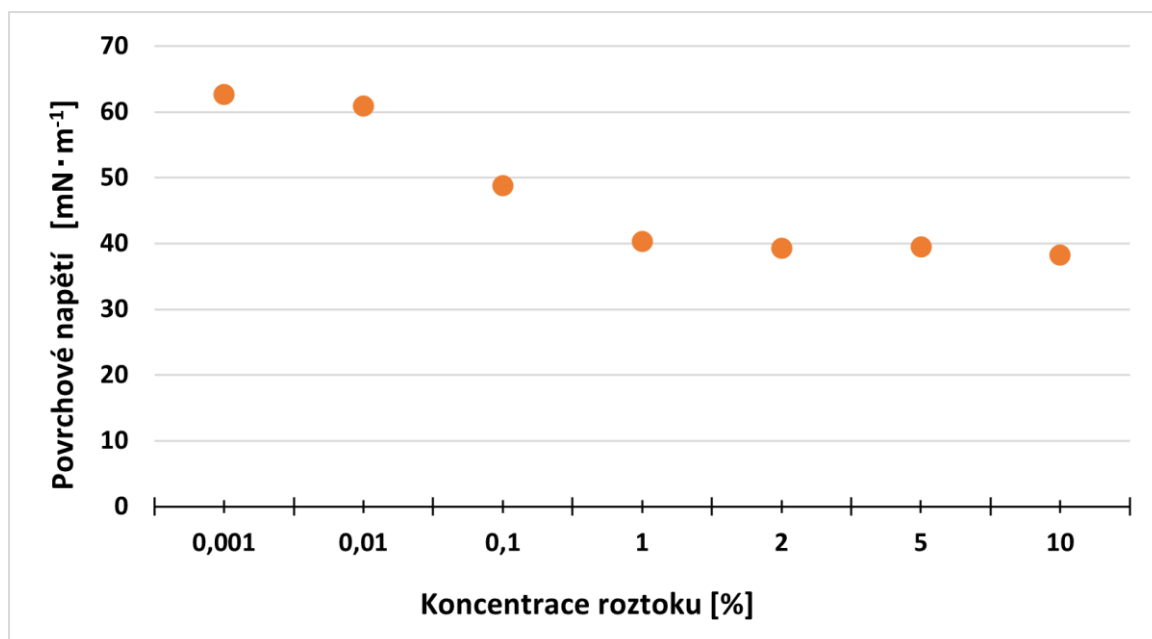
U 1% roztoku kleslo povrchové napětí při prvním měření až na hodnotu  $37,3 \text{ mN}\cdot\text{m}^{-1}$ . Poté naopak u 2 % roztoku mírně vzrostlo. Obecně lze říci, že hodnota povrchového napětí se u roztoků s koncentrací 1–10 % příliš neměnila a pohybovala se v rozmezí  $37,3\text{--}38,5 \text{ mN}\cdot\text{m}^{-1}$ . Zlomovým bodem je tedy 1% koncentrace, u vyšších koncentrací se napětí již více nesnižuje. Hodnoty povrchového napětí, kterých bylo dosaženo během prvního a druhého měření, se příliš nelišily.

### Stanovení povrchového napětí čajového saponinu v tvrdé vodě

V následující části jsem stanovovala závislost povrchového napětí na koncentraci roztoku saponinu v tvrdé vodě. V Tabulce 8 uvádím pro přehled jednotlivé hodnoty povrchového napětí.

Tabulka 8: Povrchové napětí roztoků saponinu v tvrdé vodě

	KONCENTRACE ROZTOKU						
	[%]						
	0,001	0,01	0,1	1	2	5	10
I. Povrchové napětí	62,6	60,9	48,8	40,3	39,3	39,5	38,2
Odchylka	±	±	±	±	±	±	±
[ $\text{mN}\cdot\text{m}^{-1}$ ]	0,01	0,03	0,03	0,02	0,03	0,03	0,02
II. Povrchové napětí	62,4	59,7	47,8	39,1	38,5	38,5	38,1
Odchylka	±	±	±	±	±	±	±
[ $\text{mN}\cdot\text{m}^{-1}$ ]	0,01	0,03	0,03	0,02	0,00	0,02	0,01



Obrázek 16: Graf závislosti povrchového napětí na koncentraci saponinu v tvrdé vodě

### Zhodnocení výsledků měření

Při měření povrchového napětí různě koncentrovaných roztoků saponinu v tvrdé vodě bylo dosaženo nejvyšších hodnot u roztoku s koncentrací 0,001 %, což byla zároveň nejnižší měřená koncentrace. Naměřené hodnoty pro měřené roztoky uvádím v Tabulce 8 a pro ilustraci v připojeném grafu. Povrchové napětí tohoto roztoku dosahovalo při prvním měření hodnoty  $62,6 \text{ mN}\cdot\text{m}^{-1}$ . S rostoucí koncentrací roztoku povrchové napětí klesalo. Obecně lze říci, že hodnota povrchového napětí se u roztoků s koncentrací 1–10 % příliš neměnila a pohybovala se v rozmezí  $40,3\text{--}38,1 \text{ mN}\cdot\text{m}^{-1}$ . Hodnoty povrchového napětí, kterých bylo dosaženo během prvního i druhého měření, byly podobné.

### Stanovení povrchového napětí u roztoků saponinu s různými koncentracemi NaCl

V další části pokusů jsem měřila povrchové napětí pro roztoky čajového saponinu ve třech koncentracích roztoků NaCl jako v modelových roztocích o zvýšené solnosti. Stanovená data uvádím pro roztoky soli v Tabulce 9 a pro směsi čajového saponinu v solance v Tabulkách 10, 11 a 12.

*Tabulka 9: Povrchové napětí roztoku NaCl o různých koncentracích*

VZOREK	I. měření napětí [ $\text{mN}\cdot\text{m}^{-1}$ ]	I. odchylka [ $\text{mN}\cdot\text{m}^{-1}$ ]	II. měření napětí [ $\text{mN}\cdot\text{m}^{-1}$ ]	II. odchylka [ $\text{mN}\cdot\text{m}^{-1}$ ]
Destilovaná voda	70,9	$\pm 0,001$	70,9	$\pm 0,001$
5% NaCl	68,7	$\pm 0,01$	69,9	$\pm 0,01$
10% NaCl	63,9	$\pm 0,02$	64,7	$\pm 0,01$
15% NaCl	62,7	$\pm 0,02$	62,5	$\pm 0,01$

### Roztoky čajového saponinu v 5% roztoku NaCl

V této části měření jsem stanovovala povrchové napětí čajového saponinu v 5% roztoku NaCl. Naměřené hodnoty jsou uvedeny v Tabulce 10.

Tabulka 10: Povrchové napětí saponinu v 5% roztoku NaCl

	KONCENTRACE ROZTOKU						
	[%]						
	0,001	0,01	0,1	1	2	5	10
I. Povrchové napětí	64,8	58,4	45,2	43,4	42,5	41,3	40,7
Odchylka	±	±	±	±	±	±	±
[mN·m <sup>-1</sup> ]	0,03	0,09	0,02	0,03	0,01	0,01	0,02
II. Povrchové napětí	64,3	56,3	43,9	40,2	40,4	39,8	39,9
Odchylka	±	±	±	±	±	±	±
[mN·m <sup>-1</sup> ]	0,01	0,04	0,03	0,02	0,00	0,03	0,03

### Zhodnocení výsledků měření

Při měření povrchového napětí saponinu v 5% roztoku NaCl jsem získala nejvyšší hodnoty u roztoku s nejnižší koncentrací, což byl 0,001% roztok. Čím byla koncentrace roztoku vyšší, tím více povrchové napětí klesalo. Hodnoty povrchového napětí se v rozmezí koncentrací 1–10 % příliš neměnily. Pohybovaly se v rozmezí 43,4–39,8 mN·m<sup>-1</sup>. Z tabulky je patrné, že se hodnoty prvního a druhého měření povrchového napětí mírně liší. Například u 1% roztoku můžeme pozorovat, že hodnota povrchového napětí se při prvním měření vyšplhala na 43,4 mN·m<sup>-1</sup> a při druhém měření hodnota ustala na 40,2 mN·m<sup>-1</sup>.

### Roztoky čajového saponinu v 10% roztoku NaCl

V této části měření jsem stanovovala povrchové napětí čajového saponinu v 10% roztoku NaCl. Naměřené hodnoty jsou uvedeny v Tabulce 11.

Tabulka 11: Povrchové napětí saponinu v 10% roztoku NaCl

	KONCENTRACE ROZTOKU						
	[%]						
	0,001	0,01	0,1	1	2	5	10
I. Povrchové napětí	68,5	49,8	46,5	44,6	42,6	42,5	42,4
Odchylka	±	±	±	±	±	±	±
[mN·m <sup>-1</sup> ]	0,02	0,05	0,03	0,02	0,02	0,02	0,01
II. Povrchové napětí	65,0	48,4	45,0	43,3	41,9	41,7	41,4
Odchylka	±	±	±	±	±	±	±
[mN·m <sup>-1</sup> ]	0,01	0,05	0,04	0,03	0,04	0,02	0,04

### Zhodnocení výsledků měření

Hodnoty povrchového napětí saponinu při použití 10% roztoku NaCl nabývaly vyšších hodnot než u 5% roztoku. Nejvyšší naměřené povrchové napětí bylo u 0,001% roztoku,

hodnota dosahovala  $68,5 \text{ mN}\cdot\text{m}^{-1}$ . S rostoucí koncentrací roztoku docházelo k poklesu povrchového napětí, tak jako u předchozího měření.

### Roztoky čajového saponinu v 15% roztoku NaCl

V této části měření jsem stanovovala povrchové napětí čajového saponinu v 15% roztoku NaCl. Naměřené hodnoty jsou uvedeny v Tabulce 12.

Tabulka 12: Povrchové napětí saponinu v 15% roztoku NaCl

	KONCENTRACE ROZTOKU						
	[%]						
	0,001	0,01	0,1	1	2	5	10
I. Povrchové napětí	42,8	38,0	41,7	43,2	43,7	44,3	43,1
Odchylka	±	±	±	±	±	±	±
[ $\text{mN}\cdot\text{m}^{-1}$ ]	0,01	0,05	0,04	0,02	0,02	0,03	0,04
II. Povrchové napětí	43,2	37,7	40,2	42,7	42,8	42,9	42,5
Odchylka	±	±	±	±	±	±	±
[ $\text{mN}\cdot\text{m}^{-1}$ ]	0,03	0,02	0,03	0,02	0,05	0,04	0,04

### Zhodnocení výsledků měření

Při použití 15% roztoku NaCl se povrchové napětí saponinu chovalo jinak než u předešlých koncentrací. V předchozích měřeních bylo pokaždé dosaženo maximální hodnoty povrchového napětí u roztoku s nejnižší koncentrací. V tomto případě tomu tak není. Maximální povrchové napětí bylo naměřeno u 2% roztoku, hodnota dosahovala  $43,7 \text{ mN}\cdot\text{m}^{-1}$ . Z tabulky je dále patrné, že rozmezí povrchového napětí je velmi úzké v porovnání s předešlými tabulkami (9;10).

### Stanovení povrchového napětí u 1% roztoku SDS a 1% roztoku kokosového mýdla

V následující části jsem pro srovnání stanovovala povrchové napětí destilované vody, 1% roztoku kokosového mýdla v tvrdé vodě, 1% roztoku kokosového mýdla v destilované vodě a 1% roztoku SDS v tvrdé vodě. V Tabulce 13 jsou uvedeny naměřené hodnoty pro jednotlivé vzorky.

Tabulka 13: Porovnání hodnot povrchového napětí

	Měřený vzorek			
	Destilovaná voda	1% Kokosové mýdlo TV	1% Kokosové mýdlo destil.	1% SDS TV
I. Povrchové napětí	72,9	25,4	28,1	33,8
Odchylka	±	±	±	±
[mN·m <sup>-1</sup> ]	0,001	0,02	0,03	0,02
II. Povrchové napětí	72,9	24,8	28,0	34,1
Odchylka	±	±	±	±
[mN·m <sup>-1</sup> ]	0,001	0,04	0,04	0,04

### Zhodnocení výsledků měření

Z naměřených hodnot je patrné, že při stejné koncentraci kokosového mýdla, vykazuje roztok s destilovanou vodou vyšší povrchové napětí, než je tomu u roztoku s tvrdou vodou. Při srovnání 1% roztoku SDS, kde bylo naměřeno při druhém měření 34,1 mN·m<sup>-1</sup> a 1% roztoku kokosového mýdla v tvrdé vodě, kde hodnota ustala na 24,8 mN·m<sup>-1</sup>, lze říci, že se tyto hodnoty liší téměř o 10 mN·m<sup>-1</sup>.

### Zhodnocení a porovnání naměřených hodnot povrchového napětí

Naměřené hodnoty povrchového napětí se pohybují v širokém rozmezí v závislosti na fyzikálně-chemických vlastnostech měřeného roztoku. Při stanovování povrchového napětí u roztoku saponinu v destilované a tvrdé vodě byly naměřeny odlišné hodnoty. To se dá odůvodnit rozdílným složením vody, kdy tvrdá voda obsahuje určité množství minerálů (vápníku, hořčíku), a naopak destilovaná voda je složena pouze z vodíku a kyslíku a nejsou v ní žádné organické ani anorganické látky.

Hodnota povrchového napětí 1% roztoku saponinu v tvrdé vodě se pohybovala v rozmezí 39–40 mN·m<sup>-1</sup>, zatímco u roztoku v destilované vodě byla naměřena hodnota nižší: 37–38 mN·m<sup>-1</sup>. Z měření dále vyplývá, že 1% roztok je v obou případech tzv. hraniční koncentrací, od které se s rostoucí koncentrací saponinu v roztoku povrchové napětí příliš nemění. Naopak snižujeme-li koncentraci saponinu, povrchové napětí začíná prudce vzrůstat až k hodnotám 65,2 mN·m<sup>-1</sup> u 0,001% roztoku saponinu v destilované vodě.

Při srovnání hodnot povrchového napětí u jednotlivých PAL o koncentraci 1 % lze říci, že povrchové napětí roste v řadě: kokosové mýdlo, SDS TV, SDS v destilované vodě, čajový saponin v destilované vodě, čajový saponin v tvrdé vodě.

Roztoky NaCl vykazují různé hodnoty povrchového napětí v závislosti na jejich koncentraci. Při měření povrchového napětí čajového saponinu s NaCl o různé koncentraci nastalo hned několik zajímavých okamžiků. V tomto případě nebyl 1% roztok tzv. hraničním bodem, od kterého by začínaly hodnoty prudce vzrůstat. U roztoků s 5% a 10% NaCl bylo největší povrchové napětí naměřeno u roztoků saponinu s nejnižší koncentrací. To se ale nedá tvrdit v případě roztoku s 15% NaCl, kdy se naopak hodnoty povrchového napětí pohybovaly přibližně ve stejném rozmezí. Při porovnání roztoků saponinu s tvrdou či destilovanou vodou a roztoků s NaCl, je na první pohled vidět, že povrchové napětí dosahuje nižších hodnot v roztocích bez NaCl.



## 8 TEST PĚNIVOSTI I – TŘEPACÍ TEST

Saponiny se řadí mezi povrchově aktivní látky, pro které je charakteristickou vlastností pěnivost. V následující části jsem se zabývala schopností saponinů tvořit pěnu a následně jsem hodnotila stabilitu pěny pomocí měření její výšky v čase.

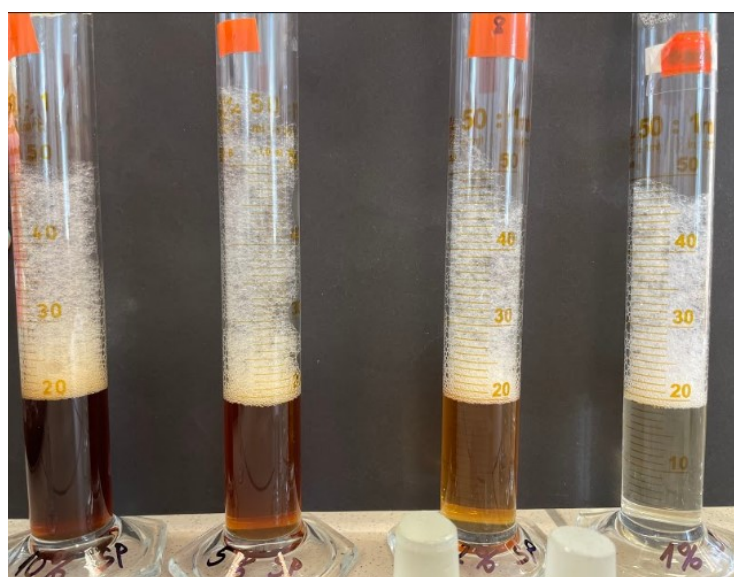
Každý vzorek jsem 20× převrátila o 180°, následně jsem měřila výšku pěny v jednotlivých časových intervalech: 0, 1, 5, 10, 30 a 60 min.

### Stanovení pěnivosti u roztoků s destilovanou vodou

Stanovovala jsem pěnivost u různě koncentrovaných roztoků čajového saponinu v destilované vodě pomocí třepacího testu.

Tabulka 14: Měření výšky pěny roztoku saponinu v destilované vodě v časových intervalech

Výška pěny (cm) v čase	KONCENTRACE ROZTOKU [%]						
	0,001	0,01	0,1	1	2	5	10
0 min	0,1	0,2	3	7,8	7,6	10,3	9,2
1 min	–	0,1	1,5	7,2	7,0	10,0	9,0
5 min	–	0,1	1,3	7,0	7,0	9,6	8,3
10 min	–	0,1	1,2	7,0	6,9	9,5	8,2
30 min	–	–	1,1	7,0	6,8	8,9	7,6
60 min	–	–	1,0	7,0	6,5	8,9	7,1



10%

5%

2%

1%

Obrázek 17: Pěnivost čajového saponinu v čase 60 min

### Zhodnocení výsledků měření

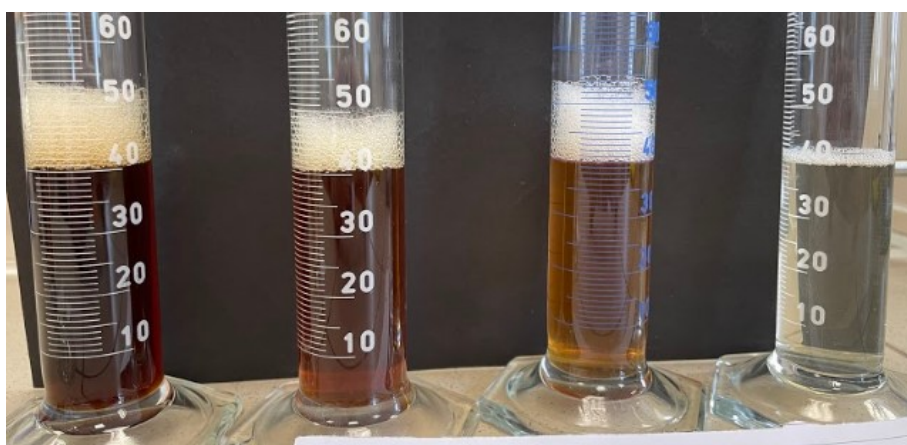
Zpočátku se vykytovaly v pěně velké bubliny, které ale časem rychle mizely. Bubliny měly velkou distribuci velikostí. U 10% a 5% roztoku se již po 30 minutách objevila suchá pěna, u těchto koncentrací dosahovala pěna největší výšky. U 2% a 1% roztoku byla pěna taky poměrně objemná a vytvořila se u nich také suchá pěna, ale o něco později. U málo koncentrovaných roztoků – 0,001% a 0,01% pěna rychle mizela, po několika minutách byla nestanovitelná.

### Stanovení pěnivosti u roztoků s tvrdou vodou

Stanovovala jsem pěnivost u různě koncentrovaných roztoků čajového saponinu pomocí třepacího testu. Průběh stanovení pěnivosti byl stejný jako u roztoků s destilovanou vodou.

Tabulka 15: Měření výšky pěny roztoku saponinu v tvrdé vodě v časových intervalech

Výška pěny (cm) v čase	KONCENTRACE ROZTOKU [%]						
	0,001	0,01	0,1	1	2	5	10
0 min	0,1	0,2	3,5	6,0	9,5	8,0	9,5
1 min	0,1	0,1	3,3	6,0	9,5	8,0	9,5
5 min	0,1	0,1	3,2	6,0	9,3	8,0	9,5
10 min	–	0,1	3,2	6,0	8,2	7,6	9,0
30 min	–	–	3,0	5,9	8,0	7,4	8,5
60 min	–	–	2,8	5,0	7,6	7,0	7,5



10%

5%

2%

1%

Obrázek 18: Pěnivost čajového saponinu po 60 min

### Zhodnocení výsledků měření

Po protřepání se u koncentrovanějších roztoků (1%, 2%, 5% a 10%) vytvořila vysoká pěna. Poté byl průběh podobný jako u předchozích vzorků s destilovanou vodou. Po 30 minutách měření se začala pěna přeměňovat v suchou pěnu. Ta se po hodině měření vyskytovala u následujících koncentrací: 1%, 2%, 5% a 10%. U málo koncentrovaných roztoků – 0,001% a 0,01% pěny mnoho nevzniklo. Výška sloupce pěny byla okamžitě pod 1 cm výšky a do 1 minuty se rozpadla.

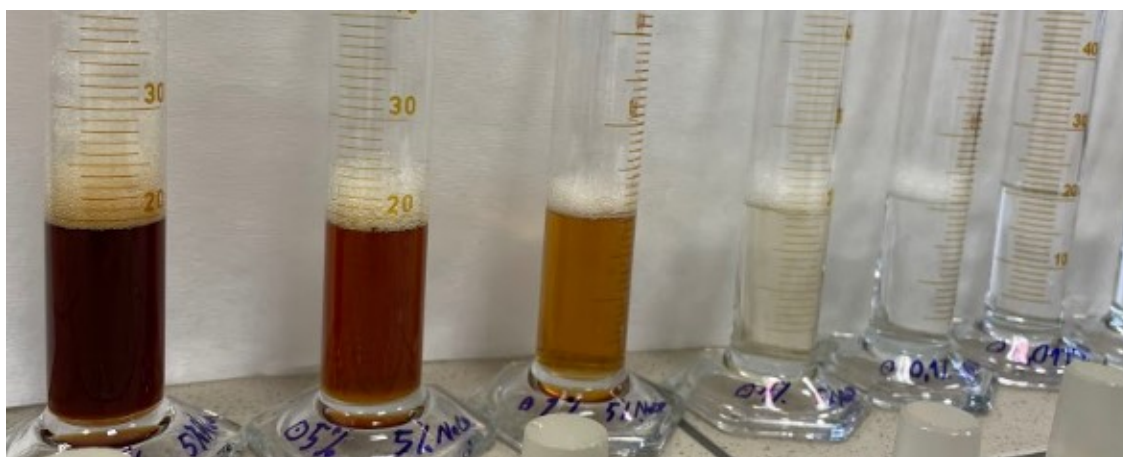
Při porovnání výsledků pěnivosti u roztoků s tvrdou a destilovanou vodou si můžeme všimnout, že 1% roztok je tzv. hranicí, od které se s rostoucí koncentrací saponinu pěnivost a stabilita pěny zvyšuje. Naopak u nižších koncentrací se tvoří zanedbatelná pěna, která v některých případech není ani měřitelná.

### Stanovení pěnivosti roztoku čajového saponinu v 5% NaCl

Stanovovala jsem pěnivost roztoků čajového saponinu o různé koncentraci v 5% NaCl pomocí třepacího testu. Postup byl stejný jako u předchozích stanovení pěnivosti.

Tabulka 16: Měření výšky pěny saponinu v 5% NaCl v časových intervalech

Výška pěny (cm) v čase	KONCENTRACE ROZTOKU [%]						
	0,001	0,01	0,1	1	2	5	10
0 min	0,3	0,7	4,2	6,2	8,2	9,3	12,0
1 min	–	0,2	3,5	5,6	5,9	8,0	8,1
5 min	–	–	2,5	5,0	3,8	4,6	7,9
10 min	–	–	1,9	4,1	2,4	3,3	7,6
30 min	–	–	1,6	1,7	1,6	2,5	6,7
60 min	–	–	1,0	1,5	1,0	2,0	5,5



10%

5%

2%

1%

0,1%

Obrázek 19: Pěnivost čajového saponinu v 5% NaCl v čase 60 min

### Zhodnocení výsledků měření

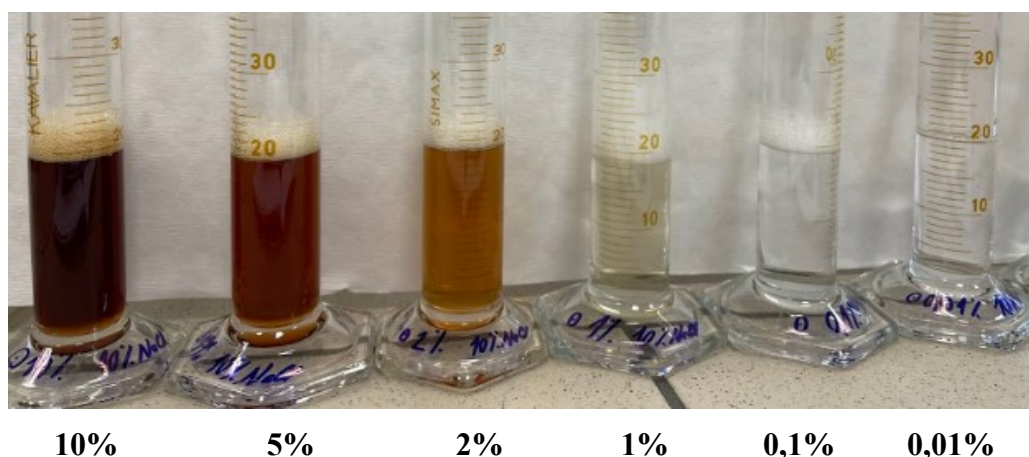
Vytvořila se pěna s různě velkými vzduchovými bublinami. U vzorků o koncentraci 0,001 % a 0,01 % pěna po 1 minutě zmizela a nebyla nadále měřitelná. Nejvíce objemnou pěnu vytvořil roztok o koncentraci 10 %. Pěna byla hutná, hustá a zároveň nadýchaná. U tohoto vzorku pěna klesala velmi pomalu a i po 1 hodině měření byla pěna 5,5 cm vysoká.

### Stanovení pěnivosti roztoku čajového saponinu v 10% NaCl

Stanovovala jsem pěnivost roztoků čajového saponinu o různé koncentraci v 10% NaCl pomocí třepacího testu. Postup byl stejný jako u předchozích stanovení pěnivosti.

Tabulka 17: Měření výšky pěny saponinu v 10% NaCl v časových intervalech

Výška pěny (cm) v čase	KONCENTRACE ROZTOKU [%]						
	0,001	0,01	0,1	1	2	5	10
0 min	0,1	1,4	4,1	6,7	12,1	10,5	14,2
1 min	–	0,3	3,4	5,8	9,3	6,5	11,1
5 min	–	0,1	2,5	5,3	6,5	5,4	9,2
10 min	–	0,1	2,3	5,2	4,3	4,0	5,4
30 min	–	–	1,2	4,4	2,0	1,3	2,1
60 min	–	–	1,1	3,8	1,4	1,2	1,4



Obrázek 20: Pěnivost čajového saponinu v 10% NaCl v čase 60 min

### Zhodnocení výsledků měření

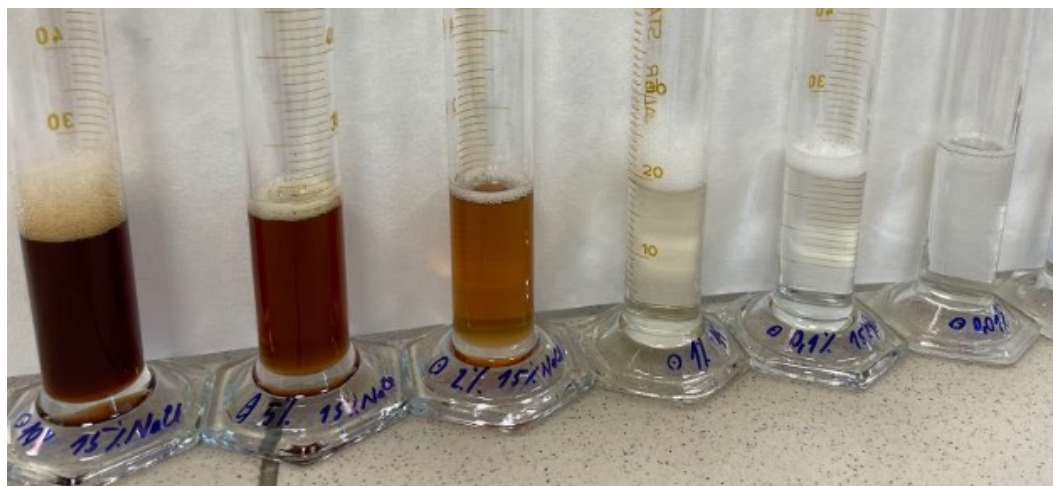
Po protřepání vznikla pěna s různě velkými vzduchovými bublinami. U vzorků o koncentraci 0,001 % a 0,01 % pěna rychle klesala, až byla neměřitelná. Pěna byla velmi hustá a hutná, vzduchové bubliny se časem zmenšovaly a pěna u všech vzorků klesala. Na rozdíl od předchozího vzorku (čajový saponin v 5% NaCl), kde byla nejvyšší pěna u 10% koncentrace roztoku, zde se vytvořila nejvyšší pěna u koncentrace 1%. U tohoto vzorku byla po 1 hodině měření pěna vysoká 3,8 cm.

### Stanovení pěnivosti roztoku čajového saponinu v 15% NaCl

Stanovovala jsem pěnivost roztoků čajového saponinu o různé koncentraci v 15% NaCl pomocí třepacího testu. Postup byl stejný jako u předchozích stanovení pěnivosti.

Tabulka 18: Měření výšky pěny saponinu v 15% NaCl v časových intervalech

Výška pěny (cm) v čase	KONCENTRACE ROZTOKU [%]						
	0,001	0,01	0,1	1	2	5	10
0 min	0,1	0,9	2,5	4,8	8,5	10,7	14,1
1 min	–	0,6	1,9	4,8	6,9	8,7	8,6
5 min	–	0,5	1,4	4,0	3,2	7,0	7,9
10 min	–	0,3	1,3	3,9	1,2	3,3	7,8
30 min	–	0,2	0,9	3,2	0,5	0,9	3,5
60 min	–	–	0,8	2,4	0,3	0,5	2,0



10%                      5%                      2%                      1%                      0,1%                      0,01%

Obrázek 21: Pěnovost čajového saponinu v 15% NaCl v čase 60 min

### Zhodnocení výsledků měření

Po protřepání se ve vzorcích vytvořila suchá, načechnaná pěna, která obsahovala velké množství vzduchových bublin. U vzorků o koncentraci 0,001 % a 0,01 % pěna rychle klesala až byla zcela neměřitelná. Nejvyšší pěna se vytvořila u vzorku o koncentraci 1 %. Zde pěna po 1 hodině měření byla vysoká 2,4 cm.

### Zhodnocení a porovnání pěnovosti jednotlivých roztoků

Při porovnání výsledků pěnovosti u roztoků čajového saponinu s tvrdou a destilovanou vodou si můžeme všimnout, že 1% roztok je tzv. hranicí, od které se s rostoucí koncentrací saponinu pěnovost a stabilita pěny zvyšuje. Naopak u nižších koncentrací se tvoří zanedbatelné množství pěny, která v některých případech nebyla co do výšky měřitelná.

U roztoků saponinu s NaCl o různých koncentracích se pěnovost výrazně mění oproti předchozím roztokům. V okamžiku napěnění (v čase 0 min) pěna sice dosahuje vysokých hodnot, jako tomu bylo u roztoků bez NaCl, tato pěna není ale ani zdaleka tak stabilní. Po několika minutách se pěna rozpadá a ke konci měření je u některých koncentrací sotva měřitelná. Co se týče tzv. hraniční koncentrace, u roztoků s NaCl není přesně stanovitelná. Dle koncentrace NaCl vykazuje každý z roztoků odlišnou pěnovost i stabilitu pěny.

## 9 TEST PĚNIVOSTI II – TEST VYPOUŠTĚCÍ

Testování pěnivosti za pomoci skleněné pipety a odměrného válce.

Jedná se o zjednodušený test podle Ross-Milese. Ross-Milesova metoda se používá pro měření pěnivosti roztoků povrchově aktivních látek a stability vytvořené pěny (měření její výšky). [10]

Aparatura se skládala z pipety o objemu 20 ml a odměrného válce o objemu 50 ml. Do válce bylo nadávkováno 40 ml zkoumaného roztoku. Následně pomocí pipety bylo napipetováno 20 ml a poté byl objem vypuštěn do odměrného válce. Vzniklý sloupec pěny utvořený vířením vypouštěného roztoku a přítomného vzduchu byl následně měřen v pravidelných intervalech výškovým měřidlem.

### Stanovení pěnivosti u roztoků s destilovanou vodou

V následující části jsem se zabývala pěnivostí roztoků čajového saponinu s destilovanou vodou. V Tabulce 19 jsou pro srovnání uvedeny naměřené hodnoty pro jednotlivé koncentrace saponinu.

Tabulka 19: Měření výšky pěny roztoku saponinu v destilované vodě v časových intervalech

Výška pěny (cm) v čase	KONCENTRACE ROZTOKU [%]			
	1	2	5	10
0 min	2,1	2,9	2,1	2,4
1 min	1,5	2,5	1,9	2,4
5 min	1,4	2,5	1,8	2,2
10 min	1,4	2,3	1,8	2,1
30 min	1,4	2,1	1,7	2,1
60 min	1,3	2,0	1,6	1,7

### Zhodnocení výsledků měření

Rozdíl ve struktuře pěny oproti předchozímu třepacímu testu pěnivosti je v tom, že pěna je více homogenní. Vzduchové bubliny jsou stejných/podobných rozměrů. Pěna je více načechraná, hutnější a bez velkých vzduchových bublin. Tento test jsem prováděla pouze u koncentrací vyšších než 1 %, jelikož u nižších koncentrací se tvořilo zanedbatelné



množství pěny, které nebylo měřitelné. Obecně lze říci, že vytvořená pěna je velmi stabilní, protože se u žádné z měřených koncentrací v čase příliš neměnila.

### Stanovení pěnovosti u roztoků s tvrdou vodou

V následující části jsem se zabývala pěnovostí roztoků čajového saponinu s tvrdou vodou. V Tabulce 20 jsou pro srovnání uvedeny naměřené hodnoty pro jednotlivé koncentrace saponinu.

*Tabulka 20: Měření výšky pěny roztoku saponinu v tvrdé vodě v časových intervalech*

Výška pěny (cm) v čase	KONCENTRACE ROZTOKU [%]			
	1	2	5	10
0 min	2,0	3,1	2,0	4,0
1 min	1,8	2,9	1,5	3,5
5 min	1,7	2,9	1,5	3,2
10 min	1,5	2,9	1,5	3,2
30 min	1,5	2,7	1,5	3,0
60 min	1,5	2,5	1,5	2,5

### Zhodnocení výsledků měření

Rozdíl ve struktuře pěny oproti předchozímu třepacímu testu pěnovosti je v tom, že pěna je více homogenní. Vzduchové bubliny jsou stejných/podobných rozměrů. Pěna je více načechraná, hustější/hutnější, bez velkých vzduchových bublin. Tento test jsem prováděla pouze u koncentrací vyšších než 1 %, jelikož u nižších koncentrací se tvořila příliš nízká pěna, která rychle mizela nebo se netvořila pěna žádná. U 10% roztoku s tvrdou vodou se vytvořila téměř dvojnásobná pěna oproti předchozímu měření 10% roztoku s destilovanou vodou.

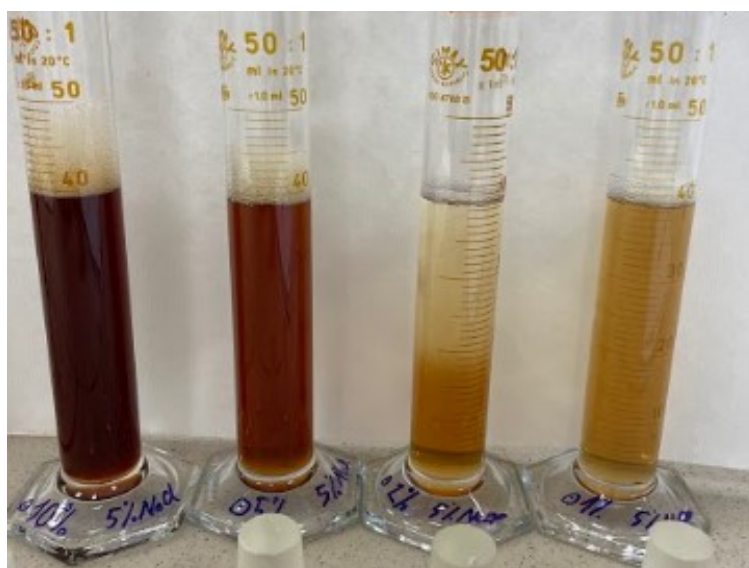
### Stanovení pěnovosti u roztoků čajového saponinu v 5% NaCl

Stanovovala jsem pěnovost roztoků čajového saponinu o různé koncentraci v 5% NaCl pomocí vypouštěcího testu. Postup byl stejný jako u předchozích stanovení pěnovosti.



Tabulka 21: Měření výšky pěny saponinu v 5% NaCl v časových intervalech

Výška pěny (cm) v čase	KONCENTRACE ROZTOKU [%]			
	1	2	5	10
0 min	2,0	1,5	2,5	3,8
1 min	1,9	1,4	2,4	3,4
5 min	1,6	0,8	2,3	3,4
10 min	1,4	0,7	2,2	3,1
30 min	1,0	0,5	1,9	2,8
60 min	0,8	0,4	1,8	2,7



10%

5%

2%

1%

Obrázek 22: Pěnivost čajového saponinu v 5% NaCl v čase 60 min

### Zhodnocení výsledků měření

Po napěnění vzorku pomocí skleněné pipety se vytvořily v odměrném válci přibližně stejně velké vzduchové bubliny. Pěna je hutná, vzduchové bubliny jsou spíše menší a hustě „namačkané“ na sobě. Nejvyšší pěna vznikla u roztoku s největší koncentrací, která i po 1 hodině měření dosahovala 2,7 cm.

### Stanovení pěnivosti u roztoků čajového saponinu v 10% NaCl

Stanovovala jsem pěnivost roztoků čajového saponinu o různé koncentraci v 10% NaCl pomocí vypouštěcího testu. Postup byl stejný jako u předchozích stanovení pěnivosti.

Tabulka 22: Měření výšky pěny saponinu v 10% NaCl v časových intervalech

Výška pěny (cm) v čase	KONCENTRACE ROZTOKU [%]			
	1	2	5	10
0 min	3,4	2,9	2,8	3,6
1 min	3,0	2,8	2,7	3,1
5 min	3,0	2,5	2,4	2,9
10 min	3,0	2,5	2,4	2,2
30 min	2,7	2,0	2,1	1,5
60 min	2,6	1,4	1,4	1,2



10%

5%

2%

1%

Obrázek 23: Pěnivost čajového saponinu v 10% NaCl v čase 60 min

### Zhodnocení výsledků měření

Po napěnění vzorku pomocí skleněné pipety se vytvořily v odměrném válci přibližně stejně velké vzduchové bubliny. Pěna je hutná, vzduchové bubliny jsou spíše menší a hustě „namačkané“ na sobě. Nejvyšší pěna vznikla u vzorku s nejnižší koncentrací (1%), i po 1 hodině měření byla pěna stále měřitelná a dosahovala výšky 2,6 cm.

### Stanovení pěnivosti u roztoků čajového saponinu v 15% NaCl

Stanovovala jsem pěnivost roztoků čajového saponinu o různé koncentraci v 15% NaCl pomocí vypouštěcího testu. Postup byl stejný jako u předchozích stanovení pěnivosti.

Tabulka 23: Měření výšky pěny saponinu v 15% NaCl v časových intervalech

Výška pěny (cm) v čase	KONCENTRACE ROZTOKU [%]			
	1	2	5	10
0 min	2,9	1,9	2,5	3,1
1 min	2,0	1,7	2,4	2,9
5 min	2,0	1,5	2,2	2,8
10 min	2,0	1,3	2,1	2,5
30 min	1,9	0,6	1,8	2,5
60 min	1,8	0,4	0,9	2,4



10%

5%

2%

1%

Obrázek 24: Pěnivost čajového saponinu v 15% NaCl v čase 60 min

### Zhodnocení výsledků měření

Po napěnění vzorku pomocí skleněné pipety se vytvořily v odměrném válci přibližně stejně velké vzduchové bubliny. Pěna je hutná, vzduchové bubliny jsou spíše menší a hustě „namačkané“ na sobě. Největší množství pěny vzniklo u roztoku s nejvyšší koncentrací, pěna i po 1 hodině měření dosahovala 2,4 cm.

### Zhodnocení a porovnání pěnivosti jednotlivých roztoků

Pěnivost roztoků pomocí vypouštěcího testu jsem stanovovala pouze u koncentrací větších než 1 % z důvodu, že nižší koncentrace tvořily zanedbatelné množství pěny, které bylo

ve většině případů neměřitelné. Při srovnání pěnivosti a stability pěny roztoku saponinu v tvrdé a destilované vodě, lze konstatovat, že vytvořená pěna dosahuje sice malých výšek, ale zato je velmi stabilní a v čase se příliš nemění. Při srovnání vypouštěcího a předchozího třepacího testu je patrné, že výška pěny dosahuje sotva třetiny výšky pěny, kterou jsem naměřila při třepacím testu. Zajímavostí je naměřená výška pěny ihned po napěnění u 10% roztoku saponinu s tvrdou vodou, která dosahuje 4 cm. Tato hodnota vyčnívá nad ostatními a je možné, že pokud bych opakovala měření vícekrát po sobě, dostala bych jiný výsledek. Po přidání NaCl do roztoku saponinu a následném napěnění, pěna vykazovala odlišné chování oproti předchozímu měření. Pěna dosahovala menších výšek a nebyla v čase stabilní. Vliv koncentrace NaCl na výšku pěny nebo její stabilitu byl při tomto měření zanedbatelný.

## 10 TEST PĚNIVOSTI III

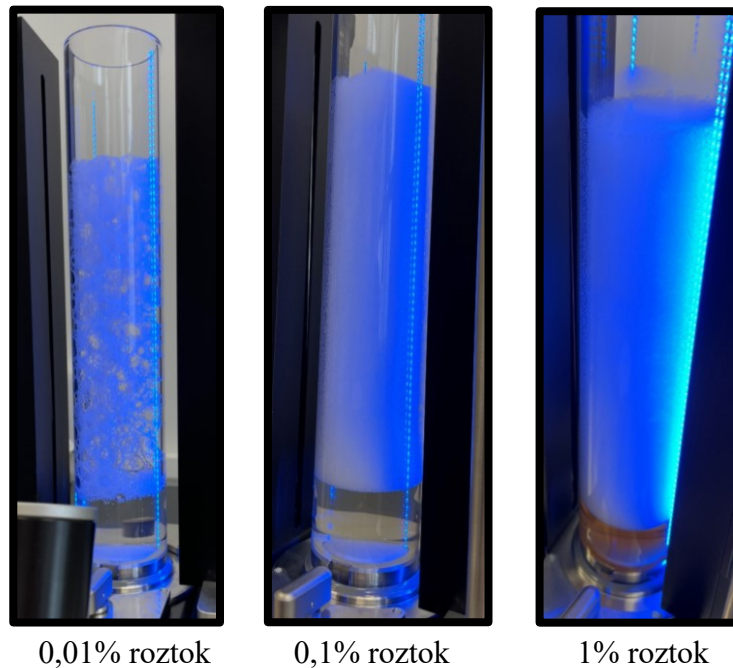
Test pěnivosti pomocí přístroje „Dynamic foam analyzer“ = DFA 100, póry filtračního papírku 12–15  $\mu\text{m}$ , napěněný objem: 40 ml, prosvícení vlnovou délkou 469 nm a průtoková rychlost plynu 500 ml/min.

Dynamický analyzátor pěny měří pěnivost kapalin a stabilitu pěny na základě napěnění analyzovaného vzorku. Samotné napěnění probíhalo ve skleněném válci, do kterého byl zespodu vháněn plyn o průtokové rychlosti 500 ml/min. Pěnění probíhalo v rozmezí od 20,68 s do 29,55 s v závislosti na vlastnostech analyzovaného vzorku. Pěnění bylo vždy automaticky zastaveno, když objem napěněného vzorku dosáhl 180 ml. Díky detekčnímu zařízení se tedy nikdy nestalo, že by analyzovaný napěněný vzorek unikl z válce ven.

Stanovování pěnivosti bylo provedeno u roztoků čajového saponinu o následujících koncentracích 0,01 %; 0,1 % a 1 %. Pro stanovení pěnivosti pomocí přístroje DFA byly vybrány pouze roztoky o nejnižší koncentraci. Výlučně tyto roztoky mohly být prosvíceny diodami přístroje, a tudíž u nich proběhlo správné testování pěnivosti pomocí zmíněného přístroje. Roztoky o vyšší koncentraci nebyly kvůli jejich sytějšímu zabarvení měřitelné. Přístroj nebyl schopen při vyšší svítivosti rozpoznat od sebe pěnu a tmavý roztok saponinu.

### Stanovení pěnivosti roztoků saponinu s destilovanou vodou

Příprava a stanovení pěnivosti roztoků saponinu s destilovanou vodou o následujících koncentracích: 0,01 %; 0,1 % a 1 %.



Obrázek 25: Pěnivost čajového saponinu v čase 10 min

### Zhodnocení pěnivosti jednotlivých roztoků

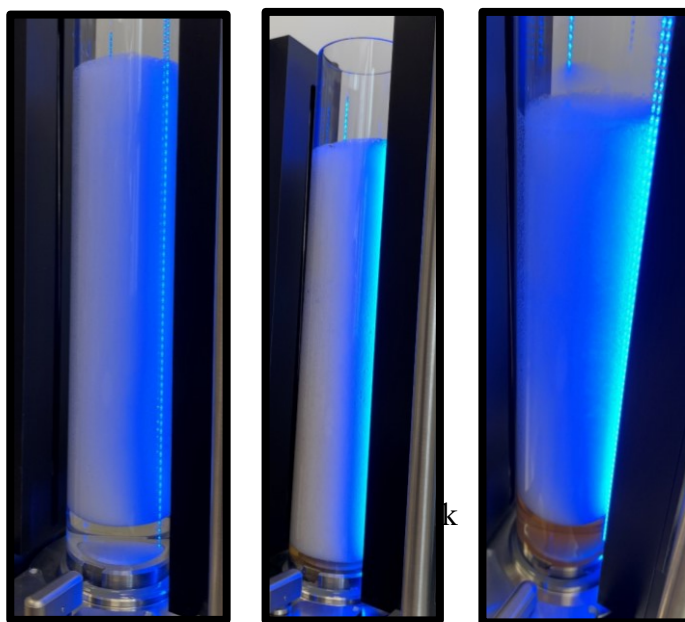
**0,01 %** Velké bubliny, nestálá a nehomogenní pěna, která se rychle rozpadá.

**0,1 %** Malinké bubliny, stabilní, hustá, hutná a načechraná pěna, která je velmi stabilní a nerozpadá se.

**1 %** Malé bubliny, hustá, načechraná, stabilní pěna, která se nerozpadá.

### Stanovení pěnivosti roztoků saponinu s tvrdou vodou

Příprava roztoků saponinu s tvrdou vodou o následujících koncentracích: 0,01 %; 0,1 % a 1 %.



Obrázek 26: Pěnivost čajového saponinu v čase 10 min

#### Zhodnocení pěnivosti jednotlivých roztoků

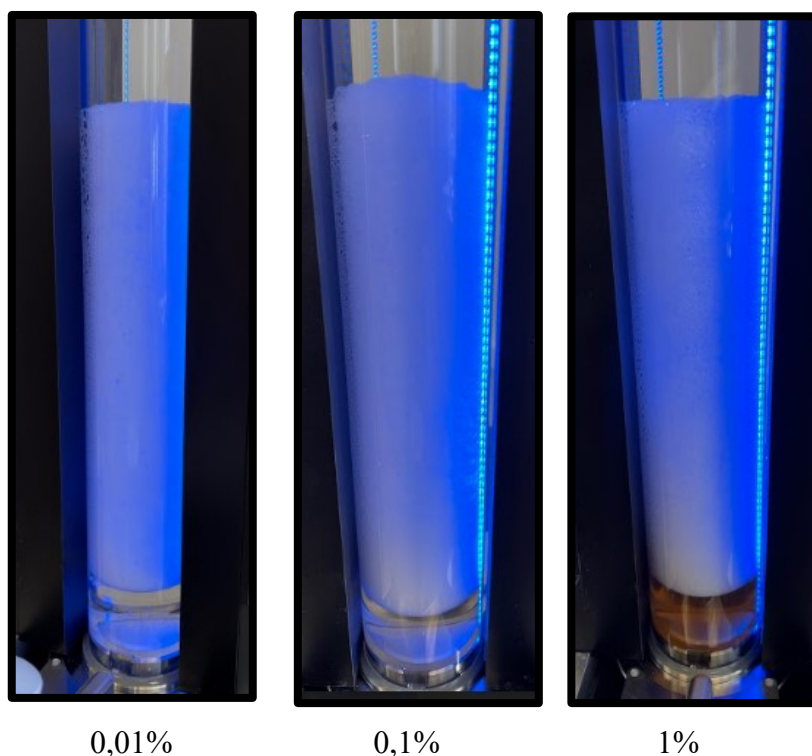
**0,01 %** Lepší pěnivost než u roztoků s destilovanou vodou, hutná a poměrně stabilní pěna, malé bubliny, které se postupně zvětšují. Výška pěny i po několika minutách od napěnění je stále stejně vysoká a nerozpadá se, postupně se pěna mění na suchou a ztrácí vodu.

**0,1 %** Velmi objemná, hustá a načechraná pěna s malými bublinami, opět kvalitnější pěna než u roztoků s destilovanou vodou, ale poměrně suchá.

**1 %** Velmi stabilní a hustá pěna s malými bublinami, opět kvalitnější pěna než u roztoků s destilovanou vodou, poměrně suchá pěna.

#### Stanovení pěnivosti roztoků saponinu v 10% NaCl

Příprava roztoků saponinu v 10% roztokem NaCl o následujících koncentracích: 0,01 %; 0,1 % a 1 %



Obrázek 27: Pěnivost čajového saponinu v 10% NaCl v čase 10 min

#### Zhodnocení pěnivosti jednotlivých roztoků

**0,01 %** Poměrně hustá a objemná pěna s malými bublinami, lepší než u roztoku 0,01% s destilovanou vodou. Postupně se z malých bublin stávají větší bubliny a pěna se postupně mění v suchou, pomalu se rozpadá a padá dolů. Lze u ní pozorovat jiné chování než u předchozích roztoků.

**0,1 %** Vysoká, objemná pěna, malé bubliny, zpočátku pěna obsahuje dost vody, ale pak se postupně mění v suchou pěnu a rozpadá se. Malé bubliny se zvětšují a po několika minutách od napěnění se pěna stává nestabilní a seshora se postupně rozpadá a mizí.

**1 %** Vysoká objemná pěna, zpočátku obsahuje dost vody a působí stabilně. Po několika minutách od napěnění se bubliny zvětšují a pěna se stává suchou a nestabilní. Seshora se pěna začíná bortit a propadat.

#### Stanovení pěnivosti 1% roztoku kokosového mýdla a 1% roztoku SDS

Příprava 1% roztoku kokosového mýdla a 1% roztoku SDS v destilované a tvrdé vodě



### **1% roztok kokosového mýdla v tvrdé vodě (1)**

#### **Zhodnocení pěnivosti**

Během pění se vytvořila velmi hustá a objemná pěna v celém objemu. V průběhu měření pěna téměř neklesala a zůstávala ve stejné úrovni. Pěna obsahovala velmi malé bublinky, byla stálá a vysoká. Při opakovaném měření jsem získala stejné výsledky.

### **1% roztok kokosového mýdla v destilované vodě (2)**

#### **Zhodnocení pěnivosti**

Po napění se vytvořila velmi hustá, objemná a stálá pěna s malými bublinami, které se v průběhu měření nezvětšovaly. Ani po deseti minutách po napění pěna neklesala a neměnila svůj objem ani výšku. Tato pěna byla podobná předchozí pěně. Obě pěny, které vznikly po napění 1% roztoku kokosového mýdla byly stálé, nebortily se a ani „nepadaly“.

Při srovnání pěnivosti kokosového mýdla v destilované a tvrdé vodě, lze pozorovat několik rozdílů. Doba pění (průchodu plynu vzorkem) u 1% roztoku kokosového mýdla v destilované vodě byla 25,75 s oproti tomu v tvrdé vodě 30,85 s. U vzorku s tvrdou vodou se vytvořila mírně objemnější pěna.

### **1% roztok SDS v tvrdé vodě (3)**

#### **Zhodnocení pěnivosti**

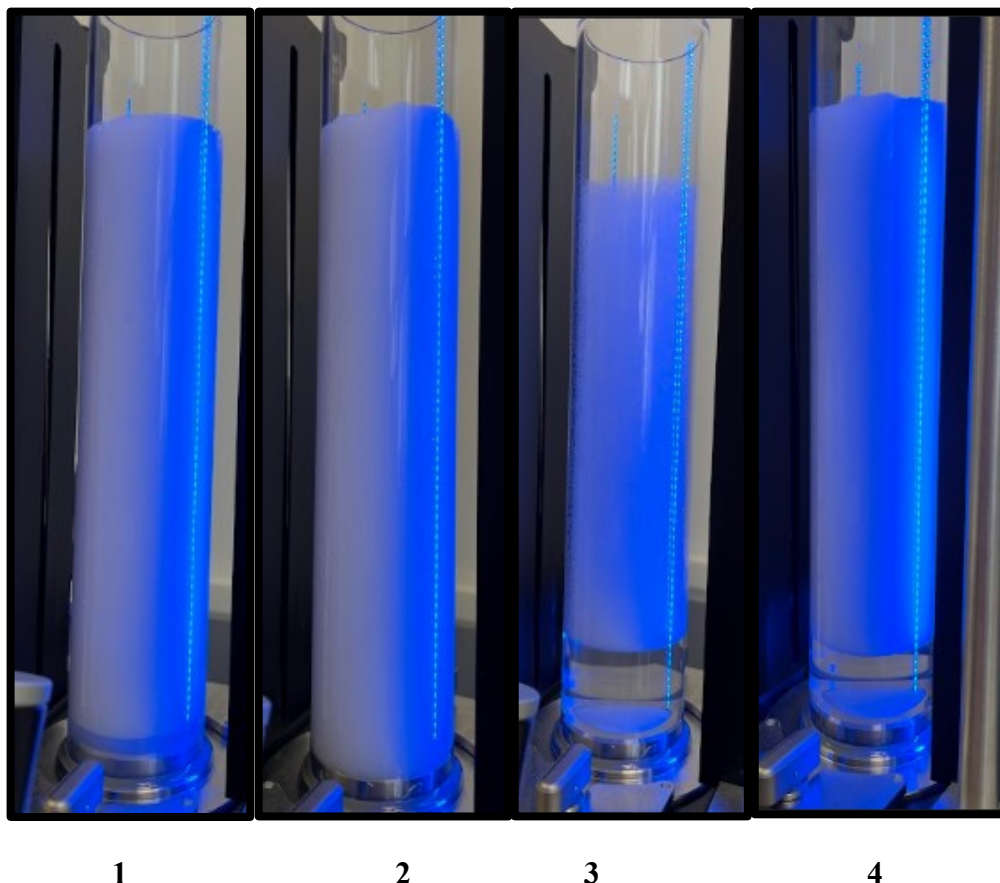
Po napění vznikla vysoká objemná pěna, která ale v průběhu měření ztrácela svůj objem a postupně padala. Původně malé bubliny se zvětšovaly a ztrácely svůj tvar. Zpočátku byla pěna mokrá, ale ke konci měření se měnila v suchou křehkou pěnu. Při opakovaném měření se dostavily stejné výsledky.

### **1% roztok SDS v destilované vodě (4)**

#### **Zhodnocení pěnivosti**

Po napění vznikla vysoká objemná pěna, která ale během následujících minut začala padat a měnit se v suchou načechnou pěnu s velkými bublinami v celém objemu. Na konci měření byla pěna velmi suchá a propadlá směrem dolů. Při porovnání 1% roztoku SDS

v tvrdé a destilované vodě můžeme pozorovat jen mírné odchylky, které se týkají především doby pění. V destilované vodě trvalo probublávání vzorku plynem 29,55 s a v tvrdé vodě pouze 22,43 s, přičemž vznikla pěna podobných vlastností.



Obrázek 28: Pěnovost 1% roztoku kokosového mýdla a 1% roztoku SDS v čase 10 min

### Zhodnocení a porovnání pěnovosti jednotlivých roztoků

U roztoku čajového saponinu v tvrdé a destilované vodě vznikla nejkvalitnější pěna u koncentrace 0,1 % a 1 %. Vytvořená pěna byla hustá, stabilní a obsahovala malé bubliny plynu. Lze konstatovat, že roztok NaCl měl na stabilitu pěny a pěnovost podstatný vliv. U roztoků saponinu s NaCl došlo během měření k vytvoření objemné pěny, která se zpočátku jevila jako stabilní, ale po několika minutách se začala rozpadat a měnit v suchou pěnu s velkými bublinami. Roztok SDS v destilované a tvrdé vodě vykazoval odlišné vlastnosti oproti předchozím roztokům. Při napěnění se vytvořila hustá, objemná pěna s malými bublinami, která ale po několika minutách začala ztrácet svůj objem a proměnila se v suchou pěnu. Bubliny v pěně ztrácely svůj tvar a postupně se zvětšovaly. Závěrem lze

říci, že nejvíce stabilní a objemná pěna byla naměřena u roztoků saponinu s tvrdou a destilovanou vodou.

Je velmi pravděpodobné, že výsledky pění by byly odlišné, pokud bych provedla test pění opakovaně s jiným nastavením přístroje. Jednou z možností je použít válec o jiném objemu, tím by se změnil i objem napěňovaného vzorku a výsledky pění by byly pravděpodobně odlišné, co se týče pění i stability pěny. Dále by se na přístroji mohlo upravit nastavení následujících parametrů: průtok plynu a intenzita prosvícení, která by při zvýšení mohla umožnit měření roztoků o vyšší koncentraci.

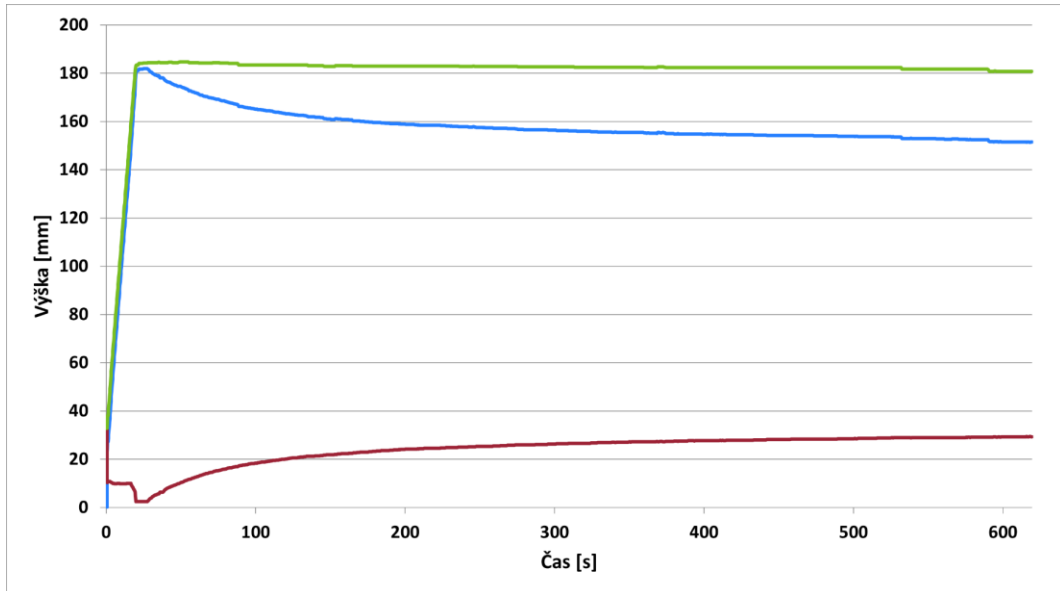
Výhledově dobrou cestou by bylo nastavení celkového objemu plynu – vzduchu, který může vzorkem probublat, např. 10, 25, 50 ml. Tento parametr by byl konstantní a podle schopnosti testovaných roztoků vytvářet pěnu by bylo možné výšku pěny brát jako proměnou veličinu proti zadané konstantě. Pak by bylo možné pění mezi roztoky relevantně porovnávat mezi sebou, protože nastaveného bezpečnostního parametru 180 mm vzniklé pěny, dosahovaly všechny testované vzorky a objem vzduchu, kterým bylo nutné použít, byl velmi podobný a podobně i doba za kterou roztoky napěnilo do zadané výšky.

### **Porovnání grafů pění 1% a 0,01% roztoku čajového saponinu v destilované vodě**

Pro srovnání jsem zvolila dva grafy, které byly automaticky vytvořeny během pění programem přístroje DFA. Tyto grafy znázorňují maximální výšku při napěnění, objem pěny a kapaliny v závislosti na čase. Obrázek 29 znázorňuje pění 1% roztoku čajového saponinu v destilované vodě a Obrázek 30 pění 0,01% roztoku čajového saponinu v destilované vodě. Při porovnání grafů je na první pohled viditelný vliv koncentrace roztoku na pění, u 1% roztoku se výška pěny vyšplhala na 180 mm a následně pomalu padala k hodnotě 150 mm. U 0,01% roztoku výška pěny nedosáhla takových hodnot jako u předchozí koncentrace, její maximální výška při napěnění byla 155 mm a postupně klesla na 120 mm. Co se týče stability pěny, lze říci, že u obou roztoků vykazovala pěna přibližně stejnou stabilitu.

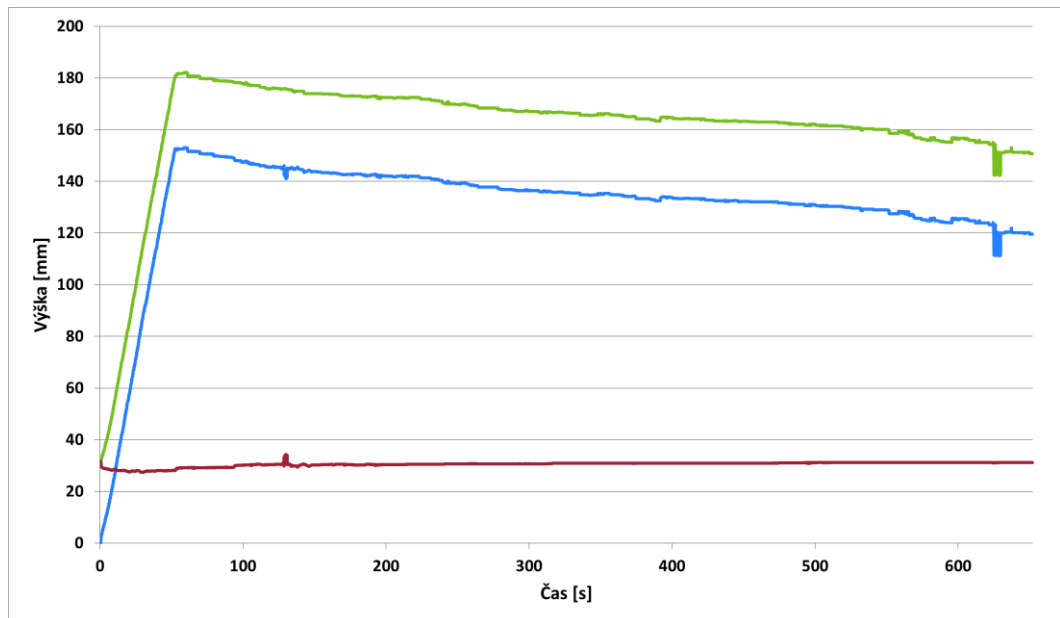
Objem kapalné fáze se při testování 0,01% roztoku po celou dobu měření příliš neměnil, byl téměř konstantní a výška kapaliny dosahovala přibližně 30 mm. U 1% roztoku byla situace odlišná, při napěnění se celý objem kapalné fáze přeměnil v pěnu, výška kapaliny byla tedy nulová. Během měření objem kapalné fáze postupně narůstal. Z Obrázku 29 je patrné, že

objem po dvou minutách měření dosahoval již 20 mm. Na konci měření byl objem kapalné fáze stejný jako u roztoku s nižší koncentrací a dosahoval tedy přibližně 30 mm.



Obrázek 29: Graf závislosti pěnivosti 1% roztoku saponinu v čase

Maximální výška — Výška pěny — Výška kapaliny —



Obrázek 30: Graf závislosti pěnivosti 0,01% roztoku saponinu v čase

Maximální výška — Výška pěny — Výška kapaliny —

## 11 ZÁVĚR

Tenzidy, včetně čajového saponinu, jsou známé tím, že ovlivňují povrchové napětí na rozhraní dvou fází. O tomto faktu, jsem se přesvědčila při stanovování povrchového napětí u několika tenzidů o různé koncentraci.

Hodnota povrchového napětí 1% roztoku saponinu v tvrdé vodě se pohybovala v rozmezí 39–40  $\text{mN}\cdot\text{m}^{-1}$ , zatímco u roztoku v destilované vodě byla naměřena hodnota nižší: 37–38  $\text{mN}\cdot\text{m}^{-1}$ , ale jinak byl průběh u obou roztoků velmi podobný. Z měření dále plyne, že 1% roztok je v obou případech tzv. hraniční koncentrací, od které se s rostoucí koncentrací saponinu v roztoku povrchové napětí příliš nemění. Naopak snižujeme-li koncentraci saponinu, povrchové napětí začíná prudce vzrůstat až k hodnotám 65,2  $\text{mN}\cdot\text{m}^{-1}$  u 0,001% roztoku saponinu v destilované vodě.

Z měření dále vyplývá, že 1% roztok je hranicí pro CMC. Je známo, že povrchové napětí s rostoucí koncentrací PAL v roztoku klesá a po dosažení CMC zůstává nadále konstantní. Z výsledků měření můžeme vysledovat, že povrchové napětí dosahuje při koncentraci roztoku 0,001–0,1 % velmi odlišných hodnot. Naopak při koncentracích 1–10 % jsou hodnoty povrchového napětí téměř neměnné.

Při porovnání roztoků saponinu s tvrdou či destilovanou vodou a roztoků s NaCl, je na první pohled vidět, že povrchové napětí dosahuje nižších hodnot v roztocích bez NaCl. Při srovnání hodnot povrchového napětí u jednotlivých PAL o koncentraci 1 %, lze říci, že povrchové napětí roste v řadě: kokosové mýdlo, SDS TV, SDS v destilované vodě, čajový saponin v destilované vodě, čajový saponin v tvrdé vodě.

Pěnivost je další charakteristickou vlastností saponinů. Ke stanovování a srovnávání pěnivosti roztoků jsem použila tři základní testy pěnivosti, jejichž výsledky níže porovnávám mezi sebou.

Třepací test, při kterém jsem každý ze vzorků 20× převrátila o 180° a následně měřila výšku pěny v časových intervalech. Při porovnání výsledků pěnivosti u roztoků čajového saponinu s tvrdou a destilovanou vodou lze konstatovat, že 1% roztok je tzv. hranicí, od které se s rostoucí koncentrací saponinu pěnivost a stabilita pěny zvyšuje. Naopak u nižších koncentrací se tvoří zanedbatelná pěna, která v některých případech není ani měřitelná. Přidáním roztoku NaCl k čajovému saponinu dochází k zásadním změnám v pěnivosti – pěna je nestabilní a její výška je ve většině případů zanedbatelná. Nevýhodou třepacího testu,

oproti ostatním, je mírné zkreslení výsledků, které může být ovlivněno silou či rychlostí převracení a počet převracení, který by měl být u všech vzorků stejný. Naopak výhodou tohoto testu je vytvoření dobře měřitelné pěny.

Pěnivost roztoků pomocí vypouštěcího testu jsem stanovovala pouze u koncentrací větších než 1 % z důvodu, že nižší koncentrace tvořily zanedbatelné množství pěny, které bylo ve většině případů neměřitelné. Při srovnání pěnivosti a stability pěny roztoku saponinu v tvrdé a destilované vodě, lze konstatovat, že vytvořená pěna dosahuje sice malých výšek, ale zato je velmi stabilní a v čase se příliš nemění. Při srovnání vypouštěcího a předchozího třepacího testu je patrné, že výška pěny dosahuje sotva třetiny výšky pěny, kterou jsem naměřila při třepacím testu. Po přidání NaCl do roztoku saponinu a následném napěnění, pěna vykazovala odlišné chování oproti předchozímu měření. Pěna dosahovala menších výšek a nebyla v čase stabilní. Vliv koncentrace NaCl na výšku pěny nebo její stabilitu byl při tomto měření zanedbatelný. Nevýhodou vypouštěcího testu je tvorba nízké pěny, která dosahovala pouze třetiny/čtvrtiny výšky pěny třepacího testu. Z tohoto důvodu nebylo možné provést stanovení pěnivosti u všech koncentrací.

Poslední test pěnivosti jsem provedla pomocí přístroje „Dynamic foam analyzer“, který je založen na vhánění určitého objemu plynu skrze filtr do analyzovaného vzorku, čímž dojde k jeho napěnění. Oproti předchozímu vypouštěcímu testu, kde jsem pro měření použila nejvyšší koncentrace saponinu, zde jsem naopak zvolila roztoky o nejnižší koncentraci, aby mohl být daný vzorek prosvícen diodami, a tudíž mohlo proběhnout správné stanovení pěnivosti.

U roztoku čajového saponinu v tvrdé a destilované vodě vznikla nejkvalitnější pěna u koncentrace 0,1 % a 1 %. U roztoků saponinu s NaCl došlo během měření k vytvoření objemné pěny, která se zpočátku jevila jako stabilní, ale po několika minutách se začala rozpadat a měnit v suchou pěnu s velkými bublinami. U roztoku SDS v destilované a tvrdé vodě se při napěnění vytvořila hustá, objemná pěna s malými bublinami, která po několika minutách začala ztrácet svůj objem a proměnila se v suchou pěnu. Závěrem lze říci, že nejvíce stabilní a objemná pěna byla naměřena u roztoků saponinu s tvrdou a destilovanou vodou.

**SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY**

- [1] YU, Xiao-Lan a Yong HE. Tea saponins: effective natural surfactants beneficial for soil remediation, from preparation to application. *RSC Advances* [online]. 2018, 8(43), 24312–24321 [cit. 2022-10-20]. ISSN 2046-2069. Dostupné z: doi:10.1039/C8RA02859A
- [2] FENG, Jin a kol. Efficient improvement of surface activity of tea saponin through Gemini-like modification by straightforward esterification. *Food Chemistry* [online]. 2015, 2015(171), 272–279 [cit. 2022-10-20]. Dostupné z: <https://www.journals.elsevier.com/food-chemistry>
- [3] CHEOK, Choon Yoong. Extraction and quantification of saponins. *Food Research International* [online]. 2014, 2014(59), 16–40 [cit. 2022-10-20]. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/journal/food-research-international>
- [4] KJELLIN, Mikael a Ingegärd JOHANSSON. Surfactants from Renewable Resources. In: *Surfactants from Renewable Resources*. Chichester, U.K.: John Wiley, 2010, s. 239–248. ISBN 978-0-470-76041-3
- [5] ŠMIDRKAL, Jan. *Tenzidy*. Praha: Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, 2020. ISBN 978-807-5920-560
- [6] RUGO, Luiz a Paul M. FINLAS. *Encyclopedia of Food Sciences and Nutrition* [online]. Druhé. USA: Academic Press, 2003 [cit. 2023-02-16]. ISBN 978-0-12-227055-0. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/topics/medicine-and-dentistry/sapogenin>
- [7] GRIFFIN, William C. Classification of Surface-Active Agents by “HLB”. *Journal of Cosmetic Science*. 1949, (1.), 311-326
- [8] KJELLIN, Mikael a Ingegärd JOHANSSON. Surfactants from Renewable Resources. In: *Surfactants from Renewable Resources*. Chichester, U.K.: John Wiley, 2010, ISBN 978-0-470-76041-3
- [9] Plant-Derived Saponins: A Review of Their Surfactant Properties and Applications. *Sci*. 2021, 3(44), 9-10
- [10] Ross, J., & Miles, G. D. (1941). An apparatus for comparison of foaming properties of soaps and detergents. *Oil & Soap*, 18, 99-102

**SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK**

**CMC** Kritická micelární koncentrace

**PAL** Povrchově aktivní látka

**HLB** Hydrofilně-lipofilní rovnováha (z angličtiny hydrofobic-lipofilic balance)

**TV** Tvrdá voda

**SDS** Sodium dodecyl sulfát; povrchově aktivní látka

**DFA** Dynamic foam analyzer, přístroj na testování pěnivosti



## SEZNAM OBRÁZKŮ

- [1] Obrázek 1: Základní struktura PAL, vlastní tvorba
- [2] Obrázek 2: Základní dělení tenzidů, vlastní tvorba
- [3] Obrázek 3: Závislost koncentrace jednotlivých uspořádání molekul PAL na měřených vlastnostech, vlastní tvorba
- [4] Obrázek 4: KREGIEL, Dorota, Joanna BERLOWSKA, Izabela WITONSKA, Hubert ANTOLAK, Charalampos PROESTOS, Mirko BABIC, Ljiljana BABIC a Bolin ZHANG. Saponin-Based, Biological-Active Surfactants from Plants. In: NAJJAR, Reza, ed. *Application and Characterization of Surfactants* [online]. InTech, 2017, 2017-07-05 [cit. 2023-04-06]. ISBN 978-953-51-3325-4. Dostupné z: doi:10.5772/68062
- [5] Obrázek 5: KREGIEL, Dorota, Joanna BERLOWSKA, Izabela WITONSKA, Hubert ANTOLAK, Charalampos PROESTOS, Mirko BABIC, Ljiljana BABIC a Bolin ZHANG. Saponin-Based, Biological-Active Surfactants from Plants. In: NAJJAR, Reza, ed. *Application and Characterization of Surfactants* [online]. InTech, 2017, 2017-07-05 [cit. 2023-04-06]. ISBN 978-953-51-3325-4. Dostupné z: doi:10.5772/68062
- [6] Obrázek 6: Plant-Derived Saponins: A Review of Their Surfactant Properties and Applications. *Feature Papers 2021 Editors Collection*. 2021, **3**, 44. Dostupné z: doi:10.2290/sci3040044
- [7] Obrázek 7: Plant-Derived Saponins: A Review of Their Surfactant Properties and Applications. *Feature Papers 2021 Editors Collection*. 2021, **3**, 44. Dostupné z: doi:10.2290/sci3040044
- [8] Obrázek 8: KJELLIN, Mikael. Surfactants from Renewable Resources. In: *Surfactants from Renewable Resources*. New York: Wiley, 2010, s. 352. ISBN 978-0-470-76041-3.
- [9] Obrázek 9: KJELLIN, Mikael. Surfactants from Renewable Resources. In: *Surfactants from Renewable Resources*. New York: Wiley, 2010, s. 352. ISBN 978-0-470-76041-3.
- [10] Obrázek 10: Mydlice lékařská. In: Kouzelné bylinky [online]. Praha: Česká televize, 2021 [cit. 2023-02-14]. Dostupné z: <https://www.ceskatelevize.cz/porady/10744345634-kouzelné-bylinky/7669-bylinky/27509-mydlice-lekarska/>
- [11] Obrázek 11: BOTANY.CZ: QUILLAJA SAPONARIA Molina – mydlokor tupolistý. In: BOTANY.CZ [online]. 2019 [cit. 2023-02-14]. Dostupné z: <https://botany.cz/cs/quillaja-saponaria/>

[12] Obrázek 12: Jírovec maďal. In: Kouzelné bylinky [online]. Praha: Česká televize, 2021 [cit. 2023-02-14]. Dostupné z: <https://www.ceskatelevize.cz/porady/10744345634-kouzelné-bylinky/7669-bylinky/31030-jírovec-madal/>

[13] Obrázek 13: KJELLIN, Mikael a Ingegärd JOHANSSON. Soap development going full circle. In: Surfactants from Renewable Resources.. Chichester, U.K.: John Wiley, 2010, s. 246. ISBN 978-0-470-76041-3.

[14] Obrázek 14: Graf závislosti povrchového napětí na koncentraci jednotlivých roztoků, vlastní tvorba

[15] Obrázek 15: Graf závislost povrchového napětí na koncentraci saponinu v destilované vodě, vlastní tvorba

[16] Obrázek 16: Graf závislost povrchového napětí na koncentraci saponinu v tvrdé vodě, vlastní tvorba

[17] Obrázek 17: Pěnivost čajového saponinu v čase 60 min, vlastní fotografie

[18] Obrázek 18: Pěnivost čajového saponinu po 60 min, vlastní fotografie

[19] Obrázek 19: Pěnivost čajového saponinu v 5% NaCl v čase 60 min, vlastní fotografie

[20] Obrázek 20: Pěnivost čajového saponinu v 10% NaCl v čase 60 min, vlastní fotografie

[21] Obrázek 21: Pěnivost čajového saponinu v 15% NaCl v čase 60 min, vlastní fotografie

[22] Obrázek 22: Pěnivost čajového saponinu v 5% NaCl v čase 60 min, vlastní fotografie

[23] Obrázek 23: Pěnivost čajového saponinu v 10% NaCl v čase 60 min, vlastní fotografie

[24] Obrázek 24: Pěnivost čajového saponinu v 15% NaCl v čase 60 min, vlastní fotografie

[25] Obrázek 25: Pěnivost čajového saponinu v čase 10 min, vlastní fotografie

[26] Obrázek 26: Pěnivost čajového saponinu v čase 10 min, vlastní fotografie

[27] Obrázek 27: Pěnivost čajového saponinu v 10% NaCl v čase 10 min, vlastní fotografie

[28] Obrázek 28: Pěnivost 1% roztoku kokosového mýdla a 1% roztoku SDS v čase 10 min, vlastní fotografie

[29] Obrázek 29: Graf závislosti pěnivosti 1% roztoku saponinu v čase, DFA

[30] Obrázek 30: Graf závislosti pěnivosti 0,01% roztoku saponinu v čase, DFA

## SEZNAM TABULEK

- [1] Tabulka 1: Možnosti praktického využití tenzidů v závislosti na hodnotě HLB
- [2] Tabulka 2: Hodnoty HLB u jednotlivých funkčních skupin
- [3] Tabulka 3: Nejvyšší stanovená koncentrace saponinů
- [4] Tabulka 4: Hlavní zdroje saponinů a jejich latinské názvy
- [5] Tabulka 5: Hodnoty CMC u vybraných rostlin
- [6] Tabulka 6: Povrchové napětí roztoků jako kontrola v destilované vodě
- [7] Tabulka 7: Povrchové napětí roztoků saponinu v destilované vodě
- [8] Tabulka 8: Povrchové napětí roztoků saponinu v tvrdé vodě
- [9] Tabulka 9: Povrchové napětí roztoku NaCl o různých koncentracích
- [10] Tabulka 10: Povrchové napětí saponinu v 5% roztoku NaCl
- [11] Tabulka 11: Povrchové napětí saponinu v 10% roztoku NaCl
- [12] Tabulka 12: Povrchové napětí saponinu v 15% roztoku NaCl
- [13] Tabulka 13: Porovnání hodnot povrchového napětí
- [14] Tabulka 14: Měření výšky pěny roztoku saponinu v destilované vodě v časových intervalech
- [15] Tabulka 15: Měření výšky pěny roztoku saponinu v tvrdé vodě v časových intervalech
- [16] Tabulka 16: Měření výšky pěny saponinu v 5% NaCl v časových intervalech
- [17] Tabulka 17: Měření výšky pěny saponinu v 10% NaCl v časových intervalech
- [18] Tabulka 18: Měření výšky pěny saponinu v 15% NaCl v časových intervalech
- [19] Tabulka 19: Měření výšky pěny roztoku saponinu v destilované vodě v časových intervalech
- [20] Tabulka 20: Měření výšky pěny roztoku saponinu v tvrdé vodě v časových intervalech
- [21] Tabulka 21: Měření výšky pěny saponinu v 5% NaCl v časových intervalech
- [22] Tabulka 22: Měření výšky pěny saponinu v 10% NaCl v časových intervalech
- [23] Tabulka 23: Měření výšky pěny saponinu v 15% NaCl v časových intervalech